



**TERMİK SANTRALLERDE KULLANILAN KÖMÜRÜN KURUTMA
TEKNİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mehmet Mustafa YATARKALKMAZ

**DOKTORA TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2020

Mehmet Mustafa YATARKALKMAZ tarafından hazırlanan “TERMİK SANTRALLERDE KULLANILAN KÖMÜRÜN KURUTMA TEKNİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Mustafa Bahadır ÖZDEMİR

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Adnan SÖZEN

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. İlhan CEYLAN

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Karabük Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ataollah KHANLARI

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Türk Hava Kurumu Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 10/06/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mehmet Mustafa YATARKALKMAZ

10/06/2020

TERMİK SANTRALLERDE KULLANILAN KÖMÜRÜN KURUTMA TEKNİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

(Doktora Tezi)

Mehmet Mustafa YATARKALKMAZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2020

ÖZET

Ekonomik ve sosyal kalkınmanın temelini oluşturan enerjinin arz güvenliği her geçen gün önemini artırırken, bu durum ülkeleri, enerji kaynaklarını etkin ve rasyonel bir şekilde kullanmaya itmektedir. Türkiye gibi yerli enerji kaynakları sınırlı olan ülkeler için enerjinin verimli şekilde kullanılması büyük önem arz etmektedir. Türkiye’de yerli enerji kaynaklarının çoğunluğunu düşük ısı değere ve yüksek nem oranına sahip linyitler oluşturmaktadır. Termik santrallerde kullanılan bu linyitler nem oranı ve ısı değerleri nedeniyle düşük verimliliklere neden olmaktadır. Bu yüzden de termik santrallerde kömürün kurutulması zorunluluk haline gelmektedir. Çalışma, kömürün ön kurutulması işleminin termik santral üzerine etkilerinin incelendiği teorik bir kısımdan ve teorik analizde kullanılacak kömür numunelerinin kurutma karakteristiklerinin ve özelliklerinin elde edildiği deneysel kısımdan oluşmaktadır. Çalışmanın deneysel kısmında, farklı başlangıç nem içeriğine sahip olan kömür numunelerinin analizleri yapıldıktan sonra kurutma işlemine tabi tutularak numunelerin kurutma eğrileri ve karakteristikleri elde edilmiştir. Daha sonra kurutulmuş kömürlerin analizleri tekrar gerçekleştirildikten sonra deney sonuçları teorik analizde kullanılmıştır. Teorik analiz kısmında baca gazının atık ısı kaynağı olarak kullanıldığı akışkan yataklı kurutucu, pnömatik kurutucu ve döner kurutuculardan oluşan ön kurutma sistemleri tasarlanmıştır. Referans santralde Afşin-Elbistan linyiti kullanıldığında ön kurutma yapılmadan verim %40,7 iken, akışkan yataklı ön kurutma sistemi kullanıldığında santral verimi %45,1’a yükselmektedir. Aynı şartlar altında pnömatik kurutuculu ön kurutma sistemi kullanıldığında verim %44,91’e, döner kurutuculardan oluşan sistemde %44,54’e yükselmektedir. Referans santralde Yatağan linyiti kullanıldığında ön kurutma yapılmadığında verim %41,25 iken, akışkan yataklı sistemde %44,77, pnömatik sistemde %44,66 ve döner kurutuculu sistemde %44,44 olmaktadır. Sistem tasarım sonuçların ekonomik analizleri yapılarak ön kurutma sistemlerinin amortisman süreleri hesaplanmıştır. Ekonomik analizde ön kurutma derecesi arttıkça sistemlerin amortisman sürelerinin kısaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca amortisman süresi linyit türünden ve başlangıç nemlerinden bağımsız olarak en kısa akışkan yataklı kurutuculu sisteme aittir, bunu pnömatik kurutuculu sistem ve döner kurutuculardan oluşan sistem takip etmektedir. Yapılan çalışmanın, ön kurutma sistemleri ile termik santrallerde enerji verimliliğinin iyileştirilmesi ilkelerini sunması açısından benzer alanda çalışma yapmak isteyen tasarımcılara yol göstereceği ve literatürdeki boşluğu dolduracağı sonucuna varılmıştır.

Bilim Kodu : 92807

Anahtar Kelimeler : Kömür ön kurutma, Termik santral, Enerji verimliliği, Akışkan yataklı kurutucu, Pnömatik kurutucu, Döner kurutucu

Sayfa Adedi : 214

Danışman : Doç. Dr. Mustafa Bahadır ÖZDEMİR

THE INVESTIGATION OF COAL DRYING TECHNIQUES USED IN THERMAL POWER PLANTS

(Ph. D. Thesis)

Mehmet Mustafa YATARKALKMAZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2020

ABSTRACT

While security of supply of energy that is the basis of economic and social development gains importance day by day, this situation forces countries to use their energy resources effectively and rationally. It is particularly important for the countries with limited domestic energy sources such as Turkey to use energy effectively. A great majority of domestic energy resources in Turkey consist of lignite with a low calorific value and high humidity. The lignite used in the thermal power plants causes low efficiency due to its humidity and calorific values. Therefore, it necessitates drying of coal in thermal power plants. This study is composed of a theoretical part investigating the effects of the pre-drying process of coal on the thermal power plant and an experimental part revealing the drying characteristics and properties of the coal samples to be used in its theoretical analysis. In the experimental part of the study, the drying curves and characteristics of the samples were obtained by being subjected to a drying process after analyzing the coal samples with different initial moisture content. In what follows, subsequent to a replication of the analyses of the dried coals, the test results were used in the theoretical analysis. In the part of the theoretical analysis, the pre-drying systems which consist of fluid bed dryer, pneumatic dryer and rotary dryers and in which flue gas was used as waste heat source were designed. For Afsin-Elbistan lignite, the efficiency of the reference power plant without a pre-drying system is 40.7% while the efficiency of the plant with a fluidized bed pre-drying system increases to 45.1%. Under the same conditions, the efficiency of the power plant with a pre-drying system of a pneumatic dryer is increased to 44.91% whereas the efficiency is 44.54% in the pre-drying system consisting of rotary dryers. For Yatağan lignite, the efficiency of the reference power plant without a pre-drying system is 41.25% whereas the efficiency is 44.77% in a fluidized bed pre-drying system, 44.66% in a pneumatic pre-drying system and 44.44% in a rotary dryer pre-drying system. The payback periods of the pre-drying systems were calculated by an economic analysis of the system design results. In the economic analysis, it was concluded that as the pre-drying degree increases, the payback periods of the systems decrease. In addition, while the shortest payback period belongs to a fluid bed dryer system regardless of the lignite type and initial humidity, a pneumatic dryer system and a rotary dryer system follow it respectively. This study concludes that it will guide those designers who want to conduct similar research to provide the principles of energy efficiency improvement in coal fired power plants with a pre-drying system and will fill the gap in the literature.

Science Code : 92807

Key Words : Pre-drying of coal, Thermal power plant, Energy efficiency, Fluidized bed dryer, Pneumatic dryer, Rotary dryer

Page Number : 214

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mustafa Bahadır ÖZDEMİR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli Hocam Doç. Dr. Mustafa Bahadır ÖZDEMİR'e, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ'a, EÜAŞ'ta Müşavir olarak çalışmakta olan Necip KARAHAN'a, Afşin Elbistan B Termik Santrali Müdürü Mustafa HAS'a, Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ndeki değerli hocalarıma, mesai arkadaşlarımdan Ahmet Nedim DOĞAN'a, Selçuk DEMİR'e, tez çalışmasında ve deneylerde emeği geçen TSE çalışanlarına, ayrıca manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli eşim Elif'e, beni bu yaşa getiren ve eğitimimin bu safhaya kadar gelmesini sağlayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	5
3. KÖMÜR.....	29
3.1. Kömürün Tanımı ve Kömürleşme.....	29
3.2. Kömür Çeşitleri ve Sınıflandırılması	30
3.2.1. Kömür çeşitleri	32
3.2.2. Kömürlerin sınıflandırılması	33
4. KÖMÜR SEKTÖRÜ	37
4.1. Dünya Kömür Sektörünün Görünümü	37
4.1.1. Birincil enerji arzı ve kömürün payı	37
4.1.2. Dünya kömür üretimi	40
4.1.3. Dünya kömür tüketimi.....	43
4.1.4. Dünya kömür rezervleri.....	46
4.2. Türkiye’de Kömür Sektörünün Görünümü.....	47
4.2.1. Birincil enerji arzı ve kömürün payı	47
4.2.2. Türkiye kömür üretimi	50

	Sayfa
4.2.3. Türkiye kömür tüketimi.....	51
4.2.4. Türkiye kömür rezervi.....	53
5. TERMİK SANTRALLER	57
5.1. Termik Santrallerin Sınıflandırılması.....	59
5.2. Kömür Yakıtlı Bir Termik Santralin Çalışma Prensibi	60
5.3. Kömür Yakıtlı Termik Santral Bileşenleri	60
5.3.1. Kömür alma, kül atma sistemleri	60
5.3.2. Kazan.....	61
5.3.3. Türbin	62
5.3.4. Yoğuşturucu.....	62
5.3.5. Jeneratör	62
5.3.6. Soğutma kulesi.....	63
5.3.7. Baca gazı kükürt arıtma sistemleri.....	63
5.3.8. Elektrofiltreler.....	63
5.4. Kömür Yakıtlı Termik Santrallerde Elektrik Üretimi	64
6. KÖMÜR KURUTMA TEKNİKLERİ	71
6.1. Döner Kurutucular.....	71
6.2. Döner Borulu Kurutucular	72
6.3. Karıştırıcı Oda Kurutucuları	74
6.4. Pnömatik Kurutucular	75
6.5. Akışkan Yataklı Kurutucular	76
6.6. Oluklu Yatak Kurutucular	78
6.7. Titreşimli Kurutucular	79
6.8. Değirmen Tipi Kurutucular	80
6.9. Şaft Kurutucular	81
6.10. Hareketli Yataklı Kurutucular.....	82

	Sayfa
6.11. Vidalı Konveyör Kurutucular	83
6.12. Kurutucu Seçimi.....	84
7. KÖMÜR KURUTMA DENEYLERİ VE ANALİZLERİ.....	85
7.1. Nem Tayini ve Kurutma Analizleri.....	85
7.1.1. 100 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneyler	88
7.1.2. 80 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneyler	91
7.1.3. 60 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneyler	94
7.2. Kömür Analizleri.....	97
7.2.1. Numune hazırlama	97
7.2.2. Kükürt analizi	98
7.2.3. Toplam karbon, hidrojen ve azot tayini.....	100
7.2.4. Elementel analiz.....	102
7.2.5. Isıl değer tayini ve bazlar arası geçiş	103
7.3. Ölçüm Belirsizliği	106
7.3.1. A tipi ölçüm belirsizliği.....	107
7.3.2. B tipi ölçüm belirsizliği.....	109
7.3.3. Birleştirilmiş ölçüm belirsizliği	112
7.3.4. Genişletilmiş ölçüm belirsizliği.....	112
7.3.5. Deneylerin hesaplanan ölçüm belirsizlikleri	113
8. MATERYAL VE METOT	115
8.1. Referans Santral ve Kömür Analizi Sonuçları.....	115
8.2. Teorik Analiz	118
8.2.1. Yanma reaksiyonları ve baca gazı analizi	118
8.2.2. Gövde borulu ısı değiştirici analizi	120
8.2.3. Plakalı ısı değiştirici analizi.....	128
8.2.4. Akışkan yataklı kurutucu tasarımı	133

	Sayfa
8.2.5. Pnömatik kurutucu tasarımı.....	136
8.2.6. Döner kurutucu tasarımı.....	142
8.2.7. Kazan ünitesi analizi	144
8.2.8. Buhar türbini ve jeneratör ünitesi analizi	146
8.2.9. Santral ve kurutma sistemi bileşenleri enerji tüketimi.....	146
8.2.10. Termik santralde üretilen enerjideki değişim	147
8.2.11. Ekonomik analiz	148
8.2.12. Sankey diyagramı.....	149
8.3. Tasarlanan Ön Kurutma Sistemleri	150
8.3.1. Akışkan yataklı kurutucu ön kurutma sistemi	150
8.3.2. Pnömatik kurutuculu ön kurutma sistemi.....	151
8.3.3. Döner kurutuculardan oluşan ön kurutma sistemi	152
9. ARAŞTIRMA BULGULARI	155
9.1. Referans Santral Sonuçları.....	155
9.2. Kömür Kurutma Analizi Sonuçları	156
9.3. Ön Kurutma Sistem Tasarım Sonuçları.....	160
9.3.1. Akışkan yataklı kurutucu ön kurutma sistem değerleri.....	160
9.3.2. Pnömatik kurutuculu ön kurutma sistem değerleri	164
9.3.3. Döner kurutuculu ön kurutma sistemi değerleri	165
9.4. Ön Kurutma Sistemlerinin Termik Santral Üzerindeki Sonuçları	168
9.4.1. Kömür numunelerinin alt ısı değerlerindeki değişim	169
9.4.2. Kazan verimindeki değişim	170
9.4.3. Akışkan yataklı ön kurutma sisteminin santral verimine etkisi.....	171
9.4.4. Pnömatik ön kurutma sisteminin santral verimine etkisi	174
9.4.5. Döner kurutuculu ön kurutma sisteminin santral verimine etkisi.....	176
9.5. Ekonomik Analiz Sonuçları.....	178

	Sayfa
9.6. Tasarlanan Ön Kurutma Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	183
9.6.1. Afşin-Elbistan linyitinin kuruma analizi	183
9.6.2. Yatağan linyitinin kuruma analizi.....	184
9.6.3. Sonuçların literatürle karşılaştırılması	185
10. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	189
KAYNAKLAR	195
EKLER	201
EK-1. Türkiye linyit rezervi	202
EK-2. Ölçüm belirsizliği bütçeleri.....	206
EK-3. Santral ısı balans diyagramı	211
EK-4. ASHRAE yüksek sıcaklık psikrometrik diyagramı	212
ÖZGEÇMİŞ.....	213

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Kömürlerin kalitelerine göre sınıflandırılması.....	33
Çizelge 3.2. Düşük kalite kömürler için alt kategoriler	33
Çizelge 3.3. Orta kalite kömürler için alt kategoriler	34
Çizelge 3.4. Yüksek kalite kömürler için alt kategoriler.....	34
Çizelge 3.5. Petrografik bileşim ile sınıflandırma	35
Çizelge 3.6. Kül verimine göre sınıflandırma	35
Çizelge 4.1. Kömür türlerine göre dünya kömür üretimi (milyon ton).....	41
Çizelge 4.2. Termal taşkömürü tüketim miktarları (milyon ton).....	46
Çizelge 4.3. Koklaşabilir taşkömürü tüketim miktarları (milyon ton).....	46
Çizelge 4.4. Türkiye’deki taşkömürü rezervleri (ton).....	54
Çizelge 4.5. Kurumlara ait linyit kaynakları, (bin ton, 2018 yılı sonu)	55
Çizelge 5.1. İşletmedeki ithal kömüre dayalı termik santraller	68
Çizelge 5.2. İşletmedeki yerli kömüre dayalı termik santraller.....	69
Çizelge 7.1. Deneylerde kullanılan cihazlar ve özellikleri.....	85
Çizelge 7.2. Kömür numunelerinin kurutma deney sonuçları.....	86
Çizelge 7.3. 100 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen yaş bazda kütlesele nem miktarı (%)...	88
Çizelge 7.4. 100 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen nem oranı.....	89
Çizelge 7.5. 100 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen dakikada alınan yüzdesel kuruma hızı	90
Çizelge 7.6. 80 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen yaş bazda kütlesele nem miktarı (%).....	91
Çizelge 7.7. 80 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen nem oranı.....	92
Çizelge 7.8. 80 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen dakikada alınan yüzdesel kuruma hızı .	93
Çizelge 7.9. 60 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen yaş bazda kütlesele nem miktarı (%).....	94
Çizelge 7.10. 60 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen nem oranı.....	95
Çizelge 7.11. 60 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen dakikada alınan yüzdesel kuruma hızı .	96

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.12. Kömür numunelerinin % kükürt içeriği sonuçları.....	100
Çizelge 7.13. Referans malzeme analizi raporu (% olarak).....	101
Çizelge 7.14. Analiz sonuçları (% olarak)	102
Çizelge 7.15. Kömür numuneleri termogravimetrik analiz sonuçları (% olarak)	103
Çizelge 7.16. Kömür numunelerinin bazlara göre ısı değerleri (Cal/g).....	106
Çizelge 7.17. %68 güven aralığındaki serbestlik derecesine göre dengeleme faktörü..	108
Çizelge 7.18. Gerçekleştirilen deneylerin bağıl belirsizlikleri (%)	114
Çizelge 8.1. Santralin kömür hazırlama nakil ve kül atma tesisleri teknik bilgileri....	115
Çizelge 8.2. Afşin-Elbistan B Termik Santrali kazan teknik bilgileri	115
Çizelge 8.3. Afşin-Elbistan B Termik Santrali türbin teknik bilgileri.....	116
Çizelge 8.4. Afşin-Elbistan B Termik Santrali jeneratör teknik bilgileri.....	116
Çizelge 8.5. Santralin baca gazı kükürt arıtma tesisi teknik bilgileri	116
Çizelge 8.6. Afşin Elbistan B Termik Santrali referans değerleri	117
Çizelge 8.7. Linyit numunelerinin analiz sonuçları.....	118
Çizelge 8.8. Plakalı ısı değiştirici hesabı için ısı transferi ve basınç kaybı sabitleri ...	132
Çizelge 9.1. Afşin-Elbistan linyiti yakıldığında elde edilen santral değerleri.....	155
Çizelge 9.2. Yatağan linyiti yakıldığında elde edilen santral değerleri	155
Çizelge 9.3. Afşin Elbistan linyiti yakıldığında oluşan baca gazının özellikleri.....	161
Çizelge 9.4. Yatağan linyiti yakıldığında oluşan baca gazının özellikleri	161
Çizelge 9.5. Gövde borulu ısı değiştiricinin tasarım değerleri	162
Çizelge 9.6. Akışkan yataklı ön kurutucu sistem değerleri.....	163
Çizelge 9.7. Psikrometrik diyagramda gösterilen noktaların özellikleri.....	164
Çizelge 9.8. Pnömatik ön kurutuculu sistem değerleri	165
Çizelge 9.9. Plakalı ısı değiştiricinin tasarım değerleri.....	166
Çizelge 9.10. Döner kurutucuların özellikleri	167
Çizelge 9.11. Isı geri kazanım plakalı ısı değiştiricinin tasarım değerleri	167

Çizelge	Sayfa
Çizelge 9.12. Kömür numunelerinin ön kurutma derecelerindeki nem muhtevaları.....	169
Çizelge 9.13. Kömür numunelerinin alt ısı değeri (kCal/kg).....	169
Çizelge 9.14. Ön kurutma derecesine göre kazan verimindeki artış.....	171
Çizelge 9.15. Akışkan yataklı ön-kurutma sistemli santralin net verimi	172
Çizelge 9.16. Pnömatik ön-kurutma sistemli santralin net verimi.....	174
Çizelge 9.17. Döner kurutuculu ön-kurutma sistemli santralin net verimi	176
Çizelge 9.18. Akışkan yataklı ön kurutma sistemi parametreleri.....	179
Çizelge 9.19. Pnömatik ön kurutma sistemi parametreleri	179
Çizelge 9.20. Döner kurutuculu ön kurutma sistemi parametreler	180
Çizelge 9.21. Afşin- Elbistan linyiti için sistem türlerine göre yıllık ekstra gelir	180
Çizelge 9.22. Yatağan linyiti için sistem türlerine göre yıllık ekstra gelir.....	182

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Güneş enerji destekli ısı pompalı ön kurutma sistemli santral.....	6
Şekil 2.2. Hava bazlı güneş enerjili kömür ön-kurutma sisteminin şematik görünümü	8
Şekil 2.3. Akışkan yataklı kurutucunun şeması	13
Şekil 2.4. Ön kurutma ve su geri kazanım sistemi.....	15
Şekil 2.5. Birleştirilmiş siklon kurutucu.....	16
Şekil 2.6. Düşük kaliteli kömür kuruma prosesi diyagramı	17
Şekil 2.7. Disk kurutucunun çalışma prensip detayları.....	20
Şekil 2.8. Üç geçişli döner kurutucuda talaş kurutma sistemi şeması	22
Şekil 2.9. Tek tane kurutma deney setinin şematik gösterimi	26
Şekil 3.1. Kömür oluşum süreci.....	29
Şekil 3.2. Kömürün yapısı.....	30
Şekil 3.3. Kömürleşme süreci ve kömür türleri	31
Şekil 4.1. Dünyadaki birincil enerji arzındaki gelişim.....	37
Şekil 4.2. 2017 yılındaki dünya birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı.....	38
Şekil 4.3. Son 17 yılda kaynaklara göre birincil enerji arzı	38
Şekil 4.4. Dünya birincil enerji arzının gelişimi, mevcut politikalar senaryosu.....	39
Şekil 4.5. Bölgelere göre 2018 yılı kömür üretimleri (MTEP).....	40
Şekil 4.6. Yıllara göre dünya kömür üretim miktarları.....	41
Şekil 4.7. 2017 yılındaki ülkelere göre kömür üretim miktarları	42
Şekil 4.8. Dünya linyit üretim miktarları.....	42
Şekil 4.9. 2000 yılından 2014 yılına kadar kömür tüketim miktarlarındaki değişim ..	43
Şekil 4.10. Ülkelere göre 2015 yılı kömür tüketim miktarları (milyon ton).....	44
Şekil 4.11. Bölgelere göre yıllık kömür tüketim miktarları (MTEP).....	44
Şekil 4.12. 2017 yılı ülkelere göre linyit tüketim miktarları (milyon ton).....	45

Şekil	Sayfa
Şekil 4.13. Dünya kömür rezervlerinin yıllara ve bölgelere göre dağılımı.....	47
Şekil 4.14. Türkiye birincil enerji arzının kaynaklara dağılımı, 2018	47
Şekil 4.15. Kömür üretiminin enerji tüketimini karşılama oranı.....	48
Şekil 4.16. 2018 yılı Türkiye birincil enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı.....	49
Şekil 4.17. Birincil enerji ithalatının kaynaklara dağılımı, 2018.....	49
Şekil 4.18. Türkiye enerji tüketimi ve üretimi ile kömür üretiminin payları	50
Şekil 4.19. Türkiye linyit üretim miktarları.....	51
Şekil 4.20. Kullanım yerlerine göre Türkiye taşkömürü tüketim miktarı.....	52
Şekil 4.21. Kömür arzının sektörlere göre tüketim dağılımı, 2018	53
Şekil 4.22. Türkiye kömür kaynak dağılımı.....	53
Şekil 4.23. Koklaşma özelliklerine göre Havza rezervleri.....	54
Şekil 4.24. Türkiye linyit kaynağının dağılımı, 2018	55
Şekil 5.1. Basit ideal Rankine Çevrimi ve T-s diyagramı	57
Şekil 5.2. Basit bir termik santral akış şeması	58
Şekil 5.3. İdeal Rankine çevrimden sapmalar.....	59
Şekil 5.4. 2018 Yılı Türkiye elektrik kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı.....	64
Şekil 5.5. 2018 yılı kömüre dayalı kurulu güç ve toplam kurulu güç (MW)	65
Şekil 5.6. 2018 yılı kaynaklara göre Türkiye elektrik enerjisi üretimi (milyar kWh) .	66
Şekil 5.7. 2018 yılı yerli kömürün kurulu güç ve brüt elektrik üretimi içindeki payı .	67
Şekil 5.8. 2018 yılı elektrik üretimi içinde kaynakların payı	67
Şekil 6.1. Döner kurutucu şeması	72
Şekil 6.2. Döner borulu tambur kurutucu.....	73
Şekil 6.3. Karıştırıcı odalı kurutucu	74
Şekil 6.4. Pnömatik kurutucu şeması	75
Şekil 6.5. Derin yataklı daire kesitli akışkan yataklı kurutucu.....	77
Şekil 6.6. Dikdörtgen kesitli akışkan yataklı kurutucu (titreşimli).....	78

Şekil	Sayfa
Şekil 6.7. Oluklu Yatak Kurutucu.....	79
Şekil 6.8. Titreşimli kurutucu	80
Şekil 6.9. Değirmen tipi kurutucu.....	80
Şekil 6.10. Şaft kurutucu	81
Şekil 6.11. Hareketli yataklı kurutucular.....	83
Şekil 6.12. Vidalı konveyör kurutucu	84
Şekil 7.1. 100 °C sıcaklıkta zamana bağlı yaş bazda kütlesele nem miktarı.....	89
Şekil 7.2. 100 °C sıcaklıkta zamana bağlı nem oranları.....	90
Şekil 7.3. 100 °C sıcaklıkta zamana bağlı kuruma hızları.....	91
Şekil 7.4. 80 °C sıcaklıkta zamana bağlı yaş bazda kütlesele nem miktarı.....	92
Şekil 7.5. 80 °C sıcaklıkta zamana bağlı nem oranları.....	93
Şekil 7.6. 80 °C sıcaklıkta zamana bağlı kuruma hızları.....	94
Şekil 7.7. 60 °C sıcaklıkta zamana bağlı yaş bazda kütlesele nem miktarı.....	95
Şekil 7.8. 60 °C sıcaklıkta zamana bağlı nem oranları.....	96
Şekil 7.9. 60 °C sıcaklıkta zamana bağlı kuruma hızları.....	97
Şekil 7.10. Ölçüm sonuçlarının normal dağılım ile gösterilmesi	108
Şekil 7.11. F model fonksiyonu	109
Şekil 7.12. Dikdörtgen dağılımı.....	111
Şekil 7.13. Üçgen dağılımı	111
Şekil 7.14. U tipi dağılım	112
Şekil 7.15. Normal dağılım eğrisi	113
Şekil 8.1. Çapraz akışlı ısı değıştiricinin şematik gösterimi.....	120
Şekil 8.2. Isı değıştiricideki çapraz akışın şematik gösterimi.....	121
Şekil 8.3. Bir gövde ve 2, 4, 6 vs. boru geçişli ısı değıştiriciler için düzeltme faktörü.....	122
Şekil 8.4. İki gövde ve 4, 8, 12 vs. boru geçişli ısı değıştiriciler için düzeltme faktörü.....	123

Şekil	Sayfa
Şekil 8.5. Kare ve üçgen boru aralıkları düzeni.....	125
Şekil 8.6. Bir gövdeli bir boru geçişli ısı değiştiricinin boyutları.....	126
Şekil 8.7. Ara bölme kesit alanı	127
Şekil 8.8. Bir geçişli ve karşı akışlı plakalı ısı değiştiricinin şematik gösterimi	128
Şekil 8.9. (a) V kanallı plakanın boyutları; (b) geliştirilmiş ve yansıtılmış boyutlar..	129
Şekil 8.10. Bir geçişli çapraz akışlı U ve Z düzenlemeleri	129
Şekil 8.11. Kömür ön kurutma prosesi.....	135
Şekil 8.12. Kömür tanelerinin sürüklenme hızı	137
Şekil 8.13. Kurutma ortamının basınç düşmesi	138
Şekil 8.14. 0 ila 100 °C sıcaklıkta havadaki globüller tarafından ısı alımı	139
Şekil 8.15. Tambur kurutucu iç kanat örnekleri	144
Şekil 8.16. Kazan enerji dengesi.....	145
Şekil 8.17. Akışkan yataklı kurutuculardan oluşan ön kurutma sistemi	151
Şekil 8.18. Pnömatik kurutuculardan oluşan ön kurutma sistemi.....	152
Şekil 8.19. Döner kurutuculardan oluşan ön kurutma sistemi.....	153
Şekil 9.1. Afşin-Elbistan linyit yakıtlı santralin Sankey diyagramı.....	156
Şekil 9.2. Yatağan linyit yakıtlı santralin Sankey diyagramı	156
Şekil 9.3. Afşin-Elbistan linyitinin farklı sıcaklıklardaki nem içeriği	157
Şekil 9.4. Afşin-Elbistan linyitinin farklı sıcaklıklardaki zamana bağlı kuruma hızı..	157
Şekil 9.5. Yatağan linyitinin farklı sıcaklıklardaki zamana bağlı yaş bazda nem içeriği	158
Şekil 9.6. Yatağan linyitinin farklı sıcaklıklardaki zamana bağlı kuruma hızı	159
Şekil 9.7. Akışkan yataklı ön kurutuculu sistemin psikrometrik diyagramı	164
Şekil 9.8. Döner kurutucu sistemdeki havanın psikrometrik diyagramı	168
Şekil 9.9. Kömür numunelerinin alt ısı değerlerindeki değişim.....	170
Şekil 9.10. Kazan verimindeki değişim	171
Şekil 9.11. Akışkan yataklı ön-kurutma sistemli santralin net verimindeki artış.....	173

Şekil	Sayfa
Şekil 9.12. Afşin-Elbistan linyitli, akışkan yataklı kurutma sistemi diyagramı ($\mu=0,14$)	173
Şekil 9.13. Yatağan linyitli, akışkan yataklı kurutma sistemi diyagramı ($\mu=0,14$)	174
Şekil 9.14. Pnömatik ön-kurutma sistemli santralin net verimindeki artış	175
Şekil 9.15. Afşin-Elbistan linyitli, pnömatik kurutma sistemi diyagramı ($\mu=0,14$)	175
Şekil 9.16. Yatağan linyitli, pnömatik kurutma sistemi diyagramı ($\mu=0,14$).....	176
Şekil 9.17. Döner kurutuculu ön-kurutma sistemli santralin net verimindeki artış	177
Şekil 9.18. Afşin-Elbistan linyitli, döner kurutma sistemi diyagramı ($\mu=0,14$).....	177
Şekil 9.19. Yatağan linyitli, döner kurutma sistemi diyagramı ($\mu=0,14$).....	178
Şekil 9.20. Afşin Elbistan linyiti için ön kurutma sistemlerinin amortisman süreleri...	181
Şekil 9.21. Yatağan linyiti için ön kurutma sistemlerinin amortisman süreleri	182
Şekil 9.22. Afşin Elbistan linyiti için sistemlerin santral verimine etkileri	183
Şekil 9.23. Yatağan linyiti için sistemlerin santral verimine etkileri.....	184

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 7.1. Nem tayin cihazı.....	86
Resim 7.2. Kömür numunelerini parçalamak için öğütücü.....	86
Resim 7.3. Kömür kurutma deneyi için kullanılan etüv fırını.....	87
Resim 7.4. Kömür kurutma deneyi için kullanılan hassas teraziler.....	87
Resim 7.5. Kurutma deneylerinin gerçekleştirilmesi.....	88
Resim 7.6. Değirmen.....	97
Resim 7.7. Kömür kırma işlemi.....	98
Resim 7.8. Kükürt tayin cihazı	99
Resim 7.9. Kükürt tayin cihazı referans malzemesi.....	99
Resim 7.10. % Kükürt tayini deneyinin gerçekleştirilmesi.....	100
Resim 7.11. Karbon, hidrojen ve azot analizi test cihazı	101
Resim 7.12. Referans malzeme	101
Resim 7.13. Deney numunelerinin hazırlanması.....	102
Resim 7.14. Eltra marka termogravimetrik analiz cihazı.....	103
Resim 7.15. IKA C 5000 kalorimetre cihazı	104

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Tambur kesit alanı (m^2)
A_d	Kurutucu kesit alanı (m^2)
A_o	Boruların dış yüzeyinin ısı transfer alanı (m^2)
A_s	Isı değiştiricideki toplam ısı transfer alanı (m^2)
Ar	Arşimet sayısı
b	Ortalama kütle kanalı boşluğu (mm)
B_c	Ara Bölme Kesme Oranı (%)
B_f	Ara bölmeler arası uzaklık (m)
c	Santralin kapasite faktörü (%)
c_p	Özgül ısı (J/kg.K)
C	Borular arası boşluk (m)
CL	Boru Demeti Düzeni
CTP	Boru Sayısı Hesaplama Sabiti
d	Enflasyon oranı (%)
d_0	Buhar çevriminin özgül ısı tüketim oranı (kJ/kgbuhar)
d_p	Kömür parçacıklarının çapı (mm)
D	Difüzyon katsayısı (m^2/s)
D_e	Eşdeğer çap (m)
D_h	Hidrolik çap (m)
D_i	Gövde borulu ısı değiştirici boru iç çapı (mm)
D_o	Gövde borulu ısı değiştirici boru dış çapı (mm)
D_p	Akışkan geçiş çapları (m)
D_{pn}	Pnömatik kurutucu tüp çapı (m)
D_s	Gövde borulu ısı değiştirici gövde iç çapı (m)
D_T	Tambur iç çapı (m)
f	Sürtünme katsayısı

Simgeler	Açıklamalar
F	Düzeltilme faktörü
g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
G	Havanın izin verilen kütle hızı (kg/m^2h)
G_c	Kanaldaki kütle hızı (kg/m^2s)
G_p	Isı iletim katsayısı (W/mK)
G_s	Gövde tarafı kütle hızı (kg/m^2s)
h	Isı transfer katsayısı (W/m^2K)
h_c	Isı transfer katsayısı (W/m^2K)
h_{fg}	Suyun gizli buharlaşma ısısı (kJ/kg)
h_m	Kütle transfer katsayısı (m/s)
H	Akışkan yatağın yüksekliği (m)
H_0	Yatağın statik yüksekliği (m)
H_{vap}	25°C'de suyun buharlaştırılması için gerekli ısı (kJ)
HY	Hava-yakıt oranı
i	Faiz oranı (%)
i_e	Birleştirilmiş faiz oranı (%)
k	Isıl iletim katsayısı (W/mK)
K	Orantı sabiti
L	Kurutucu/ısı değiştirici uzunluğu (m)
L_{bch}	Ara bölme açıklık mesafesi (m)
L_h	Geçiş çapları arası yatay mesafe (m)
L_T	Pnömatik kurutucu tüp uzunluğu (m)
L_V	Plaka boyu (m)
L_w	Plaka genişliği (m)
$\dot{m}$	Kütleli debi (kg/s)
$\dot{m}_d$	Birim zamanda buharlaşan su miktarı (kg/s)
M	Kazandaki kömür miktarı (kg)
M_{ar}	Kömürün yaş bazda nem oranı (%)
M_{BN}	Bünye nemi miktarı (%)
M_{OB}	Orijinal bazdaki nem miktarı (%)
$\dot{M}_s$	Buhar debisi (kg/s)

Simgeler**Açıklamalar**

n	Geri ödeme süresi (yıl)
N	Proje ömrü (yıl)
N_B	Ara bölme sayısı
N_{cp}	Geçiş başına kanal sayısı
N_P	Geçiş sayısı
N_{PP}	Santralin yıllık çalışma saati (saat/yıl)
N_{Rev}	Tamburun dönme hızı (rpm)
N_{su}	Baca gazındaki su buharının mol sayısı
N_t	Toplam boru/plaka sayısı
N_{top}	Baca gazının toplam mol sayısı
NTU	Isı transfer ünite sayısı
Nu	Nusselt sayısı
p	Plaka aralığı (m)
p_e	Şebeke elektrik satış ücreti (TL/kWh)
P_0	Santral iç tüketimi (W)
P_e	Santralde üretilen brüt enerji (W)
P_{fan}	Fan gücü (kW)
$P_{filtreler}$	Elektrofiltre sisteminin gücü (W)
P_{net}	Santralde üretilen net enerji (W)
P_{pompa}	Pompanın gücü (W)
P_{rot}	Tambur motor gücü (kW)
P_{su}	Su buharının kısmi basıncı (Pa)
P_t	Atmosfer basıncı (Pa)
P_T	Boru merkezleri arası mesafe (m)
Pr	Prandtl sayısı
$\dot{Q}$	Transfer edilen ısı (W)
$\dot{Q}_G$	Kazana giren ısı (W)
$\dot{Q}_T$	Toplam transfer edilen ısı (W)
$\dot{Q}_1$	Kazandan çıkan ısı (W)
$\dot{Q}_2$	Kuru baca gazından ısı kaybı (W)
$\dot{Q}_3$	Kömürdeki neme bağlı ısı kaybı (W)

Simgeler**Açıklamalar**

$\dot{Q}_4$	Hidrojenin yanması kaynaklı ısı kaybı (W)
$\dot{Q}_5$	Eksik yanma kaynaklı ısı kaybı (W)
$\dot{Q}_6$	Yanma havası nemi kaynaklı ısı kaybı (W)
$\dot{Q}_7$	Isı transferi kaynaklı ısı kayıpları (W)
$Q_{üst,hk}$	Havada kuru bazda üst ısı değer (kJ/kg)
$Q_{alt,hk}$	Havada kuru bazda alt ısı değer (kJ/kg)
$Q_{üst,k}$	Kuru bazda üst ısı değer (kJ/kg)
$Q_{alt,k}$	Kuru bazda alt ısı değer (kJ/kg)
$Q_{üst,OB}$	Orjinal bazda üst ısı değer (kJ/kg)
$Q_{alt,OB}$	Orjinal bazda alt ısı değer (kJ/kg)
Q_{mar}	Nem değerindeki suyun buharlaşma ısısı (kJ)
R_i	Fayda (TL)
R_{ft}	Kirlenme faktörü (m ² K/W)
R_o	Masraf (TL)
R_v	Buharın gaz sabiti (kPa.m ³ /kg.K)
Re	Reynolds sayısı
S	Tamburun eğimi (°)
S_c	Kömürdeki kükürt miktarı (%)
Sc	Schmidt sayısı
Sh	Sherwood sayısı
t	Plaka kalınlığı (m)
T	Sıcaklık (K)
u	Kömür parçacıklarının ortalama hızı (m/s)
u_g	Kurutma havasının hızı (m/s)
u_m	Minimum akışkanlaştırma hızı (m/s)
u_0	Kurutma havasının sedimantasyon hızı (m/s)
U	Toplam ısı transfer kat sayısı (W/m ² K)
U_A	A tipi ölçüm belirsizliği
U_B	B tipi ölçüm belirsizliği
U_C	Birleştirilmiş ölçüm belirsizliği
U_f	Kirli yüzeyler için ısı transfer katsayısı (W/m ² K)

Simgeler**Açıklamalar**

U_G	Genişletilmiş ölçüm belirsizliği
$\dot{V}$	Fan havasının hacimsel debisi (m ³ /s)
$\dot{V}$	Hacimsel debi (m ³ /s)
$\dot{V}_g$	Kurutma ortamının hacimsel gaz debisi (m ³ /s)
V_m	Kömür parçacıklarının yataktaki hacmi (m ³)
V_{ort}	Ortalama hız (m/s)
V_z	Yatağın toplam hacmi (m ³)
w	Havanın mutlak nemi (kg nem / kg kuru hava)
λ	Hava fazlalık katsayısı
ϕ	Genişleme faktörü
β	Kanal açısı (°)
τ	Oyalanma süresi (s)
ψ	Gözeneklilik katsayısı
ψ_0	Kömürün statik gözenekliliği
ν	Kinematik viskozite (m ² /s)
ν_g	Kurutma havasının kinematik viskozitesi (m ² /s)
η_b	Kazan verimi (%)
η_f	Fan verimi (%)
η_i	Türbin-Jeneratör sistemi verimi (%)
η_{PP}	Santral net verimi (%)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
ρ_f	Havanın yoğunluğu (kg/m ³)
ρ_s	Kömürün yoğunluğu (kg/m ³)
μ	Ön kurutma derecesi (kg nem / kg kömür)
μ_b	T_b sıcaklığındaki dinamik viskozitesi (kg/ms)
μ_f	Akışkanın dinamik viskozitesi (kg/ms)
μ_w	T_w sıcaklığındaki dinamik viskozitesi (kg/ms)
ΔI_e	Elektrik satışından elde edilen ekstra gelir (TL)
Δp	Basınç düşüşü (Pa)
ΔT_{lm}	Logaritmik sıcaklık farkı (K)

Kısaltmalar**Açıklamalar****AID**

Alt Isıl Değer

ASTM

Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu

EN

Avrupa Normu

NBD

Net Bugünkü Değer

TS

Türk Standardı

1. GİRİŞ

Enerji, ekonomik gelişmenin temelidir ve ulusların kalkınmalarında büyük önem taşımaktadır. Ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel girdilerinden biri olan enerjinin, dünyanın ve insanlığın geleceğindeki belirleyici konumu, her geçen gün daha da artmaktadır. Bu yüzden enerjinin ucuz ve kaliteli olmasının yanında kesintisiz ve güvenilir bir şekilde sağlanması ülkelerin önem verdiği konuların başında gelmektedir. Bu nedenle enerjinin planlama ve yönetim boyutları önem kazanırken ulusal kaynakların etkin ve rasyonel kullanımları da ayrıca önem arz etmektedir.

Son yıllarda, Türkiye için elektrik üretimi amaçlı kaynakların seçiminde ithal kaynaklara ağırlık verilerek yurtiçi kaynakların göz ardı edilmesi, enerji güvenliği bakımından önemli riskler oluşturmaktadır. Özellikle, ülkeye hesapsız, plansız doğal gaz girişinin olması, yerli kömürlerin kullanıldığı termik santrallerdeki elektrik üretiminden vazgeçilmesi sonucunu doğurmuştur. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarından tam manasıyla faydalanılmaması ve maliyetlerin yüksek olması nedeniyle kurulu güç miktarı istenilen düzeye ulaşmamıştır. Türkiye'deki elektrik üretimindeki kurulu güçler incelendiğinde 2009 yılı itibariyle kurulu gücün %46,2'si yabancı kaynaklara dayanırken, %53,8'i yerli kaynaklara dayanmaktadır. 2018 yılı sonu itibariyle yerli kaynaklı kurulu güç oranı yaklaşık %59,5'lere ulaşmıştır [1-2]. Kömürün kurulu güç içerisindeki payı incelendiğinde, yerli kömürün 2009 yılındaki kurulu gücü 8580 MW ile toplam kurulu gücün %19,1'i iken, 2018 sonu itibariyle 10203 MW ile toplam kurulu gücün %11,5'idir.

Türkiye'de yerli kömür kullanan 51 adet elektrik santrali işletmededir. Bu santrallerden kurulu gücü 100 MW'ın üzerinde olan 14 adet linyit, 1 adet taş kömürü ve 1 adet asfaltit termik santrali bulunmaktadır [3]. Türkiye kömür rezervlerine bakıldığında ise yerli rezervlerin çoğunluğunu, yüksek nemli, düşük ısı değerlere sahip linyitlerin oluşturduğu görülmektedir.

Linyitin bünyesinde bulunan nem, termik santral kazanındaki ısı kaybını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Nem, yanma sonucu açığa çıkan yüksek ekserjideki yanma ısını çeker ve buharlaşır. Bu da yakıt tüketimini, baca gazı miktarını, enerji tüketimini, bakım maliyetlerini arttırmaktadır ve tesis verimini düşürmektedir. Ayrıca nem, kömürün gevrekliğini azaltmakta, öğütme kalitesini düşürmekte, ayırma, sınıflandırma ve

harmanlama işlemlerini zorlaştırmaktadır. Linyitin nem içeriği azaltıldığı takdirde, alt ısı değeri artışı, baca gazı debisi düşüşü gibi sonuçları açığa çıkarmanın yanında, santralin termal performansı da artacaktır. Bu yüzden linyitin kazan beslemesinden önce kurutulması büyük önem arz etmektedir. Linyitin neminin azaltılması için atık ısıdan faydalanmak, sistem verimliliği açısından önem taşımaktadır. Atık ısı kaynağı olarak da kazandan çıkan baca gazı, türbinden çıkan atık buhar ve kondenserden çıkan soğutma suyu kullanılabilir.

Yapılan çalışma, deneysel ve teorik analiz olarak iki kısımdan oluşmaktadır. İlk aşamada tasarımda ve teorik analizde kullanılacak kömürün kimyasal ve fiziksel özelliklerinin tayini için farklı bölgelerdeki rezervlerden farklı başlangıç nemi içeriklerine ve kompozisyona sahip kömür numuneleri tedarik edilerek teorik analiz sıcaklığında ve şartlarında kurutma işlemi gerçekleştirilip, kömürün kurutma esnasındaki fiziksel davranış grafikleri ve değerleri elde edilmiştir. Bunun yanında tasarlanacak sistemde kullanılacak kömürlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini tespit etmek için ilgili standartlara göre deneyler gerçekleştirilmiştir.

İkinci aşama olan teorik analizde ise, Afşin Elbistan B Termik Santralinin işletmedeki çalışma şartları ve parametreleri kullanılarak Afşin-Elbistan ve Muğla Yatağan linyitlerinin ön kurutulması modellenmiştir. Kurutma sisteminde akışkan yataklı kurutucu, pnömatik kurutucu ve döner kurutucular modellenerek sistemsel olarak karşılaştırması yapılmıştır.

Tasarımı yapılan ön kurutma sistemlerinde kazan beslemesinin aynı kalabilmesi ve kurutma sisteminin üretilen birliğin kolaylaştırılması açısından tek bir büyük kapasiteli kurutucu yerine küçük kapasiteli kurutuculardan oluşan birbirine paralel bağlı ve senkronize çalışabilen sistemler tasarlanmıştır. Tasarlanan tüm sistemlerde atık ısı kaynağı olarak kazandaki baca gazı kullanılmıştır. İlk sistemde, kurutucu olarak akışkan yataklı kurutucu seçilerek tasarımı yapılmıştır. Akışkan yataklı ön kurutma sisteminde, baca gazı atık ısı gövde borulu ısı değiştiriciden geçirilirken, taze hava kurutma havası sıcaklığına kadar ısıtılmaktadır. Elde edilen kurutma havası, dağıtıcılar yardımıyla kanallara ayrılarak küçük kapasiteli birbiri ile senkronize çalışan ve kazan sürekli beslemesini sağlayacak şekilde farklı çalışma periyotlarında çalışan akışkan yataklı kurutucuları beslemektedir. Akışkan yataklı kurutuculardan çıkan nemli hava kolektörde toplanarak filtrasyon sisteminden geçirildikten sonra dış ortama verilmektedir. Tasarımı yapılan ikinci ön

kurutma sisteminde ise kurutma havası gövde borulu ısı değıştiricide aynı şartlara ısıtıldıktan sonra pnömatik kurutucu yardımıyla kömürle temas ederek ön kurutma işlemini gerçekleştirmektedir. Siklonlardan konveyör banta aktarılan ön kurutulmuş kömür, kazan beslemesi için bunkerlere gönderilmektedir. Yapılan üçüncü ve son tasarımda ise baca gazı atık ısısı plakalı ısı değıştirici yardımıyla aynı kurutma sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra tambur kurutucuya gönderilmektedir. Tasarım kriterlerinin yerine getirilmesi amacıyla tambur kurutucunda çıkan kurutma havası ikincil bir plakalı ısı değıştirici yardımıyla tekrar kurutma sıcaklığına ısıtılarak tekrar ikincil tambur kurutucuya gönderilmektedir. Birbirine seri bağı olan döner kurutuculardan çıkan kömür kazan bunkerlerine gönderilirken, nemli havada kolektörlerde toplandıktan sonra filtre sistemine gönderilir.

Sistemlerin tasarım ve üretim parametrelerine uyabilmesi, kazan kömür besleme debisinin aynı kalarak ön kurutma olan ve olmayan sistemlerin karşılaştırılabilmesi için sistem sınırları çizilerek olabilecek maksimum ön kurutma derecesine göre sistem tasarımları yapılmıştır. Seçilen ön kurutma derecesi ve daha küçük değerlerine göre santral verimi üzerindeki sonuçlar her iki linyit numunesi için de incelenmiştir ve karşılaştırma yapılmıştır. İki kömür numunesi için de kazan verimi ve santral verimi hesaplanarak karşılaştırma yapıldıktan sonra tasarımı yapılan ön kurutma sistemlerinin ekonomik analizleri yapılmıştır. Elde edilen bulgular ise literatürde bulunan değerler ile karşılaştırılmıştır.

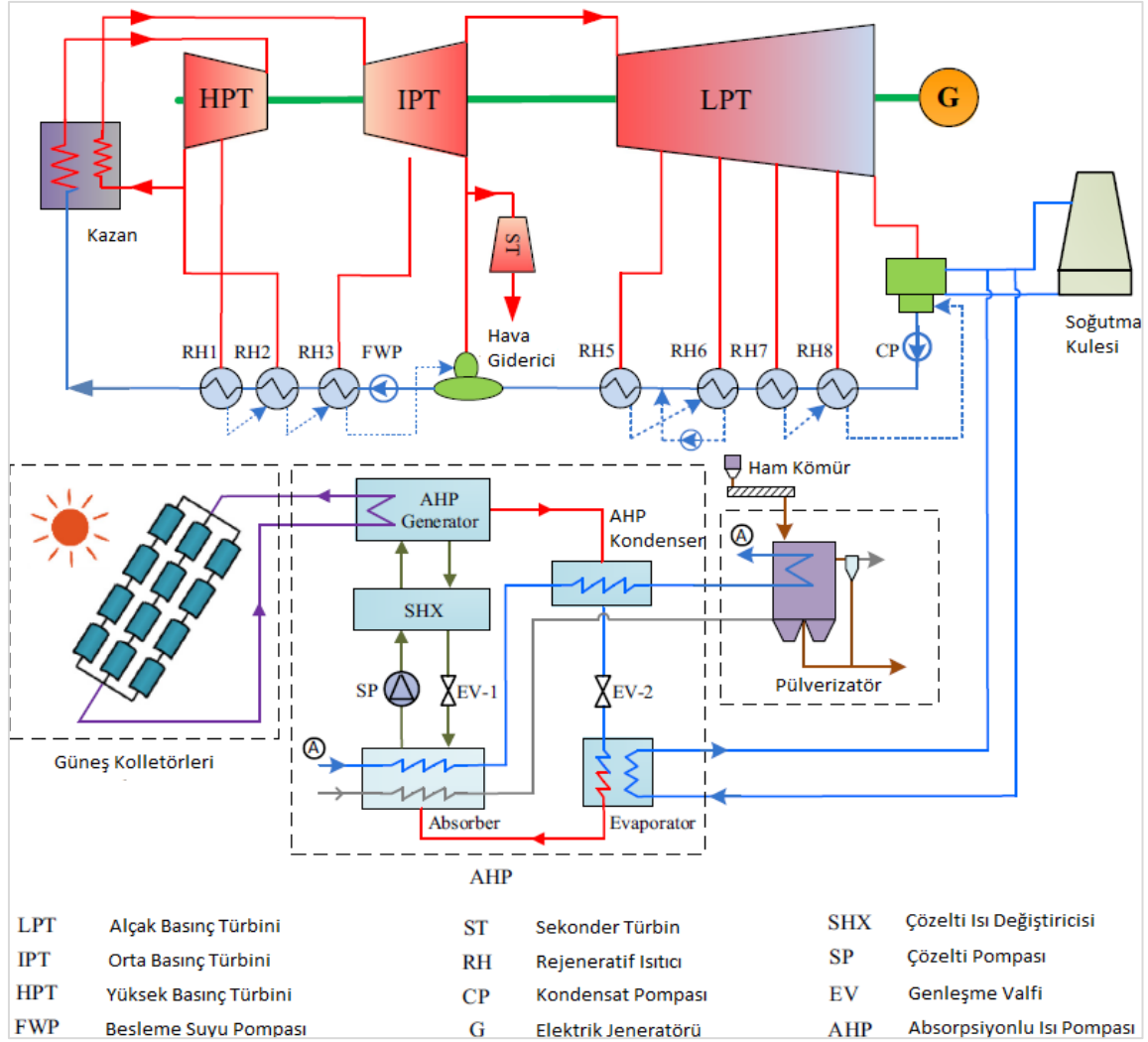
Gerçekleştirilen çalışmada bir termik santral için baca gazı atık ısısı kullanan ön kurutma sisteminin tasarlanması amaçlanmaktadır. Tasarlanan sistemler sayesinde kömürdeki nemin azalması neticesinde kömürün yanma verimi iyileştirilecektir. Yanma verimindeki artış ve kazan kayıplarındaki azalma sayesinde de termik santral kazan veriminde artış sağlanacaktır. Sonuç olarak da termik santralin veriminde artış sağlanarak daha fazla elektrik üretimi ve ekstra gelir elde edilebilecektir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Yapılan çalışmaya benzer çalışmalar incelenerek özetleri aşağıda sıralanmıştır.

Xu ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada nem oranı, enerji debisi, santral verimi arasındaki ilişkileri göstererek modellenmiştir. Farklı başlangıç nemlerine sahip kömürlerin ön kurutma performanslarını karşılaştırılmıştır. Tasarlanan sistemde kömür ön-kurutma prosesi, enerji santrallerindeki ana ünitelerin performansı üzerindeki etkileri sonucunda kömürün ön kurutmadan sonra, nem içeriğinin azalması ve bu da kömürün alt ısı değerinde bir artışa yol açması; kazanın enerji kayıplarının azalması ve kazan verimliliğinde bir artışa yol açması ve ön kurutmalı santraldeki buhar döngüsünün verimi, sabit buhar sıcaklığının ve basıncının bir sonucu olarak değişmeyecek, ancak kazanın mevcut ısı girdisi ve buna karşılık gelen buhar akış hızı, sabit ham kömür tüketim oranı altında artması sonuçlarına ulaşılacaktır. Bu nedenle de santralin elektrik gücü artacaktır. Yapılan analiz neticesinde de ham kömürden kg başına 0,1 kg nem alındığında, kömürün enerji debisi %0,6-1,5 arasında arttığı tespit edilmiştir. Kazan verimi %0,4-0,5 oranında artarken, yardımcı güç oranı %0,2 azaldığı, toplamda santralin verimi, %0,6-0,9 aralığında artış gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Ekonomik analiz neticesinde santralin, ön kurutma yapılmayan santrallere nazaran daha ekonomik olduğu anlaşılmıştır [4].

Xu ve arkadaşları tarafından yapılan bir diğer çalışmada, buhar döngüsünün düşük dereceli atık ısını absorbe etmek için absorpsiyonlu ısı pompası kullanılan bir sistem tasarlanmıştır ve pompayı tahrik etmek için parabolik kolektörlerde güneş enerjisi verimli bir şekilde kullanılmış ve fırına girmeden önce kömürden nemin uzaklaştırılması için uygun sıcaklıkta daha fazla ısı elde edilmesi sağlanmıştır. Önerilen sistemin kullanılmasıyla, güneş enerjisi kömürü yüksek ısı değerli kömüre dönüştürür ve kazanın ve buhar döngüsünün soğuk uç kayıpları eşzamanlı olarak azaltılıp ve yüksek verimli bir güneş enerjisi dönüşümü sağlanmıştır. Yapılan çalışmada, güneş enerjisi dönüşümü ve güneş-hibrid kömür yakıtlı enerji üretiminde daha fazla ilerleme kaydetmek için geliştirilmiş bir konsept sunulmuştur [5]. Şekil 2.1’de önerilen sistem gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Güneş enerji destekli ısı pompalı ön kurutma sistemli santral [5]

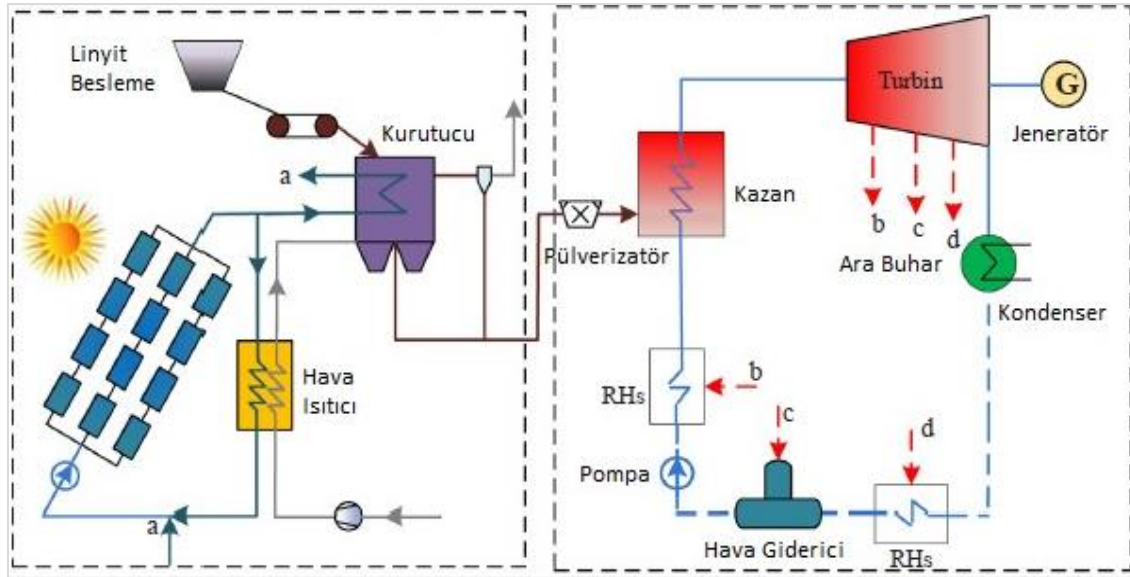
Yapmış oldukları çalışmada 600 MW'lık LRC yakıtlı süperkritik enerji santrali için referans yer olarak yıllık ortalama doğrudan güneş radyasyonu $0,61 \text{ kW/m}^2$ olan Sincan eyaleti seçilmiştir. 24,2 MPa ve 566 °C'de taze buhar üretilmiştir. Ara ısıtıcı, 3,23 MPa ve 566 °C'de çalışmaktadır. Kazan verimi %92,7, egzoz baca gazı sıcaklığı 142 °C'dir. Parabolik oluk tipi kollektörler, akışkan yataklı kurutucular ve LiBr / H₂O AHP kullanılmıştır. Sentetik yağ parabolik oluklu kolektörlerde yaklaşık 210 °C'ye ısıtılır, 130-140 °C sıcaklıkta buhar üretilir ve AHP'nin jeneratöründeki basınç 70–90 kPa'dır. Üretilen buhar, absorplayıcıda önceden ısıtılmış olan sirkülasyon suyunu AHP'nin kondenserinde yaklaşık 90 °C'ye ısıtmak için kullanılmıştır. Kurutucuda, sıcak sirkülasyon suyu, iç tüplerde ısıyı açığa çıkarır ve ardından geri dönüşüm için sırayla AHP'nin emicisine ve kondenserine geri dönmektedir. Emici ortamda 70 °C'ye ısıtılan hava, LRC parçacıklarını akışkanlaştırmak, kömür nemini buharlaştırmak ve aynı anda kendi nemini arttırmak için

kurutucudan geçmektedir. Çoğu durumda, çıkış havası normal olarak kurutucuda 65 °C'ye kadar soğutulur ve doyurulur ve işlemde daha fazla kullanılamamaktadır. Bu nedenle, linyitin ön kurutmasından sonra, nemli hava, parçacıkların ayrılması için filtrasyon sistemine girip ve hemen ardından atmosfere boşaltılmaktadır. Detaylı termodinamik ve ekonomik analizlerin sonucunda, tipik bir 600MW LRC-yakıtlı santralde 73 MW güneş termal enerjisi kullanarak önerilen entegre konsepti kullanılarak, toplam enerjide 4,6 kg/s'lik ham kömür tüketimi azaltılmıştır ve ekserji verimliliği %1,2 ve %1,8 artırılmıştır. Güneş enerjisi ile üretilen elektriğin maliyeti \$ 0,044 / kWh kadar düşürülmüştür [5].

Atsonios ve diğerleri tarafından atık buhardan ve atık ısılardan kurutma sistemleri tasarlanmıştır. Çalışmada incelenen ana işlem parametreleri, kurutma için ısı kaynağı ve ilgili kurutma ortamıdır. Konvansiyonel linyit kurutma işleminde, sıcak hava sirkülasyonlu baca gazı, bir ısıtma ortamı olarak kullanılırken, hâlihazırda mevcut olan ön-kurutma konseptlerinde, bir akışkan yataklı kurutma sistemi düşünülmüştür. Aynı zamanda, ısıtma ortamı olarak önceden ısıtılmış havanın kullanımı ve kurutma işlemi için bir ısı kaynağı olarak bir ısı pompasının optimize edilmiş entegrasyonu dâhil olmak üzere farklı kavramlar da incelenmiştir. Gerçekleştirilen termal çevrim hesaplamalarına dayanarak, santral verimliliği artışı gözlenmiştir. Çalışmanın sonuçları, optimize edilmiş ön-kurutma işlem şemasına ve genel buharla bütünleşmeye odaklandığında daha yüksek santral verimliliğinin beklendiği sonucuna ulaşılmıştır [6].

Yapmış oldukları çalışmada ilk olarak 110 °C'de akışkan yatakta farklı ısı kaynakları ile kurutma yapılırsa, santral veriminin ne oranda değişeceği incelenmiştir. Başlangıç nemi %53,2 olan kömürün nemi %12'ye düşürüldüğünde ısı kaynağı olarak atık buhar kullanıldığında santralin toplam verimi %1,5 artarken, ısı kaynağı olarak devir daim buharı ile kurutulursa verim %2,07, son olarak da besleme suyu ısı kaynağı olarak kullanılırsa %1,32'lik bir artış olacağı hesap edilmiştir. Ayrıca 60 °C, 110 °C ve 140 °C sıcaklıklarda farklı ısı kaynakları ile kurutma yapılarak kömürün nemi %25'e düşürüldüğünde santral veriminin %0,35 ile %0,89 olarak değişebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Havalı kurutucularda en fazla etkinin besleme suyu tankındaki sıcak su ile ısıtılan sistemin yaptığı ve santralin toplam verimine etkisinin %0,89'luk bir artış sağladığı sonucu elde edilmiştir [6].

Xu ve diğerleri tarafından yapılan bir diğer çalışmada güneş enerji destekli akışkan yataklı ön kurutma sistemi tasarımı yapılmıştır. Bu çalışmada, düz plaka toplayıcılarından toplanan güneş enerjisi, kurutma ortamı olarak havayı kullanarak ön kurutma işleminin ilerletilmesi için linyit kalorisinin yükseltilmesi, kazan debisini arttırmak ve buna bağlı olarak elektrik güç çıkışını arttırmak için faydalı bir şekilde kullanılmıştır. Önerilen sistem için enerji, ekserji ve ekonomi hesaplama modelleri, santral termal verimlerinin yanı sıra net ekonomik faydayı değerlendirmek için geliştirilmiştir. Linyit yakma ve güneş enerjili ön kurutma işlemlerinin grafiksel ekserji analizleri de gerçekleştirilmiştir. Güneş enerjisinden elektrik dönüşüm verimliliğinin yanı sıra güneş enerjisi ile üretilen elektrik enerjisinin maliyeti de güneş kullanımı etkinliğini değerlendirmek için hesaplanmıştır [7].



Şekil 2.2. Hava bazlı güneş enerjili kömür ön-kurutma sisteminin şematik görünümü [7]

Yapmış oldukları çalışmada (Şekil 2.2), güneş enerjisi ile çalışan, hava bazlı linyit ön kurutma işlemini kullanan, güneş enerjisi ile çalışan linyit kurutucuları, kazan ve buhar türbini güç üretim bloğu dâhil, güneş-lyinit hibrid enerji santrali konseptini göstermektedir. Daha özel olarak, vakum tüplü düz plaka toplayıcıları, sirküle edilen suyu ısıtmak için doğrudan ve dağınık güneş ışınımını toplamak üzere kullanılmakta ve kollektörlerden çıkan ısıtılmış su iki akışa bölünmektedir, birincisi borulardaki akışkanlaştırılmış kurutucular içindeki ısıyı açığa çıkaran buhar, diğeri ise kurutma ortamı ve nem taşıyıcı olarak hizmet eden havayı ısıtmak için ısıyı serbest bırakan diğeri akıştır. Hava ısıtıcı ve kurutucuda ısıyı serbest bıraktıktan sonra, sirkülasyon suyu bir döngüyü tamamlamak için güneş enerjisi toplayıcılarına geri dönmektedir. Hava, çevreden yaklaşık 70 °C'ye kadar

sirküle edilen suyla (güneş enerjisinin taşıyıcısı) ısıtılır ve ısıtılmış hava linyit parçacıklarını sıvılaştırmak, linyitin nemini buharlaştırmak ve aynı anda kendi nemini doygun aşamaya yakın neme arttırmak için kurutucudan geçmektedir. Nem buharlaştırma işlemi sırasında, hava sıcaklığı, linyit kurutması için gerekli olan ısıнын büyük bir kısmının kurutucunun iç su borularından gelmesi ve akışkanlaştırma havasının sadece nem taşıyıcı olarak işlev görmesinden dolayı çok fazla düşmeyecektir. Daha yüksek hava sıcaklığı, daha yüksek nem emme kapasitesi ve buna bağlı olarak daha büyük kurutma hızı anlamına gelmektedir. Linyit ön-kurutma işleminden sonra, nemlendirilmiş hava parçacıkların ayrılması için filtrasyonun hemen ardından atmosfere boşalır ve ön-kurutulmuş linyit kömür pülverizasyon sistemine beslenir ve enerji döngüsündeki buhar döngüsünü çalıştırmak için sıralı olarak kazan ocağında yanacak şekilde sistem çalışmaktadır. Detaylı termodinamik ve ekonomik analizlerin sonuçları neticesinde, önerilen sistemin 57,1 MW'lık güneş enerjisi kullanıldığında, toplam enerji ve ekserji verimliliği %0,5 ve 1,6 puanlık artışla ek 29,6 MW net elektrik üretebildiğini göstermiştir. Güneş enerjisi ile üretilen elektrik enerjisi maliyeti 0,035 \$ / gün (kWh) kadar düşük olabilmektedir ve önerilen sistemin karbondioksit azaltımı olarak düşünüldüğünde önerilen sistemin net yıllık faydaları 36,4 milyon \$ olurken 95,7 milyon \$ 'a kadar da ulaşabileceği ön görülmektedir [7].

Liu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada baca gazıyla ön kurutma yapan sistemler ile atık buharla kurutma yapan sistem tasarımları yapılarak teorik olarak karşılaştırılmıştır. İki ön kurutma yönteminin (her iki kazan baca gazı kurutma ve buharla kurutma) termodinamik analizi yapılmıştır. Sonuçlar, ön-kurutma yöntemlerinin, santral ısı verimliliğini arttırabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, kazan baca gazı kurutması, sadece, kurutma makinesinin egzoz sıcaklığının yeterince düşük olduğu ve kurutucu ısı verimliliğinin yeterince yüksek olduğu durumda, tesisin termal verimliliğini geliştirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca buhar ön kurutması, santral ısı verimliliği iyileştirmede daha yüksek bir potansiyele sahip olduğu ve buharlı kurutucu için buhar ekstraksiyonunun akış hızı, baca gazı kurutucusu için baca gazı ekstraksiyonunun akış hızından çok daha düşük olduğu, dolayısıyla buhar ön-kurutma işleminin, geleneksel linyitle çalışan enerji santralinin yenilenmesi için daha uygun olduğu sonucu elde edilmiştir [8].

Yapmış oldukları termodinamik analizler neticesinde ön kurutma derecesi 0,35 olduğunda baca gazı ile kurutulacak kömür için santral verimliliği en çok akışkan yataklı

kurutucularda artmaktadır. Referans santralin verimi %43,05 iken, akışkan yataklı kurutucuda ön kurutma derecesi 0,35 olduğunda santral verimi %44,3'e çıkmaktadır. Akışkan yataklı kurutucuları sırasıyla havalı kurutucular, karıştırma odalı kurutucular ve döner kurutucular izlemektedir. Aynı ön kurutma derecesinde havalı kurutucu için santral verimi %43,85'e çıkarken, karıştırma odalı kurutucu için %43,75, döner kurutucu içinse %43,65'e çıkmaktadır. Buharlı kurutucularda ise santral verimi buharın özelliklerine göre ön kurutma derecesi 0,35 olduğunda santral verimini %46 ile %44,9 aralığına yükseltmektedir [8].

Liu ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada linyit yakıtlı termik santrallerin net verimliliğini arttırmanın yollarından birinin, kazanı beslenmeden önce linyitin ön kurutmaya tabi tutulması olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, linyitin ön kurutması, kendiliğinden tutuşma riski olan yüksek enerji tüketimi proses olduğu ve linyit düşük sıcaklıkta kurutulmasının, kurutma sürecinde linyitin kendiliğinden tutuşması olasılığını düşürebileceği belirtilmiştir. Ayrıca, kurutma ısısı kaynağı olarak düşük sıcaklıktaki enerjinin kullanılması, santrale yüksek verimlilik sağlamaktadır. Çalışmada vakumlu kurutucu entegre edilmiş linyit yakıtlı bir santral tasarlanmıştır. Ayrıca, geliştirilen teorik modelleri kullanarak 1000 MW'lık bir enerji santralinin termodinamik analizi yapılmıştır. Sonuçlar, kurutma ısısı kaynağı olarak düşük basınçlı buhar veya ısı pompası kullanıldığında, santralin net verimliliğinin %2,39 veya %1,88 oranında artırılabilirliğini göstermiştir. Ana faktörler analiz edildikten sonra, santralin net verimliliğinin, kurutma derecesiyle arttığını ve kurutucunun işletme basıncıyla azaldığını ve ısı pompasının, 2. kanun verimliliğinin 0,76'dan yüksek olduğu kurutma prosesleri için ısı kaynağının sağlanmasında iyi bir seçim olduğunu sonucuna ulaşılmıştır [9].

Xu ve arkadaşları tarafından yapılan bir diğer çalışmada, düşük dereceli kömürü yerel olarak elektrik üreten ihraç edilebilir katma değerli kömür haline dönüştüren ve kömür ön-kurutma, düşük sıcaklıklı piroliz ve güç üretimi kullanarak düşük seviyeli kömürlerin geliştirilmesi ve kullanılması için kullanılabilen entegre güneş hibrit bir sistem önerilmiş ve analiz edilmiştir. Toplanan güneş enerjisi kömür ön-kurutma ve düşük sıcaklık piroliz proseslerini beslemek için kademeli bir şekilde kullanılmaktadır. Pirolizörden boşaltılan düşük enerjili yoğunluklu ham sentrojen, kazandaki geliştirilmiş kömür ile yakılarak verimli bir şekilde kullanılmakta ve buhar türbini ünitesindeki yoğunlaşma / besleme suyunun ön ısıtılması yoluyla geliştirilmiş kömürün hissedilebilir ısısı büyük oranda etkili bir

şekilde geri kazanılmaktadır. Önerilen sistem, tipik bir 600 MW kritik üstü enerji santrali ile entegre edilerek Zhundong linyiti için iyileştirme ve kullanımı için bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Termodinamik analiz sonuçları, toplam enerji ve ekserji verimliliğinin, 47,8 MJ / (kWh) olan ürün enerji dağıtım oranı ile sırasıyla %90 ve %89,8'e ulaşabileceğini göstermiştir. Kömür iyileştirme işleminin eşdeğeri olan dönüşüm verimliliği %98,8'e yükselirken, net sistem verimliliği %49,4'e ulaşmıştır [10].

Xu ve diğerlerinin yaptığı bir başka çalışmada, linyite düşük sıcaklıkta ön kurutma yapılması, linyit yakıtlı enerji santrallerinin verimliliğini artırmak için etkili bir yaklaşım olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada, baca gazı atık ısısı kullanılarak orta nemli bitümlü kömürlerin ön kurutması için geliştirilmiş bir tasarım önerilmiş ve fizibilitesi değerlendirilmiştir. Önerilen tasarımda, kazan egzozu baca gazı, işlenmemiş kömürün ısıtılması ve ön-kurutulması, kömür neminin büyük bir kısmının giderilmesi ve enerji santralinin enerji verimliliğinin iyileştirilmesi için kurutucularda kurutulmaktadır. Termodinamik analiz ve ekonomik değerlendirme neticesinde, önerilen sistem tasarımını içeren tipik 1000 MW'lık bir bitümlü kömürle çalışan enerji santraline dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, net elektrik santrali verim kazancı, kömür ön kurutma yapılmayan referans tesise kıyasla %0,4 artarak 9,3 MW'lık ek net güç çıktısı elde edilmiştir. Bu artış, nem içeriğinin %10,3'ten %2,7'ye düşmesiyle gerçekleşmiştir. Kömür ön kurutmasına bağlı olarak elde edilen ek net ekonomik fayda, yılda 1,91 milyon ABD dolarına ulaşacağı sonucuna ulaşılmıştır [11].

Hu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, düşük kaliteli kömür ateşlemeli güç santrallerinin genel verimliliğinin nispeten düşük olduğu durumu tespiti yapılmıştır. Çalışmada, kömürün ön kurutma ile genel verimliliğin geliştirilebileceğini ve akışkan yataklı kurutma tekniğinin, yüksek kuruma oranı, yüksek işleme kapasitesi ve düşük bakım maliyeti nedeniyle istenen bir seçim olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada, iki yeni, akışkan yataklı ön kurutma sistemi, 1000MW'lık bir enerji santraline entegre edilmiştir. Sıvılaştırılmış ortam olarak aşırı ısıtılmış buhar ve sıcak hava kullanılmıştır. Bu enerji üretim sistemlerinin her bir bileşeni için modeller, malzeme ve enerji dengelerine dayanarak geliştirilmiştir. Bu santrallerin performansları, tipik çalışma koşulları altında hesaplanmış ve çalışma parametrelerinin etkisini değerlendirmek için parametrik analizler de yapılmıştır. Güç üretimi verimliliğinin, düzgün çalışan bir ön kurutma sistemi ile önemli ölçüde arttığı sonucu bulunmuştur [12].

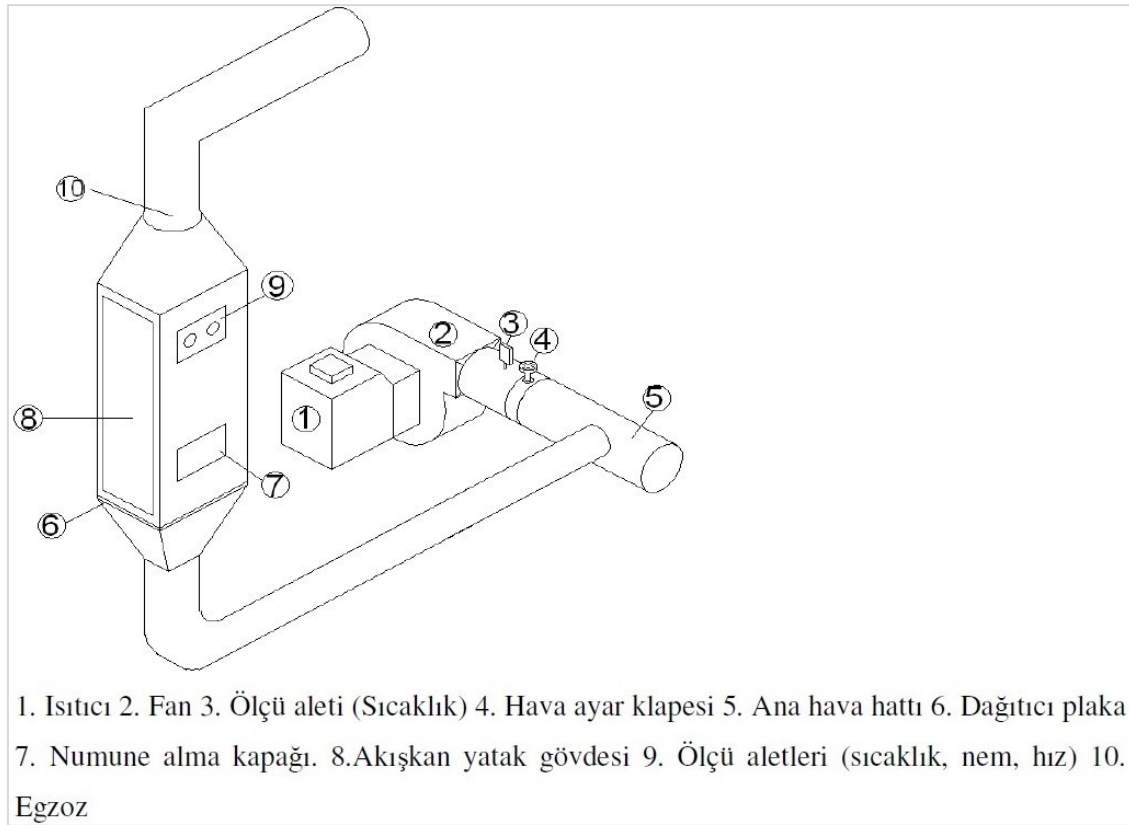
Çalışmada ön kurutma yapılmayan referans santraldeki kömürün nem oranı %45'tir. Santralin verimi ise %38,16'dır. Kızgın buharla kurutma yapan akışkan yataklı ön kurutma sisteminde kömürün nemi %25'e düşürüldüğünde santral verimi başlangıçta %39,32'ye yükselirken, bu oran sıcak hava ile ön kurutma yapılan akışkan yataklı kurutucu için %39,59'a, harici kurutma yapılırsa %40,9'a yükselecektir. Ayrıca tasarlanan sistemlerde kazanın verimliliği %78,59'dan %84,24'e çıkmaktadır. Ön kurutma derecesi 0,4 olduğunda ise santral verimi kızgın buharla kurutma yapan akışkan yataklı ön kurutma sistemi için %39,9'a, sıcak hava ile ön kurutma yapılan akışkan yataklı kurutucu için %40,4'e, harici kurutma yapılırsa %42,3'e yükseleceği sonucuna ulaşılmıştır [12].

Yapılan bir çalışmada, Xu ve arkadaşları su soğutmalı elektrik santrallerindeki 30 ila 50 °C arasında değişen soğutma suyunun atık ısını kullanarak düşük sıcaklıklı linyit ön kurutma sistemi tasarımı yapmışlardır. Tasarlanan sistemde kurutucunun giriş havasının sıcaklığı 50 °C'dir, bu da su soğutmalı elektrik santralindeki ön kurutma sisteminden yaklaşık 7 °C daha yüksektir. Spesifik olarak, önerilen sistemde kurutmak için kullanılan enerji, ısı geri kazanım teknolojisindeki buhar türbininden gelen buhar yerine hava soğutmalı kondanserden gelen atık ısıdır. Ayrıca, önerilen sistemdeki kurutucunun akışkanlaştırma ortamı, buhar yerine havadır ve bu durum gerekli olan daha düşük bir kurutma sıcaklığına yol açmaktadır. Tasarımı yapılan sistemde ön-kurutulmuş linyitin nemi %39,5'ten %31,5'e düşürülür ve fırın baca gazı egzoz sıcaklığı 140 °C'ye düşer. Akışkan hava fanının kurutma sisteminde adyabatik etkinliği %80'dir ve kurutucudan çıkan egzoz havasının sıcaklığı 40 °C'ye ayarlanmıştır. Kurutucudaki minimum sıcaklık farkının 10 °C olduğu varsayılmaktadır ve linyit kurutma, ortam atmosferi koşullarında gerçekleştirilir ve akışkan yataklı kurutucudan çevreye ısı kayıpları olmaz. Buna ek olarak, kurutucu tüplerindeki buhar ve yoğunlaştırılmış suyun basınç kaybı ve kurutucu kondensatının pompalanması için gerekli elektrik gücü, bu çalışmada herhangi sonuca etki etmeyecek ve makul ölçüde ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Sistem parametreleri belirlendikten sonra tasarlanan sistemde ön kurutma sistemi bulunmayan santralin verimi %37,6 iken ön kurutma sistemi ile birlikte santral verimi %38,9'a yükselmektedir [13].

Liu ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada kızgın buharla döner borulu kurutucu ile ön kurutma yapılan bir sistem tasarımı yapılmıştır. Döner kurutucuda, nemin linyitten buharlaşması için gerekli olan enerji, rejeneratif sistemin buhar ekstraksiyonu ile sağlanır. Buhar ekstraksiyonu, kurutucuya eksen boyunca girer, ısıyı boru yüzeylerine aktarır ve

döner tüp kurutucuyu yoğuşma olarak bırakır. Buharlaşan nem, hava yoluyla taşınır ve kurutucudan linyitle aynı yönde ilerler. Linyitin nem içeriği %39,5'ten %19,5'e kadar kurutulmuştur, yani 1 kg linyitten kurutulmuş nem kütlesi 0,2484 kg/kg olmuştur. Kazan egzoz sıcaklığı 148 °C'den 131 °C'ye düşmüştür. Güç sistemi verimliliği iyileştirmesi, daha önce geliştirilmiş olan teorik modelinin, yoğuşma sıvısını hava gidericiye gönderildiği zaman konvansiyonel linyit ateşlemeli güç sisteminin verimliliğini yaklaşık %1,87, kondensatöre gönderildiği zaman %1,72 oranında artmıştır [14].

Kızıl tarafından yapılan deneysel çalışmada, akışkan yatakta kömür kurutulması için laboratuvar ölçülerinde bir deney seti kurulmuştur. Şekil 2.3'te kurulan deney setinin şeması gösterilmektedir [15].



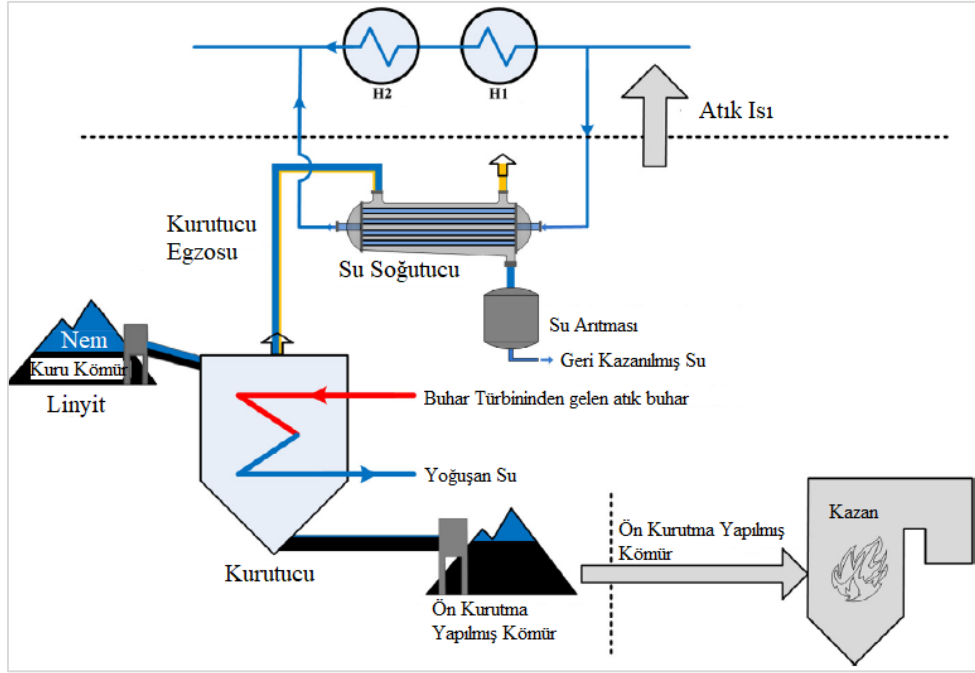
Şekil 2.3. Akışkan yataklı kurutucunun şeması [15]

Deneylerde Çatalağzı Termik Santralinin stok sahasından temin edilen, 2700–3500 kCal/kg ısı değere sahip, filtrasyon ürünü tas kömürü kullanılmıştır. Kurutma havası olarak; ortam sıcaklığındaki havanın yanı sıra, fanın emiş kısmına yerleştirilmiş 3 kademeli ısıtıcı vasıtası ile ısıtılmış hava da kullanılmıştır. Her bir deney öncesi elek

analizi yapılmış ve deneylerde 0–10 mm arası elek altı kömür kullanılmıştır. Elek analizi sonucu, elek altı ve elek üstü kömür oranları belirlenmiş, 5000 gram kütleyle sahip olacak şekilde 0–10 mm arası kömür tartılarak, test işlemi her bir deney için gerçekleştirilmiştir. Ortam sıcaklığında yapılan deneylerin yanı sıra, sırasıyla önce ilk kademe rezistans, sonra iki kademeyi, sonuncu olarak da üç kademeyi birlikte çalıştırarak akışkan yatak havası ısıtılmış ve deneyler uygulanmıştır. Deney başlangıcında ve 50, 100, 150, 200, 250 ve 300 saniyede bir 100 gram numune alınarak laboratuvarında nem tayini yapılmıştır [15].

Yapmış olduğu deneysel çalışmada minimum akışkanlaşma hızı yaklaşık 3,6 m/s bulunmuştur. 4,1 m/s akışkanlaşma hızında kurutma havası sıcaklığı yaklaşık 25 °C’de, kömürün neminin 300 s sonra %15 azaldığı; aynı şartlarda kurutma havası sıcaklığı yaklaşık 50 °C’de kömürün nem içeriğinde %85’lik bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Akışkanlaşma havası artırıldığında ise sonuçların değişmediği, ancak artan sıcaklıkla beraber nem içeriğinin artan bir şekilde azaldığı sonucuna ulaşılmıştır [15].

Liu ve diğerleri yaptığı çalışmada, kurutma ve su geri kazanım teknolojilerini, linyitle çalışan enerji santrallerine entegre etmiştir. Bu çalışmada üç çeşit linyit içeren hava-soğutma ve yağ-soğutma üniteleri niceliksel olarak analiz edilmiştir. Sonuçlar enerji koruma ve su korumanın aynı anda elde edildiğini göstermiştir. Kömürün kurutulması ve su geri kazanımı Şekil 2.4’te gösterilmiştir. Yüksek neme sahip linyit yakan santral, düşük nemli linyit yakan santrale göre daha yüksek güç üretim verimliliği ve daha düşük bir su tüketim oranı ile daha çevre dostu olur. Hesaplamalar neticesinde, hava-soğutma ünitesinin suya ihtiyaç duymadığını ve hatta su taşıma katsayısının 40 g / MJ’den daha yüksek olduğu zaman, güç üretirken biraz su ürettiğini ortaya çıkmıştır [16].

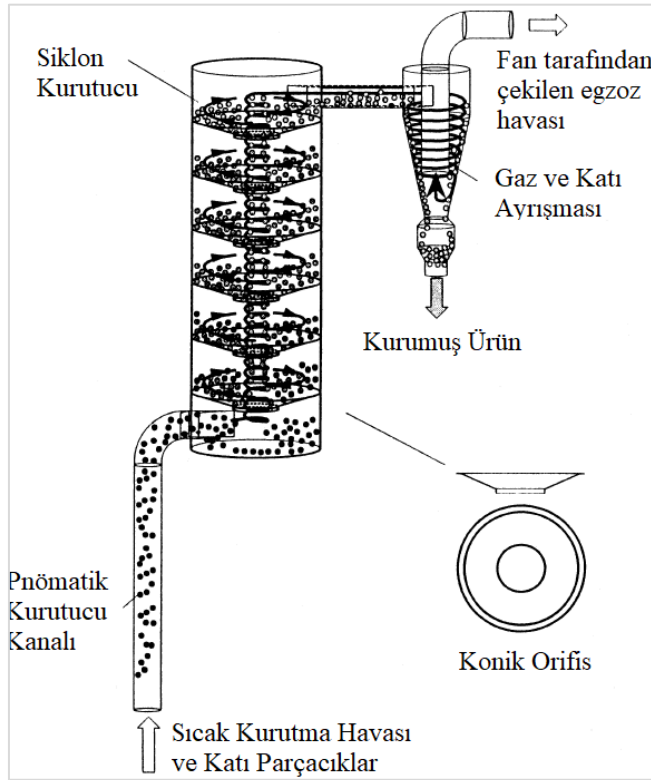


Şekil 2.4. Ön kurutma ve su geri kazanım sistemi [16]

Pelegrina ve Crapiste tarafından yapılan çalışmada patates parçacıklarının pnömatik kurutucuda kurutulması için bir boyut model tasarlanmıştır. Yapılan modelde patates parçalarının çekilmesi, nemi ve sıcaklığı göz önünde bulundurularak katı ve gaz fazlar arasındaki kütle, moment ve enerji transferi denklemleri kurulmuştur. Kurutucu modelinde bir tapa akışı varsayımı yapılmıştır ve parçacıkların küresel olmayan şekli için çekme ve ısı transfer katsayısı dikkate alınmıştır. Model, kurutucu boyunca parçacıkların ve havanın hızı, nem ve sıcaklığı için sayısal olarak lineer olmayan diferansiyel denklemler yardımıyla çözülmüştür. Tasarlanan modelde farklı sınır şartları altında patates kurutma işlemi gerçekleştirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Modelleme sonucunda kurutucudaki kayma hızının kurutucunun besleme kısmına yakın olan giriş bölümünde yüksek olduğu, bu bölümden sonra ise dengeye geldiği sonucuna ulaşılmıştır. Kurutucuda kullanılan kurutma havasının hızına bağlı olarak basınç düşüşü incelendiğinde ise kurutma havasının giriş hızı arttıkça basınç düşüşü de 10 m/s hızdan sonra hızla bağlı olarak lineer olarak artmaktadır. Kurutma havasının giriş hızı 35 m/s olduğu durumlarda kurutucudaki toplam basınç düşüşü yaklaşık 500 Pa olmaktadır. Ayrıca tane boyutu büyüdükçe basınç düşüşü de artmaktadır. Yaş bazda yaklaşık %65'i su olan patates parçaları 10 m uzunluğundaki kurutucuda kurutma sıcaklığına bağlı olarak nemi %2 ile %8 aralığına kadar kurutulabilmektedir. Modelde 1 mm boyutlarındaki patates parçacıkları için başlangıç neminin tamamının kurutulabilmesi için pnömatik kurutucunun boyunun yaklaşık 58 m,

%75'inin kurutulabilmesi için 30 m, %50'sinin kurutulabilmesi içinse 19 m uzunluğunda kurutucu gerekmektedir [17].

Korn tarafından yapılan çalışmada, pnömatik kurutucuların kısa süreli kurutmanın yeterli olduğu çok düşük maliyetli kurutucular olduğu bu yüzden de daha uzun bir kuruma süresi gerektiren çoğu kurutma görevinde pnömatik kurutucular tarafından çözülemediği bahsedilmiştir. Bu yüzden pnömatik kurutucunun ön kurutma yaptığı siklon kurutucu ile birleştirilmiş kombine bir kurutucu sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem Şekil 2.5'te gösterilmiştir [18].

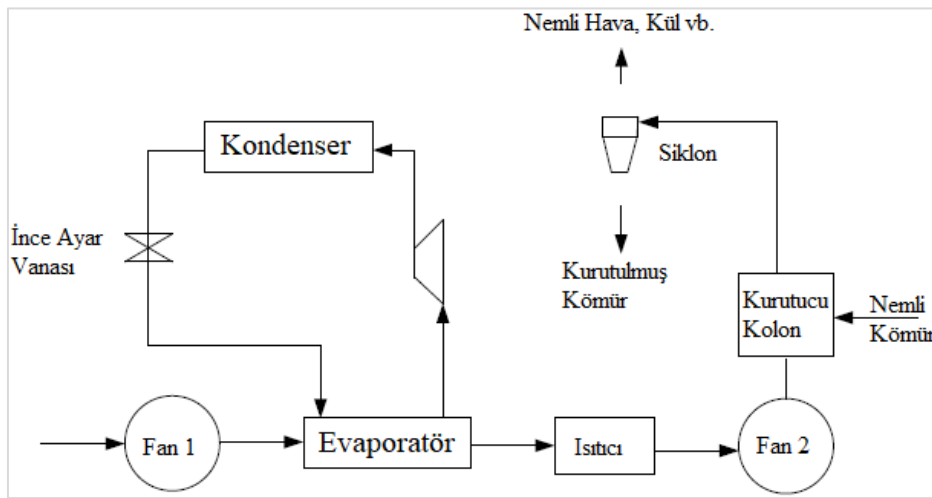


Şekil 2.5. Birleştirilmiş siklon kurutucu [18]

Sistemde parçacıklar pnömatik kurutucu yardımıyla kısa süreli ön kurutmaya tabi tutulduktan sonra uzun süreli olarak siklon kurutucuya geçer. Nemli katı parçacıkları siklon kurutucuda uzun süreli olarak kurutma işlemine tabi tutulduktan sonra ayrıştırma siklonuna gelerek havadan ayrılmaktadır. Tasarlanan sistemde 150 mm çapında ve 5 m uzunluğunda pnömatik kurutucu, 500 mm çapında ve 1,4 m uzunluğunda siklon kurutucu bulunmaktadır. Kurutucuda çam ağacı parçacıkları 312 °C'lik kurutma havası sıcaklığında başlangıç nemi %54 iken %12,8'e kadar 10,2 dakikada kuruyabilmektedir. Aynı sistemde

0-3 mm boyutlarındaki kentsel katı atıklar ise 186 °C'lik kurutma havası sıcaklığında başlangıç nemi %31,5 iken %6'ya kadar 1,5 dakikada kuruyabilmektedir [18].

Bizzy ve arkadaşları tarafından Endonezya'nın Güney Sumatra Eyaleti'nin sahip olduğu düşük kaliteli kömür için nem içeriğini azaltmak için yapılan araştırmalarda ve deneysel çalışmada, düşük sıcaklıklı kuru hava ile nem alıcı kullanılarak saniyede 0,30 g nem alma kapasiteli flaş kurutucu ile nemin azaltılarak, alt ısı değerinde artış sağlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Deney setinin şematik gösterimi Şekil 2.6'da gösterilmiştir [19].



Şekil 2.6. Düşük kaliteli kömür kuruma prosesi diyagramı [19]

1,8 mm kalınlıkta malzemeden oluşan 0,05 m çapındaki ve 4 m uzunluğundaki kurutucu ile 70 °C'de kurutma havası sıcaklığında, kömürün kalorifik değerinde %3,26 artış ve nem içeriğinde %15,61 azalma olduğu gözlenmiştir. Kömürün başlangıç nemi %24,34'ten %20,54'e düşerken, alt ısı değeri ise 5395 kCal/kg'dan 5571 kCal/kg'a yükselmiştir [19].

Gwak ve diğerleri düşük kaliteli kömürlerin kurutma karakteristiklerini, basınçlı besleyici, pnömatik kurutma boruları (maksimum 6 m), bir siklon ve bir geri basınç regülatöründen oluşan basınçlı bir flaş kurutma sistemi kullanılarak incelemiş ve belirlemiştir. Basınç (maksimum 40 bar), gaz çıkış sıcaklığı (maksimum 300 °C), partikül boyutları (212-300 ve 300-355 µm) ve kalış süresi (maksimum 1 sn) gibi çalışma koşullarının kurutma oranı araştırılmış ve analiz edilmiştir. Çalışma sonuçları sıcaklığın basınçtan daha etkili bir faktör olduğunu göstermektedir. Yapılan deneysel çalışmalar artan sıcaklıkla birlikte kurutma oranının arttığını göstermiştir. Kömürün başlangıç neminin neredeyse %98'i

kurutulmuştur. Kurutma oranı basınçla birlikte artmış, suyun kaynama sıcaklığından etkilendiği için düşük sıcaklıklarda ve 1-20 bar basınç altında artmamıştır. Ek olarak, aynı sıcaklıkta kurutma süresi arttıkça kurutma oranı da artmıştır; bununla birlikte, sonuçlar sıcaklık arttıkça kurutma oranının kuruma süresinden daha az etkilendiğini göstermiştir. Deney koşulları altında düşük kaliteli kömürün kurutma hızını tahmin etmek için bir korelasyon denklemi (Eş. 2.1) geliştirilmiştir [20].

$$D_r = 2,82 \times R^{0,63} \times S^{0,02} \times P^{0,28} \times T^{0,65} \quad (2.1.)$$

R oyalanma süresini (s), S kömür boyutunu (μm), P basıncı (bar) ve T sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) göstermektedir.

Ross ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada Yallourn linyitini kurutma için basınçlı bir pnömatik kurutucu kullanılmıştır. Kurutma için gerekli olan 800°C ve 10 atm basınçtaki hava dizel brölerle yakılarak elde edilmektedir. 50 m uzunluğundaki sistemde kömür beslemesi 750 kg/h 'dir. Sistemde 50 mm'den küçük olan kömür parçacıkları pülverizatöre girmekte ve 1-1,5 mm boyutlarında çıkmaktadır. Pnömatik kurutucuda %67 başlangıç nemine sahip linyitler besleme debisine ve parçacık boyutuna göre ortalama %30-40 neme kadar kurutulabilmektedir. Parçacık boyutu 1,02 mm olduğunda kömür nemi %32,4'e kadar kurutulabilirken, 1,46 mm olduğunda nem %41,5'e kadar kurutulabilmektedir. Yapılan testlerde kurutucunun giriş bölgesinde kurutma havası sıcaklığı yaklaşık 600°C iken kurutucunun 6 m'lik kısmındaki sıcaklık 350°C 'ye, 50 m'lik kısmındaki sıcaklık 180°C 'ye düşmektedir. Ayrıca tane boyutu daha da küçüldükçe alınan nem için kurutucu boyutu daha da azalmaktadır [21].

Banooni ve arkadaşları pnömatik kurutucu tasarım parametrelerinin etkilerini araştırmak için deneysel bir çalışma yapmıştır. Deneysel çalışmada, 5 cm çapında ve 13,45 m uzunluğunda ve 10 cm çapında ve 7,2 m uzunluğunda iki pilot ölçekli spiral pnömatik taşıma kurutucu kullanılmıştır. Araştırmanın temel amacı olarak, iki pilot ölçekli dikey pnömatik taşıma kurutucuda kurutucunun çapının ve uzunluğunun etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, gaz hızı ve sıcaklığı, partikül sıcaklığı, kütle akış hızı ve başlangıçtaki nem içeriğinin kurutucu performansına etkileri incelenmiştir. Hava hızı, hava sıcaklığı, hava basıncı ve partikül nemi içeriğindeki farklılıklar kurutucunun uzunluğu boyunca incelenmiştir. Enerji analizinin sonucunda da pnömatik kurutucuyu ön kurutucu olarak

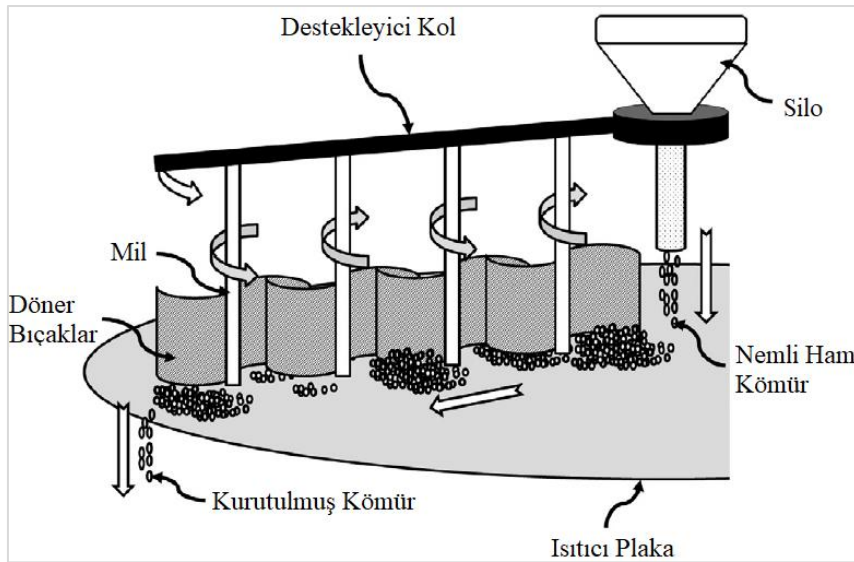
kullanmak spesifik enerji tüketimini yaklaşık %23,1 oranında azaltmıştır [22]. Deneysel çalışma neticesinde kurutma havasının hızı 8 m/s olduğunda katı parçacıkların nemi %23'ten %12'ye kadar azalırken, hız 12 m/s olduğunda nem %14'e kadar azalmaktadır. Ayrıca kanal çapı daha küçük olan deney setindeki basınç düşüşü yaklaşık 2000 Pa olurken, diğer deney setinde 650 Pa olmaktadır. Ayrıca kurutma havası sıcaklığı arttıkça alınan nem oranları da artmaktadır [22].

Precoppe ve diğerleri pnömatik kurutucunun optimizasyonu üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışmada Sahra altı Afrika'daki en önemli temel gıda olan Manyok için kullanılan pnömatik kurutucular üzerinde çalışılmıştır. Gıdanın, raf ömrünün kısa olması nedeniyle manyok unu gibi daha kararlı ürünlere işlenmektedir. Bu işletmelerin çoğu küçük ölçekli yerel olarak inşa edilmiş pnömatik kurutucular kullanmaktadır, bu nedenle araştırmada kurutucunun enerji performanslarını iyileştirmek için çalışılmıştır. Deneyler biri Tanzanya'da diğeri Nijerya'da olmak üzere iki manyok işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Kurutucular üzerine sensörler monte edilerek, ekipmanın kütle ve enerji dengesi analiz edilerek kurutucuların minimum hava kütle akış hızlarının hesaplanması sağlanmıştır. Her iki kurutucunun hava kütle akış hızları daha sonra minimum değere yaklaşan bir seviyeye düşürülmüştür. Tanzanya'da, kurutucunun hava kütle akış hızı %24'e düşürülürken, Nijerya'da %14'e düşürülmüştür. Her iki konumda da değişiklikler buharlaşma oranlarını tehlikeye atmadan kurutucuların ısı girdisini azaltmış ve bu nedenle kuru ürünlerin nihai nem içeriğini etkilememiştir. Kurutucu çıkışlarındaki hava sıcaklıkları azalmış ve bağıl nem artmıştır, entalpi değişmemiştir. 1 kg suyu buharlaştırmak için gereken enerji Tanzanya'da %20, Nijerya'da %13 azalmıştır. Optimizasyon sayesinde enerji verimliliği Tanzanya'da %25 ve Nijerya'da %14 artırmıştır [23].

Yoğurtçu yaptığı çalışmada, haşlanmış buğdayın halojen lambalı bir kurutucudaki kurutma karakteristiği incelemiştir. Kurutma deneyleri 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir ve elde edilen deneysel verilere seçilmiş ince tabaka kuruma modelleri uygulanmıştır. Haşlanmış buğdayın kuruma hızı, kuruma hız sabiti ve etkin difüzyonu üzerine kurutma sıcaklığının etkisi değerlendirilmiştir. Kuruma olayının azalan hız periyodunda gerçekleştiği ve kuruma hız sabitinin artan sıcaklıkla arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Kullanılan modeller arasında Weibull distribution modelinin kuruma eğrilerini temsil eden en iyi model olduğu belirlenerek etkin nem difüzyon katsayısı Fick'in ikinci

kanunundan hesaplayarak çalışılan sıcaklık bölgesinde $6,39 \times 10^{-11} - 2,22 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında değiştiğini belirlemiştir. Etkin difüzyon katsayısının sıcaklıkla ilişkisi Arrhenius tipi ilişki ile ifade edilmiştir. Sonuç olarak da aktivasyon enerjisi (E_a) 39,667 kJ/gmol olarak belirlenmiştir [24].

Moon ve arkadaşları çalışmalarında, yüksek nem içeriğine sahip düşük kaliteli kömürü, bir ısıtma plakası ve döner bıçaklarla donatılmış yeni bir disk kurutucuda kurutmuştur. Tasarlanan kurutucuda nemli kömür, disk kurutucunun ortasına beslenip, ısıtma plakasının merkezinden, döner bıçaklar tarafından plakanın dışına aktarılmaktadır. Gözeneksiz tek bir katı küresel parçacığın modelini kullanan sayısal bir analize göre, kömür parçacıklarının sıcaklığı 5 dakika içinde ısıtma plakasının sıcaklığına ulaşmıştır. Analiz ayrıca, 150 °C'lik bir ısıtma plakası sıcaklığında, nemli kömürün nem içeriğinin 5 dakika içinde %34'ten %3'e düştüğünü ve tüm nemli kömürün 10 dakika kuruma süresinden sonra kurutulduğunu göstermiştir. Isıtma plakası sıcaklığı, kömür besleme hızı, döner bıçakların dönme hızı, kurutma ortamı ve kömürün ısıtma plakası üzerindeki konumu gibi faktörlerin yeni disk kurutucunun etkinliği üzerindeki etkisini araştırmak için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Tasarlanan yeni kurutucu Şekil 2.7'de gösterilmiştir [25].



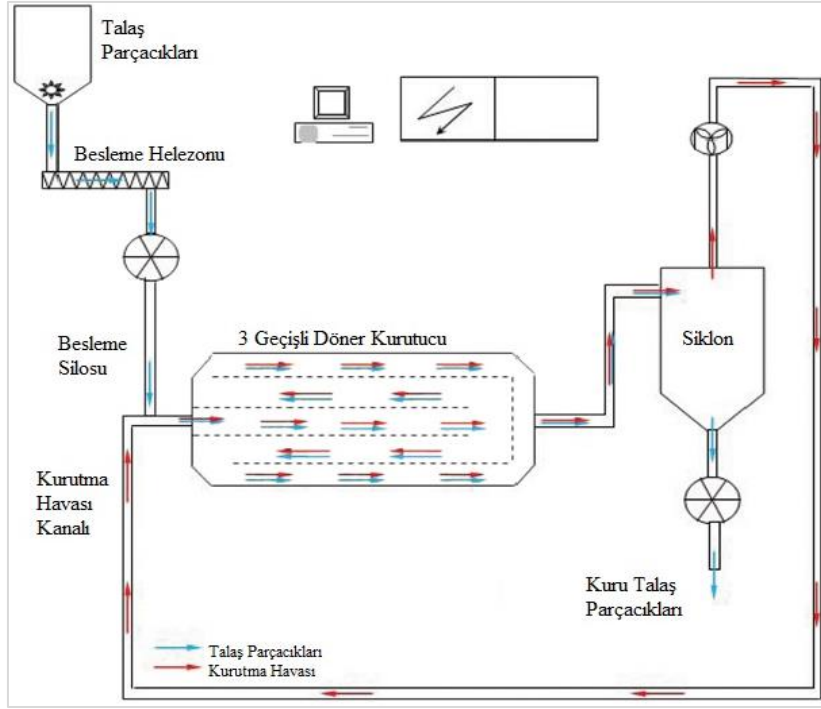
Şekil 2.7. Disk kurutucunun çalışma prensip detayları [25]

Isıtıcı plaka sıcaklığı yüksek olduğunda, kurutulmuş kömürün nem içeriği büyük ölçüde azalmıştır. Bununla birlikte, enerji verimliliği analizlerinde, ısıtıcı plakanın sıcaklığının 150 °C'de tutulması gerekliliği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, kömür besleme hızındaki bir

azalma nem içeriğini düşürmekte ve döner bıçakların yüksek dönme hızı da nem içeriğini biraz azaltmaktadır. Nemli kömürün sıcaklığı, kurumadan önce kurutucunun merkezinden belirli bir mesafeye kadar artmaktadır. Bununla birlikte, nemli kömürün sıcaklığı, boşaltmadan önce ısıtıcı plakanın dışına yakın bir bölgede kurumaya başlamıştır ve burada kömür sıcaklığı yaklaşık 100 °C'ye ulaşmıştır. Genel olarak, düşük kaliteli kömürün kurutulması için bir disk kurutucunun tasarımında ve işletiminde ısıtma plakasının boyutunun ve sıcaklığının dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır [25].

Thibault vd. pilot ölçekli bir döner kurutucuda kurutma için gerekli olan oyalama süresini dört tip katı (balık unu, kum, soya küspesi ve talaş) için deneysel olarak belirlerken, eğimli ve yatay döner kurutucular için ortalama kalma süresini tahmin etmek ve geliştirilen modelleri deneysel verilerle karşılaştırmak amacıyla katı debisini, kurutucunun eğimini, dönme hızını ve gazın debisini değiştirmişlerdir. Numerik olarak elde edilen 3 model hem birbirleri ile hem de 3 modelin korelasyonu ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde kurutucunun eğimi, dönme hızı ve katı debisi oyalama süresini etkileyen önemli faktörler olduğu, gaz debisinin ise sonucu çok etkilemediğini gözlemlemişlerdir [26].

Hosseinabadi ve arkadaşları katıların bir döner kurutucuda kurutma süresinin optimizasyonu için sistem tasarımı yapmışlardır. Kurutma süresi döner kurutucuların tasarımı için önemli bir parametredir, çünkü kütle ve ısı aktarım hızlarını doğrudan etkilemektedir. Sürenin kısa olması durumunda, talaşlar yeterince kurumaz. Uzun olması durumunda, aşırı kurutulurlar. Bu nedenle, uygun bir kurutma süresine sahip olmak hem enerji hem de tesis kapasitesi açısından faydalıdır. Döner kurutucudaki talaş parçacıklarının ortalama oyalanma süresi, kurutucu boyutları, katı özellikleri ve çalışma parametreleri gibi çeşitli değişkenlerden etkilenmektedir. Çalışmada, pilot ölçekli, kapalı döngü, üç geçişli döner kurutucuda kurutma sırasında bazı talaş parçacık karakteristiklerinin ve operasyonel parametrelerin ortalama oyalama süresi ve talaş parçacıklarının hızı üzerindeki etkileri simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları ve deneysel sonuçları (Şekil 2.8) karşılaştırmışlardır [27].



Şekil 2.8. Üç geçişli döner kurutucuda talaş kurutma sistemi şeması [27]

Sonuçların karşılaştırılması ve optimizasyon sonucunda talaş kurutma için optimum sistem parametre değerli kurutma havası hızı 15,15 m/s, talaş debisi 0,0142 kg/s, tambur dönme hızı 3 rpm, 1. geçiş tambur boyu 0,708 m, orta geçiş tambur boyu 1,116 m, 3. geçiş tambur boyu ise 1,524 m olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır [27].

Sai çalışmasında higroskopik olmayan bir materyalin kurutma ortamı olarak önceden ısıtılmış hava ile kurutma kinetiğinin elde edilmesi için döner kurutucuda deneyler gerçekleştirmiştir. Kurutma işleminin kinetiği, kurutma ortamının farklı sıcaklıkları ve akış hızları, katıların başlangıçtaki nem muhtevası ve kurutucunun dönme hızı açısından araştırılmıştır. Aynı kurutucudaki temas modeli, oyalama süresi dağılımı çalışmaları ile elde edilmiştir ve değişkenler arasında dönme hızı, kurutucunun eğimi ve katıların debisi bulunmaktadır. Ortalama oyalama süresi, katıların tutulması ve dağılım sayısı için korelasyonlar önerilmiştir ve tahminler deneysel verilerle doğrulanmıştır. Deneysel çalışmalarla doğrulama neticesinde katıların kuruma için döner kurutucudaki oyalama süresi Eş. 2.2 yardımıyla hesaplanabileceği ön görülmüştür [28].

$$\tau = 12200 F^{-0,11} N^{-0,87} A^{-1,48} \quad (2.2.)$$

F katının kütleli debisini (kg/h), kurutucunun dönme hızı (rpm), A kurutucunun yatay eksenle yaptığı açığı ifade etmektedir.

Ademiluyi ve diğerleri döner kurutucuda fermente öğütülmüş manyokun kurutulması sırasında kurutma parametrelerinin ısı transferine etkilerini incelemiştir. Fermente öğütülmüş manyok, farklı giriş hava sıcaklıklarında, giriş hava hızlarında, bağıl nemlerde, besleme hızlarında, tambur dönüş hızlarında ve besleme tahrik hızlarında bir deney setindeki döner kurutucuda kurutulmuştur. Giriş hava sıcaklığı, giriş hava hızı ve besleme hızının, malzemedeki özgül ısı transfer katsayısı ve ısı yükü üzerinde önemli etkileri olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Giriş havası sıcaklığı ve giriş havası hızının bir fonksiyonu olarak özgül ısı transfer katsayısını ve giriş havası sıcaklığı, giriş havası hızı ve besleme hızının bir fonksiyonu olarak ısı yükünü tahmin eden modeller de sunulmaktadır. Modellerin tahminleri (Eş. 2.3) deneysel verilerle karşılaştırılmış ve sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür [29].

$$Q = 0,2 T_{ai} + 77,006 v_{ai} + 54,49 M + 2669,007 \quad (2.3.)$$

T_{ai} kurutma havasının giriş sıcaklığı (K), v_{ai} kurutma havasının giriş hızı (m/s), M besleme debisi (kg/h) olarak ifade edilmektedir. Kurutma havası giriş sıcaklığı 115 °C’de model fonksiyonu ile ısı yükünün 2834,158 kJ/kg olduğu tahmin edilirken, aynı sıcaklıkta ısı yükü deneysel olarak 2834,101 kJ/kg olarak bulunmuştur. 0,886 kg/h katı besleme debisinde modelle ısı yükü 2862,877 kJ/kg, deneysel olarak ise 2862,879 kJ/kg olarak bulunmuştur [29].

Renaud ve arkadaşları döner kurutucuda ortalama oyalama süresinin, kurutucu boyutları ve katı karakteristikleri gibi çeşitli değişkenlerden etkilenmesini deneysel olarak incelemiştir. Ortalama oyalama süresini tahmin etmek için önerilen korelasyonlarda genellikle dikkate alınmayan özelliklerden biri, katı nem içeriğidir. Katıların nem içeriğinin, katıların döner kurutucu boyunca hareket etme kabiliyeti üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu iyi bilinmesine rağmen, mevcut korelasyonlarda bir parametre olarak girmediği tespit edilmiştir. Yapılan araştırmada, katıların nem içeriği ve kurutma havası sıcaklığının oyalama süresi üzerindeki etkisini incelemek için pilot ölçekli bir döner kurutucuda çok sayıda deney yapılmıştır. Bu deneyleri gerçekleştirmek için çimento hazırlamada kullanılan kum kullanılmıştır. Sonuçlar, %8 ila %12 aralığındaki bir nem içeriği için

ortalama kalma süresinin kuru katılardan dört kat daha yüksek olduğunu göstermektedir. Nem içeriği ve kurutma havası sıcaklığı, kalma süresi dağılım eğrisinin şeklini önemli ölçüde etkilemektedir [30].

Bustamante ve diğerleri bir döner kurutucunun genel tasarım algoritmasını deneysel verilerden elde edilen kurutma kinetik denklemleri ve sonlu segment algoritması ile birleştiren bir model oluşturarak, tasarlanan kurutucu modelinin doğrulamasını yapmışlardır. Toplam enerji ve kütle dengeleri korelasyonları, toplam ısı transfer katsayısı için kullanılmıştır. Ayrıca, hava ve katı fazlar için sıcaklık ve nem içeriğinin kurutucunun uzunluk profillerini elde etmek için bir on-boyutlu sonlu segment modelinde çözülmüştür. Katı ve hava fazları arasındaki kütle transfer katsayısı için deneysel bir korelasyon sonlu segment modeline dahil edilmiştir. Tasarlanan ve doğrulanan döner kurutucunun uzunluğu 23 m, çapı 2,9 m, oyalama süresi 90 saniyedir. Kurutucuda katı parçacıkların kuru bazda nemi 0,43'den 0,18'e düşmüştür. Ayrıca havanın giriş sıcaklığı 400 °C'den 105 °C'ye düşerken, katı parçacıkların sıcaklık 40 °C'den 95 °C'ye çıkmıştır [31].

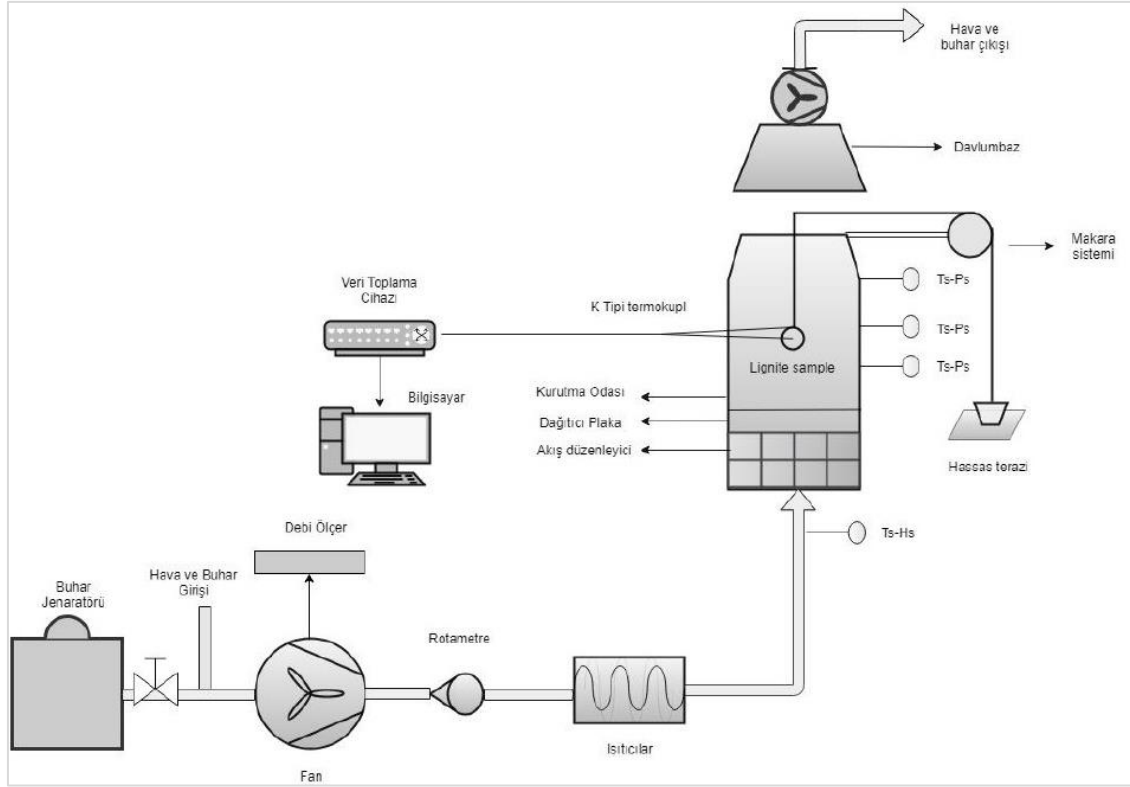
Liu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ısı pompasını linyit kurutma enerji tüketim oranını azaltmak için bir linyit kurutma sistemi ile entegre etmişlerdir. Isı pompası kurutma performansı, incelendiğinde linyit ön kurutma sisteminde 1 kg suyu nemli linyitten uzaklaştırmak için güç tüketim oranlarının sırasıyla ısı pompası olmadan ve ısı pompalı kurutma sistemlerinde 660,82 ve 585,62 kJ/kg H₂O olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ekserji analizi, çoğu ekserjinin ısı pompalı kurutmadaki kondenserde ve evaporatörde kaybolduğu sonucunu göstermektedir. Tasarlanan sistemin net verimliliği, linyit ön ısıtma olmayan ve olan ısı pompalı kurutma için sırasıyla yüzde %1,4 ve %1,57 artırılabilir. Ekonomik analiz sonucunda, ısı pompalı kurutmanın linyit ön ısıtıcısı olmadan ve olan ile entegrasyonunun sırasıyla ek 1,42 ve 1,73 milyon USD kazandırabileceğini göstermektedir [32].

Aktaş ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, farklı kurutma yöntemlerinin avantajlarını birleştiren bir hibrit kurutma sistemi geliştirilmiştir. Çalışma, bir ısı pompalı kurutucusunun ve bir kızılötesi destekli ısı pompalı kurutucusunun deney sonuçlarını karşılaştırmayı, kurutucuların enerji ve ekserji verimliliğini belirlemeyi ve kurutucuların etkinliğini gözlemlemek için rendelenmiş havuçların kurutma kinetiğini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Numuneler 45 °C ve 50 °C sıcaklıklarda ve 0,5 m/s hava hızında

kurutulmuştur. Kuru baz hesaplamasına göre, havuç dilimlerinin başlangıç nem miktarı 7,06 g su/g kuru madde iken kurutulmuş havuç dilimlerinin nihai nem miktarı 0,14 g su/g kuru madde olarak elde edilmiştir. Enerji verimliliği %5,3 ile %50 arasında değişmektedir. Tüm sistem için minimum ve maksimum etkinlik katsayısı sırasıyla 2,11 ve 2,96 olarak hesaplanmıştır. Maksimum ekserji verimi %66,8, minimum ekserji verimi %31,6 olarak hesaplanmıştır. Yapılan analiz neticesinde difüzyon katsayısı $1,31-4,04 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında, kütle transfer katsayısı ise $7,31-20,1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ aralığında bulunmuştur. Tasarlanan sistemin daha az oksijen ile temas ettiği için daha az kimyasal oksitlenmeye maruz kalması nedeniyle daha hijyenik olduğu sonucuna varılmıştır. Tasarlanan kızılötesi destekli ısı pompalı kurutucunun enerji performansı açısından kabul edilebilir bir performans gösterdiği sonucu elde edilmiştir [33].

Zhang ve You tarafından yapılan çalışmada iki farklı linyit türü için sıcak hava ile kurutulmasını deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Geliştirilen teorik modelde bünye neminin ısı transferi ve difüzyonunu içermektedir. Deney seti yardımıyla 100 ve 140 °C sıcaklıklarında kurutucu havasının etkisi, 0,7 ve 1,5 m/s kurutma havası hızlarında ve kömürün boyutunun kuruma hızı ve ortalama nem içeriği üzerine etkisi incelenmiştir. Yapılan deneyler neticesinde sıcaklık arttıkça kurumanın hızlandığı, hava hızının kuruma hızı üzerinde etkisinin ihmal edilebilir olduğu, tane boyutu küçüldükçe kuruma hızının arttığı görülmüştür. Deneysel bulgularla matematiksel modelin sonuçlarının uyum gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır [34].

Celen tarafından yapılan çalışmada düşük kaliteli tek kömür tanesi buhar ve hava ile kurutularak deneysel olarak incelenmiş ve kurutmanın modellenmesi yapılmıştır. Tasarımı yapılan deney setinde hava toplam 9 kW'lık resistanslarla istenilen sıcaklığa ısıtılmaktadır. Deney setindeki sıcaklık, basınç ve bağıl nem sensörleri ile deney esnasında sürekli ölçüm yapılmıştır. Deney setinin şeması Şekil 2.9'da gösterilmiştir [35].



Şekil 2.9. Tek tane kurutma deney setinin şematik gösterimi [35]

Yapmış olduğu deneysel çalışmalarda 20-50 mm aralığında tek tane boyutunda kömür numuneleri kullanılmıştır. Deneyler kızgın buhar ve sıcak hava için 120°C de yapılmıştır. Kurutmada meydana gelen yoğunlaşma sebebiyle numune kütlelerinde artış meydana gelmiştir. Bu artış çaplara göre 50 mm için 0,31 gr, 40 mm için 0,25 gr, 30 mm için 0,209 gr, 20 mm için ise 0,175 gr olarak ölçülmüştür. Kızgın buhar ile kurutmada numune çapı küçüldükçe nem içeriği daha hızlı bir şekilde düşmektedir. En küçük çaplı numune için ıslak bazda nem içeriği deney sonunda 0,21 olarak en büyük çaplı numune için ise 0,48 olarak belirlenmiştir. Aynı sıcaklık ve basınç altında gerçekleştirilen sıcak hava ve kızgın buhar ile kurutma deneylerinde parçacık çapı küçüldükçe numune nem içeriğinin daha hızlı azaldığı görülmüştür. Tanecik çapı küçüldükçe aynı zamanda kurutma hızı da artmaktadır. Hem kızgın buharla hem de sıcak hava ile kurutmada yüzey sıcaklığının zamanla değişimine kıyasla linyit numunesinin merkez sıcaklığı daha yavaş bir şekilde yükselmektedir. Yüzey sıcaklığı bütün numuneler için deney sonunda 95-100 °C aralığındadır. Deney sonunda merkez sıcaklığı en küçük çaplı numune olan 20 mm çapındaki numune için 92 °C, en büyük çaplı numune olan 50 mm çapındaki numune için ise 85,5 °C olarak ölçülmüştür [35].

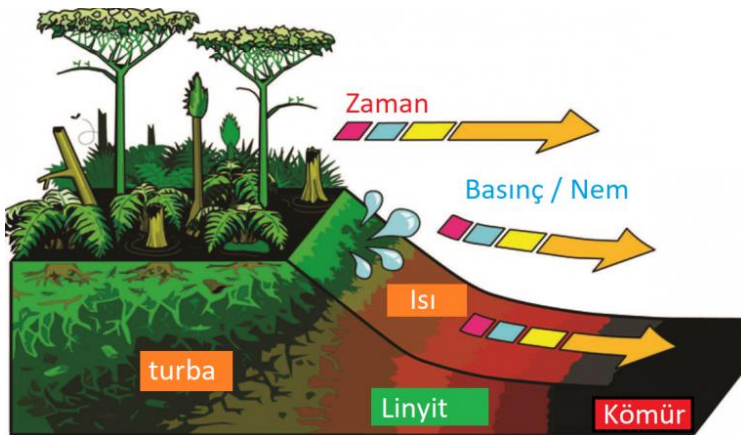
Yapılan literatür taramasında kömür ön kurutmanın termik santral verimi üzerine etkilerini araştıran çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca deneysel olarak katı maddelerin kurutulması ile ilgili çalışmalar da incelenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada literatürden farklı olarak kömür numunelerinin deneysel olarak elde edilen verileri kullanılarak, ön kurutma sistemleri tasarlanmıştır. Sistem tasarımının nasıl yapılacağını gösterilerek sonuçlar ve kömür ön kurutmanın termik santral verimi üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca tasarlanan sistemler için ekonomik analiz yapılarak sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

3. KÖMÜR

3.1. Kömürün Tanımı ve Kömürleşme

Kömürle ilgili olarak literatürde birçok tanım bulunmaktadır. Bu tanımlamaların birinde kömürün büyük oranda bitki artıklarından oluşan ve kuru esasta kütlece kül verimi %50 veya altında olan mineral muhtevaya sahip karbonlu sedimanter kayaç olduğu ifade edilmektedir [36]. Ayrıca bir başka tanımda kömür, başlıca karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin bileşiminden oluşup, diğer kaya tabakalarının arasında damar haline uzunca bir süre (milyonlarca yıl) ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkilerin sonucunda meydana gelmiş yanabilen sedimanter kaya olarak tanımlanmaktadır [37]. Diğer bir tanımlamada kömür, çoğunlukla karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan az miktarda kükürt ve nitrojen içeren, kimyasal ve fiziksel olarak farklı yapıya sahip bir maden ve kayaç olarak tanımlanırken diğer içeriklerinin ise kül teşkil eden inorganik bileşikler ve mineral maddeler olduğu belirtilmektedir [38].

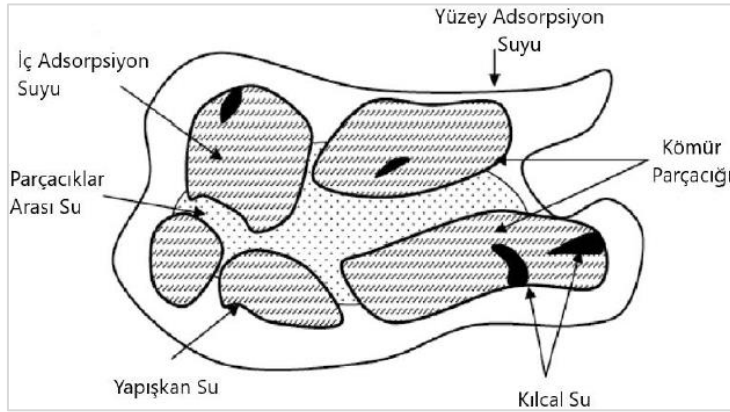
Dünyanın çoğu bölgesinde bulunan kömüre, yerin yüzeye yakın bölümlerinde ya da çeşitli derinliklerde rastlanmaktadır. Kömür, nebatların bataklık alanlarda birikmesi sonucu oluşan tabakaların değişime uğraması neticesi meydana gelmiştir. Bu tabakalar üzerine çeşitli çökeltilerin birikmesi ve dünyanın hareketleri sonucu derinliklere gömülmüştür. Bataklıklarda uygun nem ve sıcaklığın oluşması, ortamın asit miktarının artması, gerekli organik maddelerin ortamda bulunmasıyla bozunmuş, çürüyen bitkilerin su altına inmesi ve bataklığın zamanla üstünün örtülmesi gibi olaylar sonucu oluşmaktadır. Bu oluşum sürecine de kömürleşme denir (Şekil 3.1) [37].



Şekil 3.1. Kömür oluşum süreci

Yer sıcaklığı her 30 metrede 10 °C artmaktadır. Şüphesiz sıcaklık artışı ideal ve normal şartlar için geçerli olmaktadır. Bu şartların dışında volkanik faaliyet, fay hareketleri, radyoaktif elementlerin bulunduğu ortamlarda yerin ısısı olağan üstü bir şekilde ve normalden çok fazla bir şekilde artmaktadır. Yerin ısısı 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 grafitte dönüşmektedir. Bu ilerleyen olgunlaşma sürecine kömürleşme denmekte, her seviyeye de kömürleşme derecesi denmektedir [37].

Kömürün bünyesinde karbon, kükürt, oksijen, azot ve hidrojen bulunmaktadır. Kömürün yapısını ise elementel içeriklerinin yanında uçucu madde, kül ve nem oluşturmaktadır. Kömürdeki su içeriği kömürleşme süresinde azalmasına rağmen kömürle etkileşimi karmaşık olmasından dolayı kömür içerisinde farklı yapılarda bulunmaktadır. Kömürün yapısında iç adsorpsiyon suyu, yüzey adsorpsiyon suyu, kılcal su, parçacıklar arası su, yapışkan su gibi nem çeşitleri bulunmaktadır (Şekil 3.2). Bunlardan iç adsorpsiyon suyu ve kılcal su higroskopik nemi oluştururken, yüzey adsorpsiyon suyu, parçacıklar arası su ve yapışkan su yüzey nemini oluşturmaktadır [39].

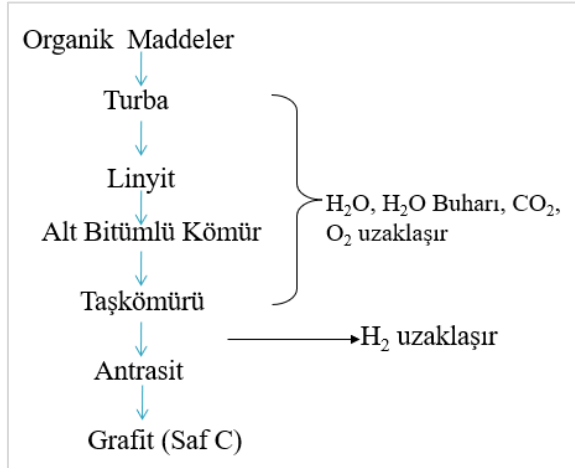


Şekil 3.2. Kömürün yapısı [39]

3.2. Kömür Çeşitleri ve Sınıflandırılması

Turba olarak adlandırılan ve kömürlerin ataları olarak bilinen organik maddeler zamanla daha koyu renklere ve daha sert yapıya sahip olmaktadır. Sıcaklık ve basınç şartlarının bu kütlelere etkimesi sonucu, bu ortamdan, sırasıyla önceleri (turbadan-taşkömürü aşamasına kadar) su ve su buharı, karbon dioksit (CO₂), oksijen (O₂) ve en ileri aşamalarda

hidrojen (H_2) (antrasit aşamasında) uzaklaşmaktadır (Şekil 3.3). Bu süreçte ideal şartlar ve ortamın ısısal şartlarının uzun bir dönem içerisinde (binlerce yıl) baskın olması ve artması gerekmektedir.



Şekil 3.3. Kömürleşme süreci ve kömür türleri

Kömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri, çoğunlukla jeolojik yaş, petrografik bileşim ve mevcut mineral maddenin miktarı, yapısı ve bulunuş şekli gibi hususlar dikkate alınarak tayin edilir. Bu nedenle kolaylık açısından, kömürler için bu sınıflandırma, aşağıdaki kömür özelliklerini esas alır [36]:

Vitrinit yansıtması (% olarak ifade edilir)

Ortalama rastgele yansıtma (R_r), kömür kalitesini gösterir. Burada R_r doğrudan tayin edilir veya $R_{v,en}$ büyük değerinden hesaplanır, vitrinit yansıma değeri, parlatılmış bir yüzey üzerine düşürülen normal ışığın yansımalarının yüzde olarak ifade edilmesiyle belirlenmektedir.

Vitrinit muhtevası (mineralsız esasta hacimce % olarak ifade edilir)

Petrografik bileşimi göstermektedir.

Kül verimi (belirtilen esasa göre % olarak ifade edilir)

Mevcut inorganik madde miktarını göstermektedir.

3.2.1. Kömür çeşitleri

Linyit, kahverengi kömür

% 0,4'ün altında ortalama rastgele vitrinit yansıtmasına (R_r) sahip kömür [36]. Linyit, kuru külsüz bazda ısı değeri en fazla 7000 kcal/kg, vitrinit refleksiyonu 0,6 $R_{m_{oil}}$ 'den küçük, çizgi rengi kahverengi olan ve linyin reaksiyonunda (kömür+N/10 HNO_3) sarı-kırmızımsı kahverengi, hümin reaksiyonunda (kömür+N/10, KOH) koyu kahverenginde bir süzüntü oluşturan tabii katı yakıttır [40].

Alt-bitümlü kömür

% 0,4'e eşit veya bu değerden büyük, ancak % 0,5'in altında ortalama rastgele vitrinit yansıtmasına (R_r) sahip kömür [36].

Bitümlü kömür

Orta kalite kömür ile eş anlamlı olup, % 0,5'e eşit veya bu değerden büyük, ancak % 2,0'ın altında ortalama rastgele vitrinit yansıtmasına (R_r) sahip kömür [36].

Antrasit

Yüksek kalite kömür ile eş anlamlı olup, % 2,0'a eşit veya bu değerden büyük, ancak % 6,0'ın altında ortalama rastgele vitrinit yansıtmasına (R_r) veya tercihan jeolojik olarak altere olmamış kömür için % 8,0'dan daha küçük ortalama en büyük vitrinit yansıtmasına ($R_{v, enbüyük}$) sahip kömür [36].

Taşkömürü

Orta kalite (bitümlü) ve yüksek kalite (antrasit) kömürlerden oluşan ve % 0,5'e eşit veya bu değerden büyük, ancak % 6,0'ın altında ortalama rastgele vitrinit yansıtmasına (R_r) veya tercihan % 8,0'dan daha küçük ortalama en büyük vitrinit yansıtmasına ($R_{v, enbüyük}$) sahip kömür [36].

3.2.2. Kömürlerin sınıflandırılması

Kömür kalitelerine göre sınıflandırma

Düşük kalite, orta kalite ve yüksek kalite olmak üzere 3 geniş kalite kategorisi Çizelge 3.1’de tanımlanmıştır.

Çizelge 3.1. Kömürlerin kalitelerine göre sınıflandırılması [36]

Kalite	Tanım
Düşük kalite ^a (linyit ve alt-bitümlü kömürler)	Yatak rutubeti $\leq$ % 75 ve $\bar{R}_r < \% 0,5$ (AS 2434-1) [5]
Orta kalite ^a (bitümlü kömürler)	$\% 0,5 \leq \bar{R}_r < \% 2,0$
Yüksek kalite ^b (antrasitler)	$\% 2,0 \leq \bar{R}_r < \% 6,0$ (veya $\bar{R}_{v,en\ büyük} < \% 8,0$) ^c
^a Düşük ve orta kalite kömürler arasındaki sınır, $\bar{R}_r = \% 0,5$ olarak belirlenmiştir; çünkü $\bar{R}_r$ değeri % 0,5 ile % 0,6 (% 0,6 değeri, orta kalite kömürler için belirlenmiş olan eşik değerdir) arasında olan kömürler, % 0,6’dan büyük $\bar{R}_r$ değerine sahip olan kömürlere dokusal olarak benzerler. Jelleşme derecesi yüksektir ve taze kömür atmosfere maruz kaldığında büzülme çatlakları gözlenmez. ^b $\bar{R}_{v,en\ büyük} = \% 8,0$ değeri, $\bar{R}_{v,en\ küçük}$ (~% 2,5)’ün $\bar{R}_{v,en\ büyük} = \% 6,0$ ’da en büyük değeri olan ~% 3,5’tan hızlıca düştüğü yerdeki kalitenin hemen ötesinde olup, artan grafitleşmeye olan geçişi gösterir [16], [15] (% 10,5 mertebesinde $\bar{R}_{v,en\ büyük}$ değerine sahip kontak altere kömürler Çin’de antrasit olarak sınıflandırılır). ^c $\bar{R}_r$ ’nin güvenilir bir şekilde ölçülmesi zor olduğundan, bu kalite sınıfında $\bar{R}_{v,en\ büyük}$ tercih edilir.	

Kömürlerin kalitelerine göre detaylı sınıflandırılması

Daha ayrıntılı bir sınıflandırma sağlamak amacıyla 3 birincil kalite kategorisi, Çizelge 3.2, Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’te tanımlandığı gibi alt kategorilere bölünmüştür.

Çizelge 3.2. Düşük kalite kömürler için alt kategoriler [36]

Alt kategori	Tanım
Düşük kalite C (linyit C)	$\bar{R}_r < \% 0,4$ ve yatak rutubeti $> \% 35$ ve $< \% 75$ (külsüz esasta)
Düşük kalite B (linyit B)	$\bar{R}_r < \% 0,4$ ve yatak rutubeti $\leq \% 35$ (külsüz esasta)
Düşük kalite A (alt-bitümlü kömür)	$\% 0,4 \leq \bar{R}_r < \% 0,5$

Çizelge 3.3. Orta kalite kömürler için alt kategoriler [36]

Alt kategori	Tanım
Orta kalite D ^a (bitümlü D)	$\% 0,5 \leq \bar{R}_r < \% 0,6$
Orta kalite C ^b (bitümlü C)	$\% 0,6 \leq \bar{R}_r < \% 1,0$
Orta kalite B ^c (bitümlü B)	$\% 1,0 \leq \bar{R}_r < \% 1,4$
Orta kalite A ^d (bitümlü A)	$\% 1,4 \leq \bar{R}_r < \% 2,0$

^a $\bar{R}_r = \% 0,6$ olması, standard ısıtma şartlarında (3 °C/dakika) kalite arttıkça, vitrinitten kok oluşumunun başlangıcını gösterir.

^b $\bar{R}_r = \% 1,0$ olması, standard ısıtma şartlarında (3 °C/dakika) kalite arttıkça, vitrinitten oluşan kokun yapısının inceden orta mozaığe geçişini gösterir; ayrıca yaklaşık olarak, en fazla petrol oluşumunun söz konusu olduğu kömürleşme safhasına denk gelir.

^c $\bar{R}_r = \% 1,4$ olması, standard ısıtma şartlarında (3 °C/dakika) kalite arttıkça, vitrinitten oluşan kokun yapısının orta mozaikten lifli yapıya geçişini gösterir; ayrıca yaklaşık olarak, petrol oluşumunun sona erdiği kömürleşme safhasına denk gelir.

^d $\bar{R}_r = \% 2,0$ olması, standard ısıtma şartlarında (3 °C/dakika) kalite arttıkça, vitrinitin yumuşama ve şişme özelliklerinin son bulduğunu gösterir.

Çizelge 3.4. Yüksek kalite kömürler için alt kategoriler [36]

Alt kategori	Tanım
Yüksek kalite C ^a (antrasit C)	$\% 2,0 \leq \bar{R}_r < \% 3,0$
Yüksek kalite B ^b (antrasit B)	$\% 3,0 \leq \bar{R}_r < \% 4,0$
Yüksek kalite A (antrasit A)	$\% 4,0 \leq \bar{R}_r < \% 6,0$ (veya $\bar{R}_{v,en\ büyük} < \% 8,0$)

^a $\bar{R}_r = \% 3,0$ olması, uçucu madde veriminin tutuşma kolaylığında önemli oranda bir azalma ile sonuçlanan bir seviyeye düştüğü ve çift yansıtmanın kuvvetli bir şekilde artmaya başladığı kalite seviyesini gösterir [1], [8], [11], [16].

^b $\bar{R}_r = \% 4,0$ olması, $\bar{R}_{v,en\ küçük}$ değerinde, $\bar{R}_{v,en\ büyük}$ değerinin artmaya devam etmesi sebebiyle bir azalmanın başlamasından kaynaklanan çift yansıtmanın artmaya başladığı kalite seviyesini gösterir.

Petrografik (maseral grubu) bileşime göre sınıflandırma

Vitrinit muhtevası ile temsil edilen petrografik bileşim veya maseral grup bileşimi, Çizelge 3.5'te gösterildiği gibi kömürleri 5 kategoriye ayırmak için kullanılır.

Çizelge 3.5. Petrografik bileşim ile sınıflandırma [36]

Vitrinit muhtevası (mineralsız esasta hacimce % olarak)	Vitrinit sınıf kategorisi
< 40	Düşük vitrinit
≥ 40 ve < 60	Orta vitrinit
≥ 60 ve < 80	Orta derecede yüksek vitrinit
≥ 80	Yüksek vitrinit

Kül verimine göre sınıflandırma

Kül verimi ile temsil edilen inorganik kömür muhtevası, Çizelge 3.6’da gösterildiği gibi kömürleri 5 kategoriye ayırmak için kullanılır.

Çizelge 3.6. Kül verimine göre sınıflandırma [36]

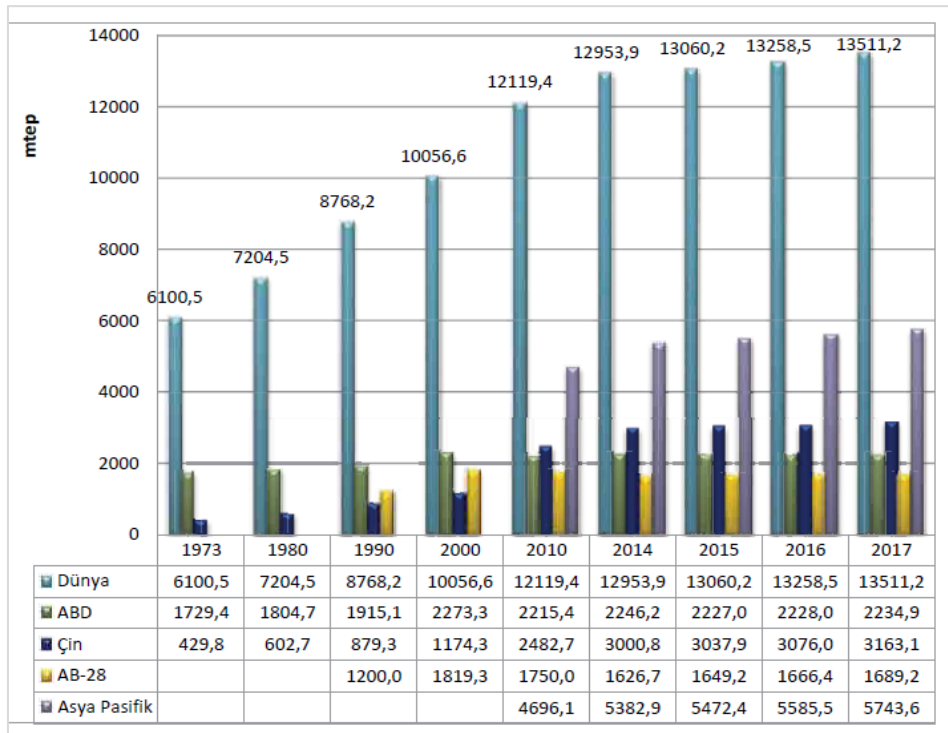
Kül verimi (kuru esasta kütlece % olarak)	Kül sınıf kategorisi
< 5	Çok düşük kül
≥ 5 ve < 10	Düşük kül
≥ 10 ve < 20	Orta kül
≥ 20 ve < 30	Orta derecede yüksek kül
≥ 30 ve < 50	Yüksek kül

4. KÖMÜR SEKTÖRÜ

4.1. Dünya Kömür Sektörünün Görünümü

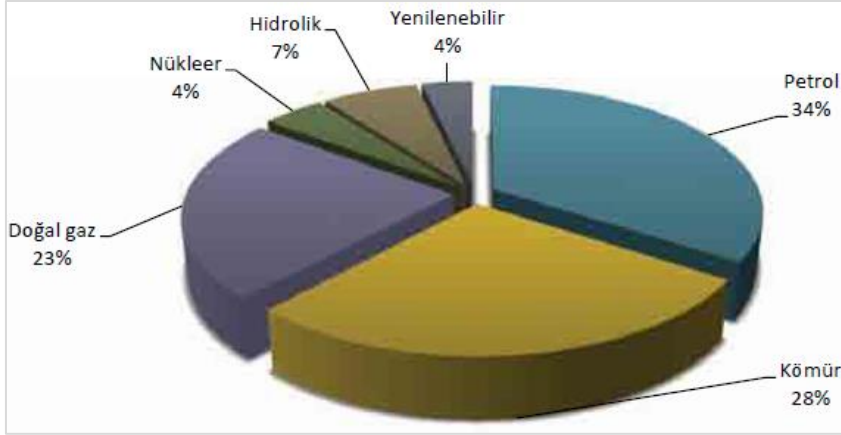
4.1.1. Birincil enerji arzı ve kömürün payı

Dünya birincil enerji arzı 1973 yılında 6100 mtep (milyon ton eşdeğer petrol) iken ve 44 yıl içerisinde 2,2 kat artarak 2017 yılı sonu itibariyle 13511 mtep seviyesine ulaşmıştır. 2017 yılında toplam enerji arzı incelendiğinde ise 2016 yılına göre %2 arttığı görülmektedir [41]. Enerji arzı 2000 yılından itibaren son 17 yılda %34 artış gösterirken, bu artışın yaklaşık %75'ini Asya Pasifik grubunda bulunan Çin, Malezya, Avusturalya, Endonezya gibi ülkelerden kaynaklanmaktadır. Söz konusu 17 yılda, enerji arzı Çin'de %169 oranında artarken Hindistan'da bu artış %87 oranında olduğu, buna karşılık Avrupa Birliği (AB28) ülkelerinin toplamında %7,7 ve ABD'de ise %2 oranında enerji arzında azalma olduğu görülmektedir (Şekil 4.1) [42]. Enerji arzındaki en önemli değişim şüphesiz, gelişmiş ülkelerde birincil enerji arzının azalması ya da aynı düzeyde kalmasına rağmen, Asya Pasifik ülkelerinden özellikle Çin ve Hindistan'da birincil enerji arzının sürekli artmasıdır.



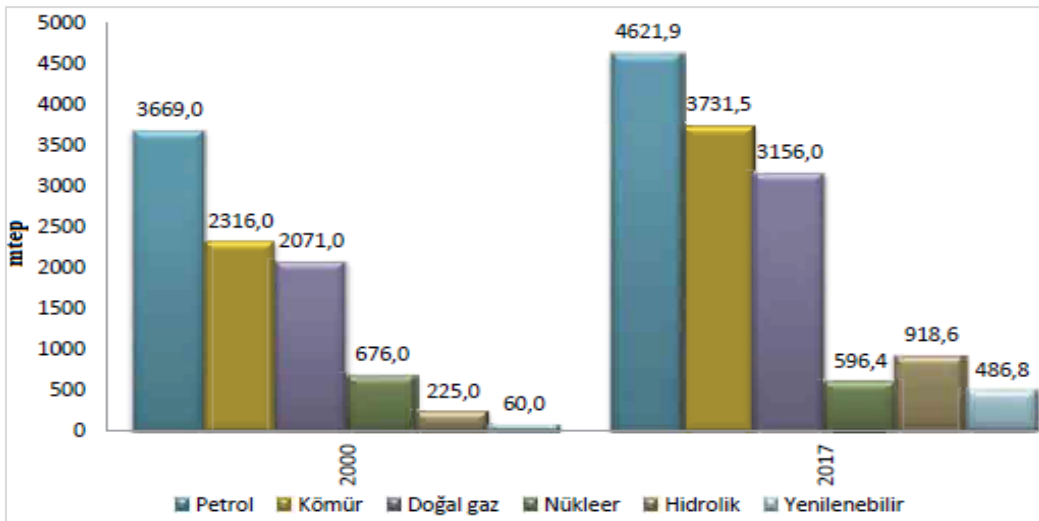
Şekil 4.1. Dünyadaki birincil enerji arzındaki gelişim [42]

2017 yılındaki enerji arzı incelendiğinde; Dünya’da petrolün payı 1973 yılına göre %46,2’den %34’e düşerken, doğalgazın payı %16’dan %23’e, nükleer enerjinin payı %0,9’dan %4’e ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise %1,9’dan %4’e yükseldiği görülmektedir [41]. Aynı dönemde kömürün payı 3,5 puan artışla %24,5’dan %28 düzeyine ulaşmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. 2017 yılındaki dünya birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı [42]

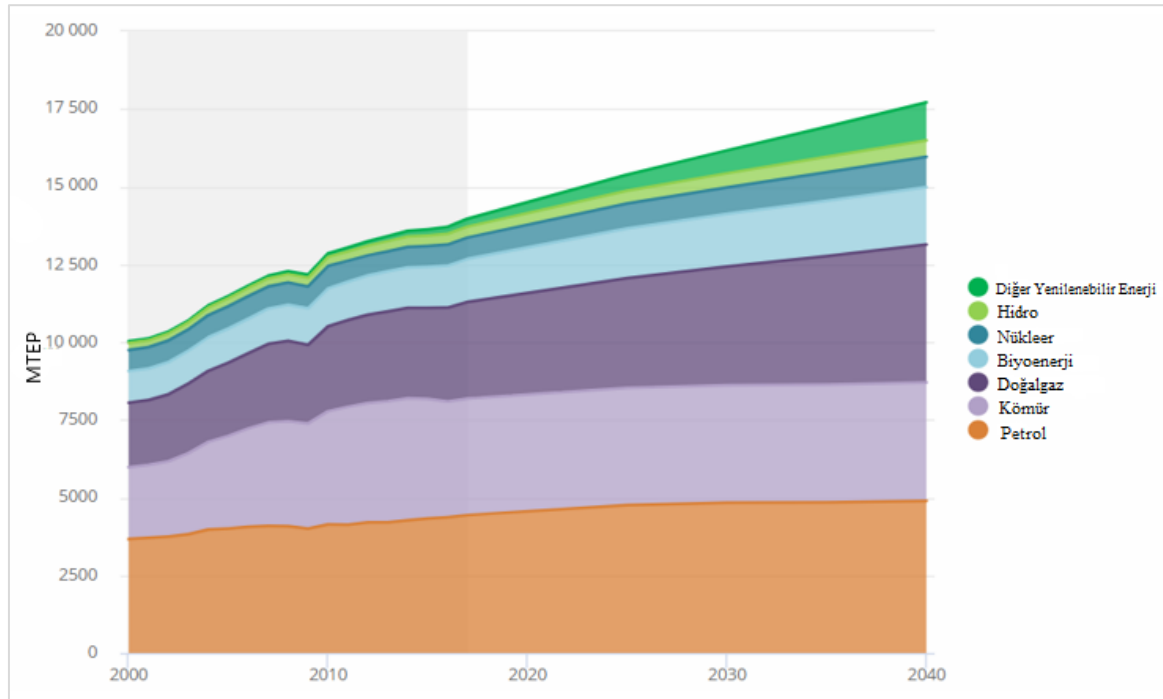
2000 yılından itibaren gelişmeler incelendiğinde en dikkat çekici gelişmenin kömürün toplam enerji arzı içerisindeki payına ilişkin olduğu gözlenmektedir. 2000-2017 yılları arasındaki değişim incelendiğinde petrolün payı %36,5’den %34’e, nükleer payı %6,7’den %4’e düşerken, doğalgazın payı %20,6’dan %23’e yükselmiş, buna karşın kömürün toplam içindeki %23,1’den %28’e yükselmiştir (Şekil 4.3) [41].



Şekil 4.3. Son 17 yılda kaynaklara göre birincil enerji arzı [42]

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından mevcut enerji politikalarına göre normal, kötü senaryolar göz önünde bulundurularak kötümser, iyi senaryolar göz önünde bulundurularak iyimser yeni politikaları ile ilerisi için tahminler yapılmaktadır. Günümüzde mevcut enerji politikalarının gelecekte de değişmeyeceği düşünülerek yapılan projeksiyonda; dünya birincil enerji talebinin 2040 yılında 2017 yılına göre %45,3 oranında artış göstererek 19637 mtep seviyesine ulaşacağı, kaynaklara göre dağılımda ise herhangi bir fark olmayacağı öngörülmektedir. Buna göre; 2040 yılında enerji arzındaki petrolün payı %27,5 ve kömürün payı ise %27,1 olacaktır. Kömürü %24 ile doğalgaz izleyecektir. Söz konusu yılda; nükleer enerjinin payı %5,3 ve diğer kaynakların1 payı ise %16,1 olacaktır (Şekil 4.4) [43].

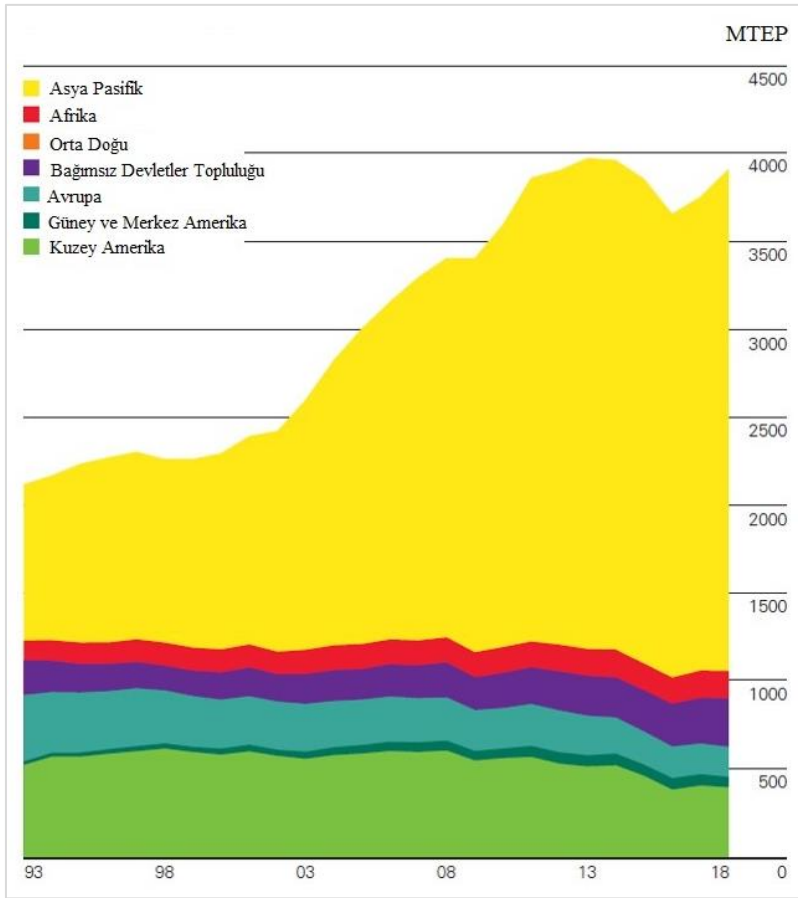
Yeni politikalar senaryosunda alternatif yakıtların veya yenilenebilir enerji kaynakların kullanımlarının artacağı ve enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik çalışmalarla birlikte sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik çabaların geliştirilmesi için yapılan projeksiyonda 2040 yılında enerji arzındaki kömürün payının %27,1 yerine %23,1 olacağı öngörülmektedir [43].



Şekil 4.4. Dünya birincil enerji arzının gelişimi, mevcut politikalar senaryosu [43]

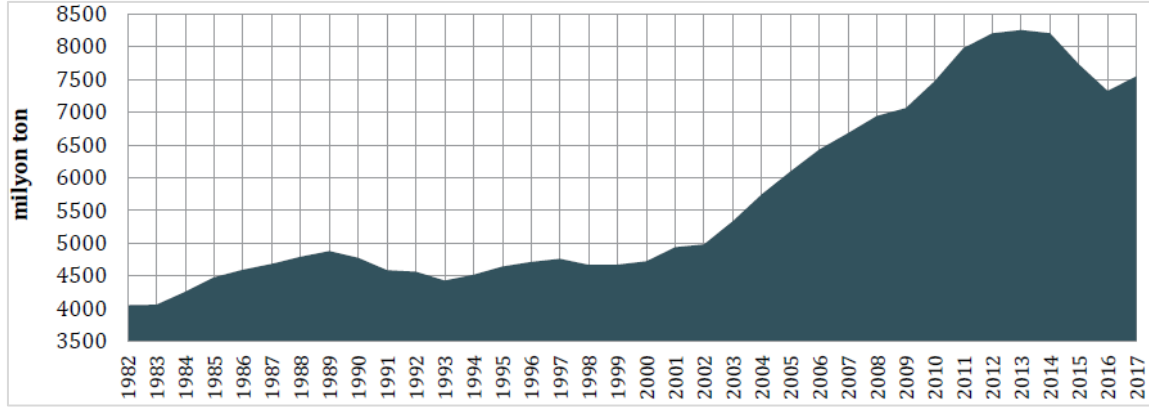
4.1.2. Dünya kömür üretimi

Dünya kömür üretimi 1993 yılından 2018 yılına kadar yaklaşık %80 artmıştır (Şekil 4.5). Kömür üretimindeki bu artışın kaynağı başta Çin olmak üzere Asya Pasifik ülkelerindeki elektrik enerjisi talebinden kaynaklanmaktadır. Son on yılda Asya Pasifik ülkelerindeki elektrik enerjisi üretim artışındaki oran yaklaşık %100 olduğu gözlenirken, elektrik üretiminde en yoğun olarak kullanılan kaynak ise kömür olmuştur [41].



Şekil 4.5. Bölgelere göre 2018 yılı kömür üretimleri (MTEP) [41]

1998 yılından 2013 yılına kadar kömür üretimi sürekli artış gösterirken 2014 yılından sonra üretimde azalma başladığı görülmektedir. 2016 yılında ise bir önceki yıla göre %5,3'lik bir azalma ile toplam üretimin 7324 milyon ton düzeyine gerilemiştir. 2017 yılında üretimde tekrar artış gösterilerek %3,07 oranla 7549 milyon ton düzeyine ulaşmıştır [43].



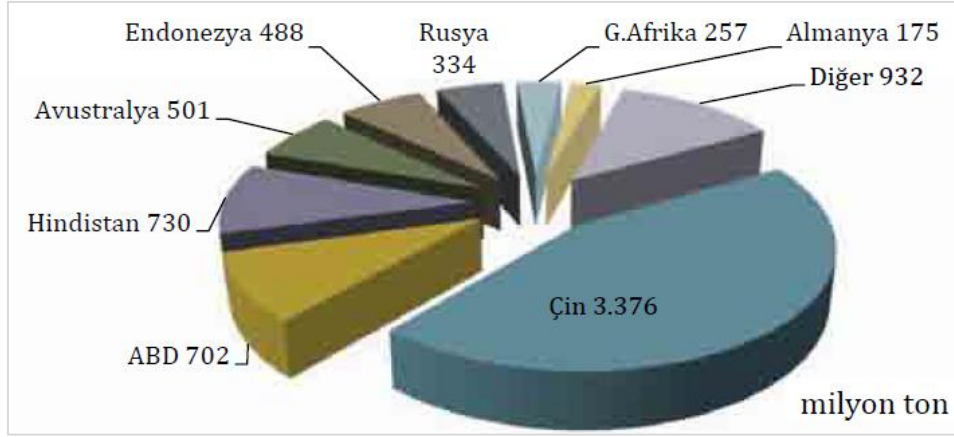
Şekil 4.6. Yıllara göre dünya kömür üretim miktarları [43]

Dünyadaki kömür üretimleri kömür türlerine göre incelendiğinde, 2017 yılında koklaşabilir kömür üretimi 2016 yılına göre bir değişim gözlenmezken, termal taşkömürü üretiminde yine 2016 yılına göre %3,9 oranında artışla 5678 milyon tona ulaşmıştır. 2017 yılında ise linyit üretimi %1,25 artış göstererek 831 milyon tona ulaştığı görülmektedir. Toplam üretimin yaklaşık %89'unu taşkömürü oluştururken ve kalan %11'lik kısmı ise linyit oluşturmaktadır [38].

Çizelge 4.1. Kömür türlerine göre dünya kömür üretimi (milyon ton) [38]

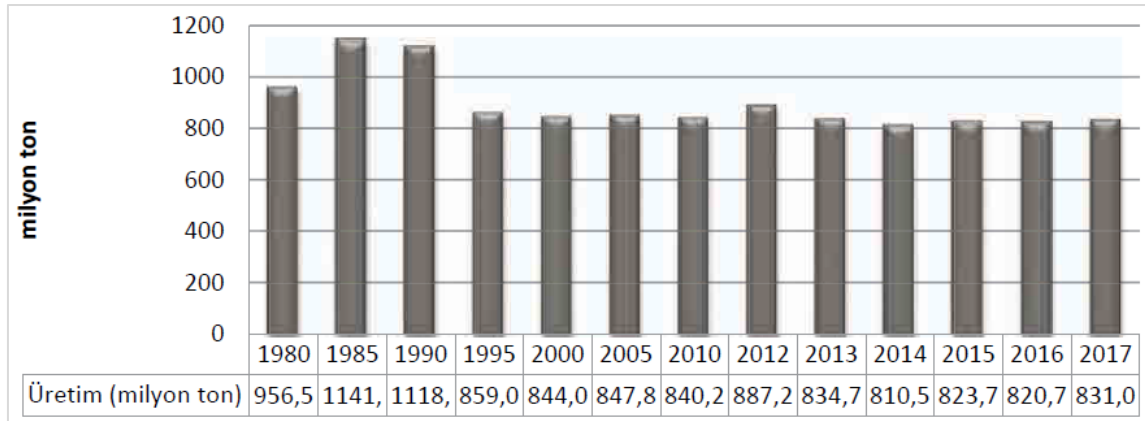
Kömür Türü	2013	2014	2015	2016	2017*
Termal Taşkömürü	6.203,1	6.147,2	5.819,7	5.463,4	5.677,9
Koklaşabilir taşkömürü	1.037,6	1.064,8	1.087,6	1.040,1	1.039,9
Linyit	834,7	810,5	823,7	820,7	831,0
TOPLAM	8.075,4	8.022,5	7.731,0	7.324,2	7.548,8

2017 yılında dünya kömür üretiminin başında Çin gelmektedir ve 3376 milyon ton kömür üretimi gerçekleştirilerek toplam üretimin %44,7'sinde pay sahibi olmaktadır. Çin'den sonra ikinci sırada 729,8 milyon ton kömür üretimi ile Hindistan bulunmaktadır. Hindistan'ın %9,7'lik kömür üretim oranını %9,3'lük üretimle ABD takip etmektedir. 2017 yılında ABD'de 702,3 milyon ton ve Avustralya'da ise 501,1 milyon ton kömür üretimi gerçekleşmiştir. Bu ülkeleri; 487,6 milyon tonla Endonezya, 387,2 milyon tonla Rusya, 257,1 milyon tonla Güney Afrika Cumhuriyeti ve 175,1 milyon tonla Almanya izlemektedir (Şekil 4.7). Bu sekiz ülkenin dünyadaki toplam kömür üretimi içerisindeki toplam payı yaklaşık %90 seviyesindedir [42].



Şekil 4.7. 2017 yılındaki ülkelere göre kömür üretim miktarları [42]

Dünya linyit üretimi 2017 yılında 831 milyon tonla 2016 yılına göre %1,25 artış göstermiştir (Şekil 4.8). Linyit üretimi 1980-1990 yılları arasında önemli ölçüde artış göstermiştir, 1995-2010 yılları arasında ise üretimde kayda değer bir değişme olmamıştır. 2012 yılında ise 887 milyon ton üretimden sonra 2017 yılına kadar linyit üretiminde azalma görülmektedir.



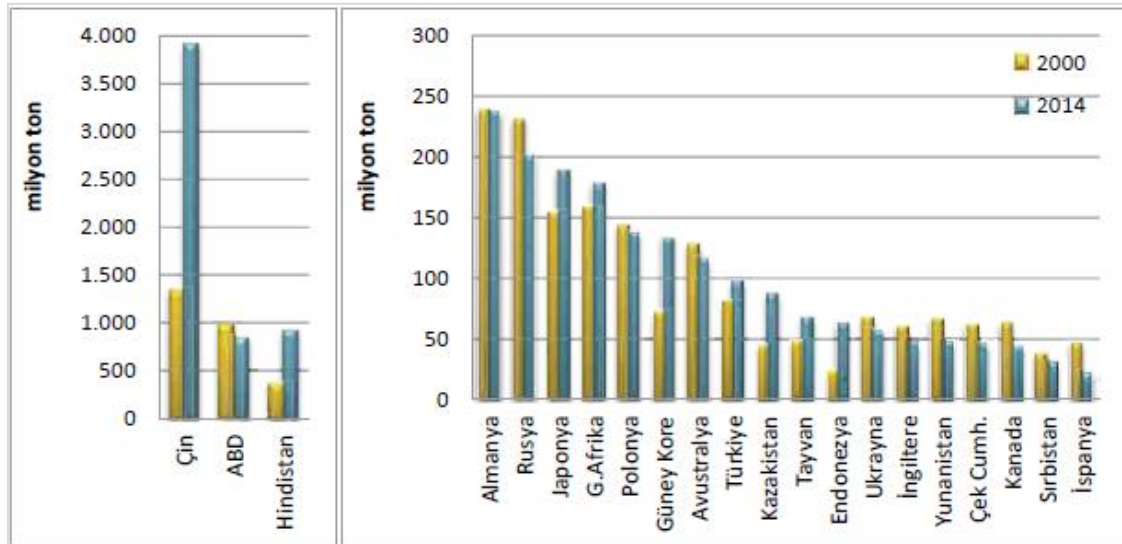
Şekil 4.8. Dünya linyit üretim miktarları [42]

2017 yılında dünya linyit üretiminde 171,3 milyon ton üretimle en büyük pay sahibi Almanya'dır. Almanya'yı 74,9 milyon tonluk üretimle Rusya, Rusya'yı da 71,5 milyon ton linyit üretimi ile de Türkiye takip etmektedir. Diğer ülkelerin linyit üretimleri incelendiğinde ABD 63,6 milyon tonluk üretimle dördüncü sırada, Polonya 61,2 milyon tonluk üretimle beşinci sırada yer alırken Avustralya ise 56,7 milyon ton ile altıncı sırada bulunmaktadır. Türkiye 2014 yılında dünya linyit üretiminde beşinci sırada yer alırken 2015 yılında altıncılığa gerilemiş, 2016 ve 2017 yılında ise artan linyit üretim kapasitesi ile

beraber üçüncü sırada yer almıştır. 2018 yılı istatistiklerine göre Türkiye linyit üretimi artmaya devam etmiştir ve 81,8 milyon tona ulaşmıştır. Hindistan, Çekya, Sırbistan ve Yunanistan da önemli linyit üreticileri arasında yer almaktadır [43].

4.1.3. Dünya kömür tüketimi

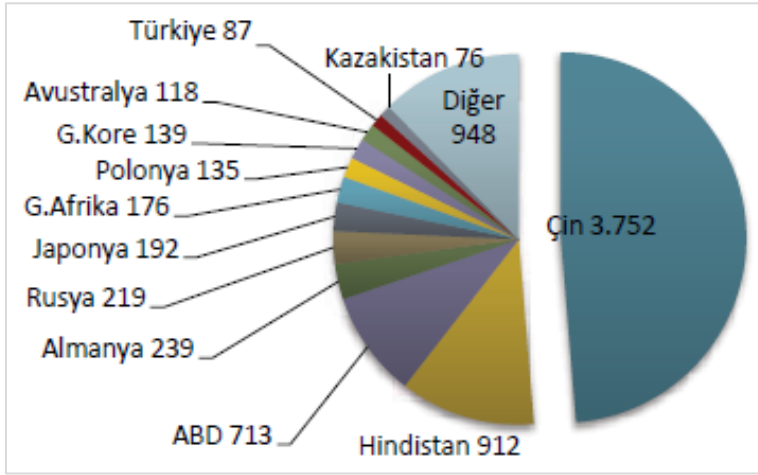
2017 yılında dünyadaki toplam kömür tüketimi 7,59 milyar ton seviyelerine ulaşmıştır. 2013 yılına kadar sürekli artış gösteren kömür tüketimi 2017 yılında 2016'ya göre 79 milyon ton artmıştır. 2000 yılı sonrasında, kömür tüketim artışının kaynakları arasında Asya Pasifik ülkeleri gelmektedir. Bu ülkeler arasında ise Çin'in kömür tüketiminde ciddi bir artış söz konusudur. Çin'in 2000-2014 yılları arasındaki kömür tüketim artışı oranı %192'dir. Aynı dönemde Endonezya'nın kömür tüketim artışı oranı %172, Hindistan'ın tüketim oranı %154, Kazakistan'ın %97 olurken Güney Kore'nin oranı ise %85'tir. Diğer tarafta ise, 2000-2014 yılları arasında gelişmiş ülkelerin kömür tüketimlerinde ciddi bir azalma olduğu görülmektedir. Bu dönemde İspanya'nın kömür tüketimi %51, Kanada'nın %33; ABD'nin %14, Rusya'nın %13 ve Ukrayna'nın %15'lik azalma olduğu görülmektedir (Şekil 4.9) [42].



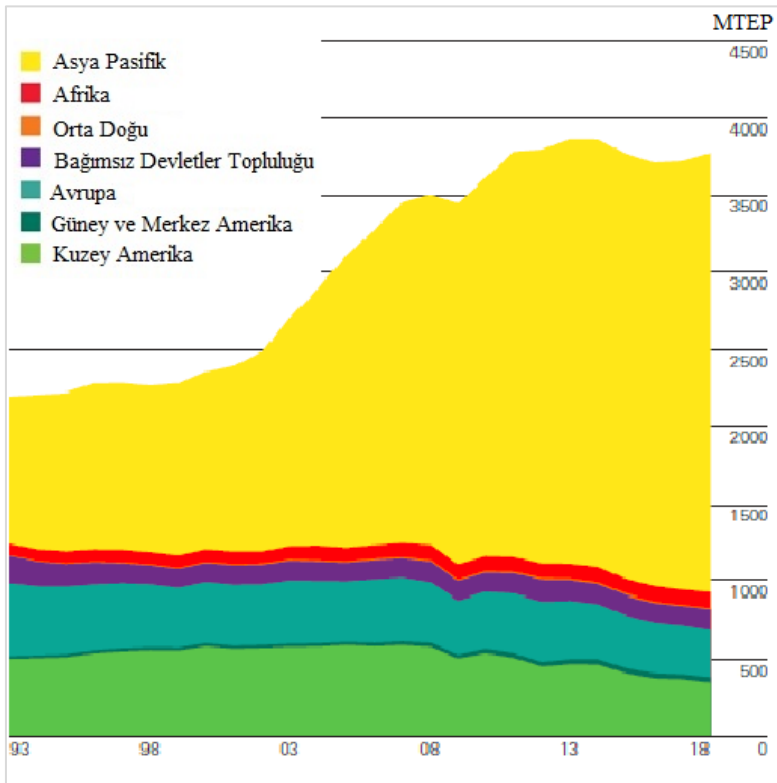
Şekil 4.9. 2000 yılından 2014 yılına kadar kömür tüketim miktarlarındaki değişim [42]

2015 yılı dünya kömür tüketiminin yaklaşık yarısı Çin tarafından gerçekleştirilmiştir. Hindistan, ABD, Almanya ve Rusya'nın Çin'i takip ettiği görülmektedir (Şekil 4.10) [42].

Bölgelere göre yıllık kömür tüketimi ise Şekil 4.11’de verilmiştir. Asya Pasifik ülkelerinde kömür tüketimi yıllara göre artarken, Amerika ve Avrupa’da azalmaktadır.



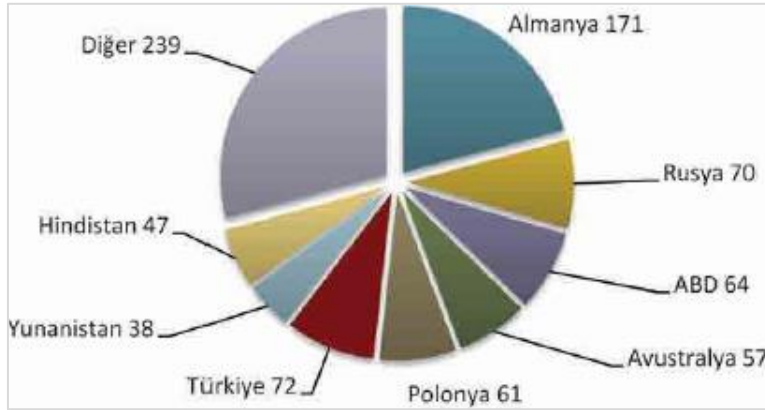
Şekil 4.10. Ükelere göre 2015 yılı kömür tüketim miktarları (milyon ton)



Şekil 4.11. Bölgelere göre yıllık kömür tüketim miktarları (MTEP) [41]

Dünyadaki toplam linyit tüketiminin 2017 yılında 820,5 milyon tona ulaştığı görülmektedir [43]. Almanya, 2017 yılında 171,4 milyon tonluk linyit tüketimi ile birinci sırada yer almaktadır. 2017 yılı istatistiklerine göre linyit tüketiminde 71,7 milyon tonluk tüketim ile

Almanya'yı Türkiye, 70,3 milyon tonluk tüketim ile Türkiye'yi de Rusya takip etmektedir. 64,3 milyon ton linyit tüketimi ile de ABD dördüncü sırada yer almaktadır. Dünya linyit tüketiminde 2015 yılında 56,6 milyon tonluk tüketim ile altıncı sırada yer alan Türkiye, 2016 yılında 68 milyon tonluk tüketimle ile ikinci sıraya yükselmiştir. (Şekil 4.12) [42].



Şekil 4.12. 2017 yılı ülkelere göre linyit tüketim miktarları (milyon ton) [42]

2017 yılında dünya taşkömürü tüketimi incelendiğinde, termal taşkömürü tüketiminde artış gözlenirken koklaşabilir taşkömürü tüketiminde ise azalma gözlenmiştir. 2017 yılında bir önceki yıla göre termal taşkömürü tüketimi %1,4'lük artışla 79 milyon ton artmış ve 5766,8 milyon ton seviyesine ulaşmıştır. Koklaşabilir taşkömürü tüketimi ise, 2017 yılında %0,7'lik bir azalma ile 6,1 milyon ton azalmış ve 997,9 milyon tona seviyesine gerilemiştir. 2001 yılından beri taş kömürü tüketiminde %116,3'lık bir düşüş yaşanmış ve 536,5 milyon tonluk bir azalma meydana gelmiştir. Çin'deki koklaşabilir taşkömürü tüketimi, dünyadaki tüketiminin % 60,9'unu oluşturmaktadır. OECD ülkelerindeki koklaşabilir taşkömürü tüketimi ise, 2017 yılında %0,7'lik bir artış göstererek, 174,5 milyon ton seviyesine ulaşmıştır. Termal taşkömürü ve koklaşabilir taşkömürü tüketen başlıca ülkeler ve tüketim miktarları Çizelge 4.2 ve 4.3'te verilmiştir [38].

Çizelge 4.2. Termal taşkömürü tüketim miktarları (milyon ton) [38]

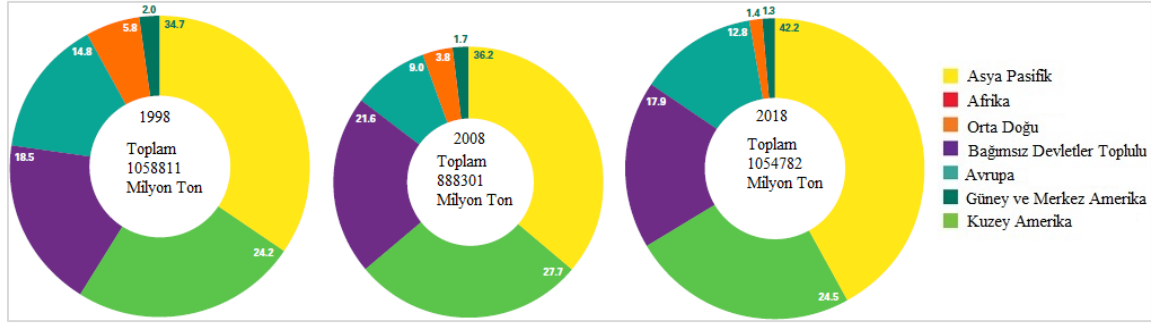
Ülke	2015	2016	2017*
Çin	3.141,4	3.041,5	3.046,5
Hindistan	745,2	755,0	805,6
ABD	633,2	576,1	560,5
Güney Afrika	176,8	182,7	182,9
Japonya	143,7	139,0	141,5
Kore	100,6	99,2	114,3
Endonezya	86,8	90,6	97,0
Rusya	85,8	85,4	94,9
Kazakistan	58,3	61,2	61,1
Polonya	58,5	61,5	61,1
Tayvan	57,3	58,8	61,0
Avustralya	47,9	51,6	56,9
Diğer	506,9	485,1	483,5
TOPLAM	5.842,4	5.687,7	5.766,8

Çizelge 4.3. Koklaşabilir taşkömürü tüketim miktarları (milyon ton) [38]

Ülke	2015	2016	2017*
Çin	467,6	601,2	607,2
Japonya	42,1	48,3	47,3
Rusya	37	62,6	62,7
Hindistan	32,3	101,7	88,5
Kore	18,9	35,7	36,1
Ukrayna	14,3	18,2	17,0
Almanya	11,2	15,1	14,6
Brezilya	11,7	10,4	11,7
ABD	13	14,4	15,9
Diğer	62,4	96,8	96,9
DÜNYA	710,5	1.004	997,9

4.1.4. Dünya kömür rezervleri

Dünya Enerji Konseyi tarafından 80 civarında ülkede bulunduğu raporlanan dünya kömür rezervlerinin en büyük kısmı (250,22 milyar ton) ABD’de yer almaktadır. ABD’yi 160,4 milyar ton ile Rusya Federasyonu ve 147,4 milyar ton ile Avusturalya izlemektedir. Diğer kömür zengini ülkeler arasında; Çin, Hindistan, Endonezya, Almanya, Ukrayna, Polonya bulunmaktadır. Dolayısıyla, dünya kömür rezervlerinin %90’a yakını bu 9 ülkenin elindedir. 2018 yılı sonu itibarıyla Türkiye’nin ise 11526 milyon ton kömür rezervi bulunmaktadır [41]. Dünya kömür rezervlerinin yıllara göre bölgesel dağılımı Şekil 4.13’te gösterilmiştir.

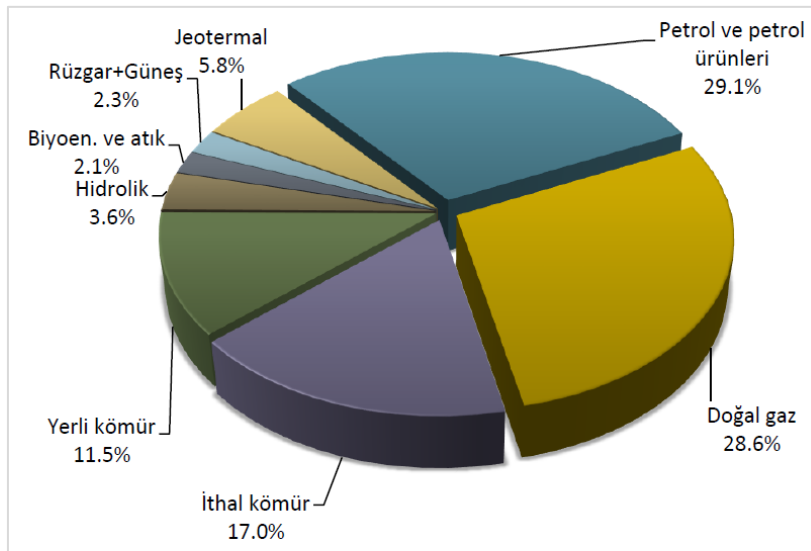


Şekil 4.13. Dünya kömür rezervlerinin yıllara ve bölgelere göre dağılımı [41]

4.2. Türkiye’de Kömür Sektörünün Görünümü

4.2.1. Birincil enerji arzı ve kömürün payı

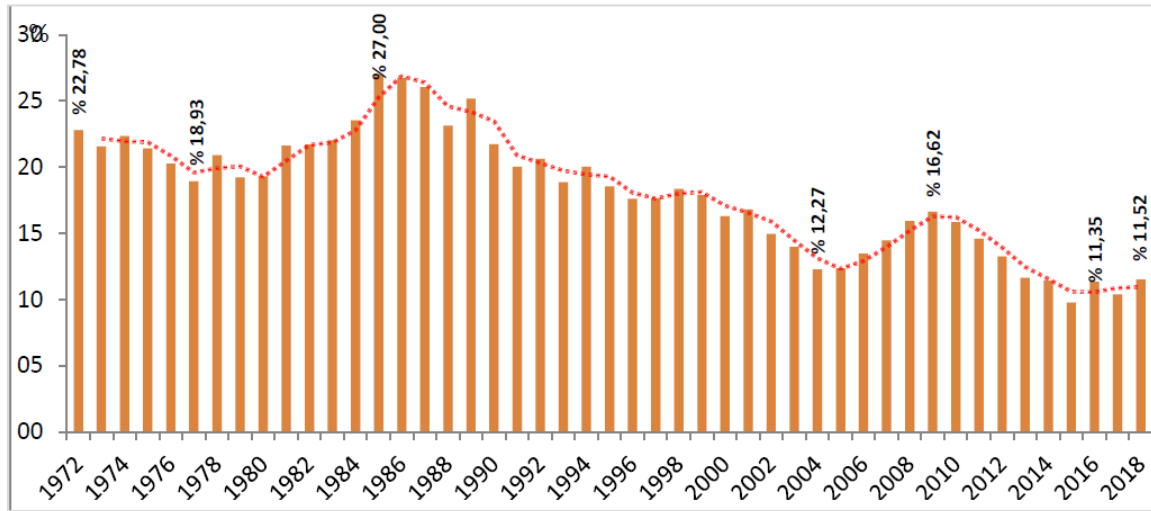
Türkiye birincil enerji arzı, yıllık ortalama %3,4 artış göstermektedir. Birincil enerji arzı 2018 yılında 2017 yılına göre %1,12’lik azalmayla 143,67 mtep seviyesine düşmüştür. Birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı incelendiğinde 41,91 mtep ile ham petrol ve petrol ürünlerinin ilk sırada yer aldığı; 41,17 mtep ile doğalgazın ikinci sırada; 40,97 (Taşkömürü, Linyit, Asfaltit, Kok) mtep ile de kömürün üçüncü sırada yer aldığı görülmektedir (Şekil 4.14) [44].



Şekil 4.14. Türkiye birincil enerji arzının kaynaklara dağılımı, 2018 [44]

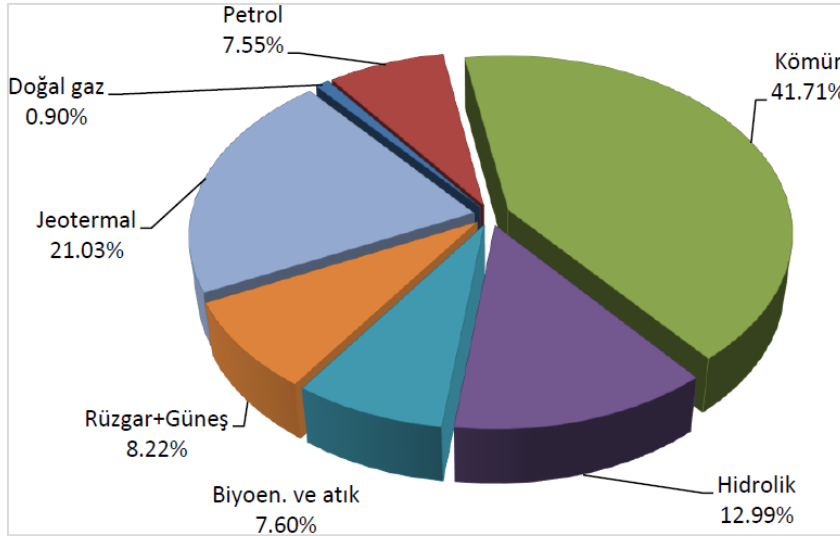
Yerli kömür tüketimi 2018 yılında 15,12 mtep linyit, 0,65 mtep taşkömürü ve 0,77 mtep asfaltit olmak üzere toplam 16,55 mtep’tir. İthal kömür arzı ise 23,95 mtep taşkömürü ve

0,52 mtep kok olmak üzere toplam 24,48 mtep düzeyindedir. Ülkemizin enerji tüketimi son on yılda %35 artış gösterirken, enerji üretimi ise %34 arttırılabilmiştir. 2017 yılında toplam enerji arzımızın %24'ü yerli üretime dayalı iken 2018 yılında bu oran artarak toplam enerji arzımızın %27,6'sını karşılamaktadır. Yerli kömür üretiminin enerji tüketimini karşılama oranı 2005 yılında %12,4 düzeyindeyken, 2009 yılında %17 düzeyine yükselmiş fakat 2015 yılında %9,8 düzeyine gerilemiş olup son olarak 2018 yılında %11,52 düzeyine yükselmiştir (Şekil 4.15) [42].



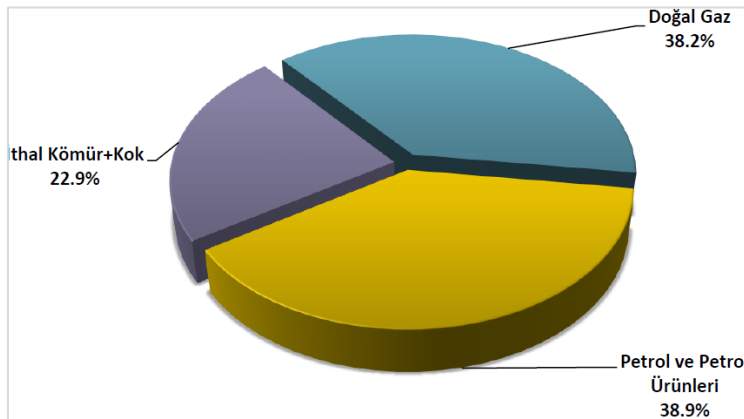
Şekil 4.15. Kömür üretiminin enerji tüketimini karşılama oranı [42]

Birincil enerji arzının enerji kaynaklarına göre dağılımı incelendiğinde 1971-2018 yılları arasında önemli değişiklikler olduğu gözlenmektedir. 1971 yılında birincil enerji arzınının %46,5'i petrolden, %29'u biyoenerji ve atıklardan ve %23,5'i yerli kömürden karşılanmaktaydı. 2018 yılında ise en büyük pay %25,6 ile petrolün olurken, ikinci sırada %25,2 oranla doğalgaz yer almaktadır. Yerli kömür %11,5 ve biyoenerji ve atıklar da %2,09 düzeyine gerilemiş; ithal kömür ise (taşkömürü ve kok) ise %17,1 seviyesine yükselmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr, güneş ve jeotermal kullanımının giderek arttığı görülmektedir. 2018 sonu itibariyle Türkiye'nin birincil enerji üretimi 2017 yılına göre %12,21'lik bir artışla 39,67 mtep seviyesine ulaşmıştır. Yerli üretimin kaynaklara dağılımında, 16,55 mtep ile kömür ilk sırayı alırken, ikinci sırada 8,34 mtep ile jeotermal, üçüncü sırada 3,26 mtep ile rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları, 5,15 mtep ile hidrolik, 2,9 mtep ile petrol, 3,01 mtep ile biyoenerji ve atıklar izlemektedir (Şekil 4.16). Yerli kömür üretimi; 15,12 mtep linyit, 0,65 mtep taşkömürü ve 0,77 mtep asfaltit şeklinde gerçekleşmiştir [44].



Şekil 4.16. 2018 yılı Türkiye birincil enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı [44]

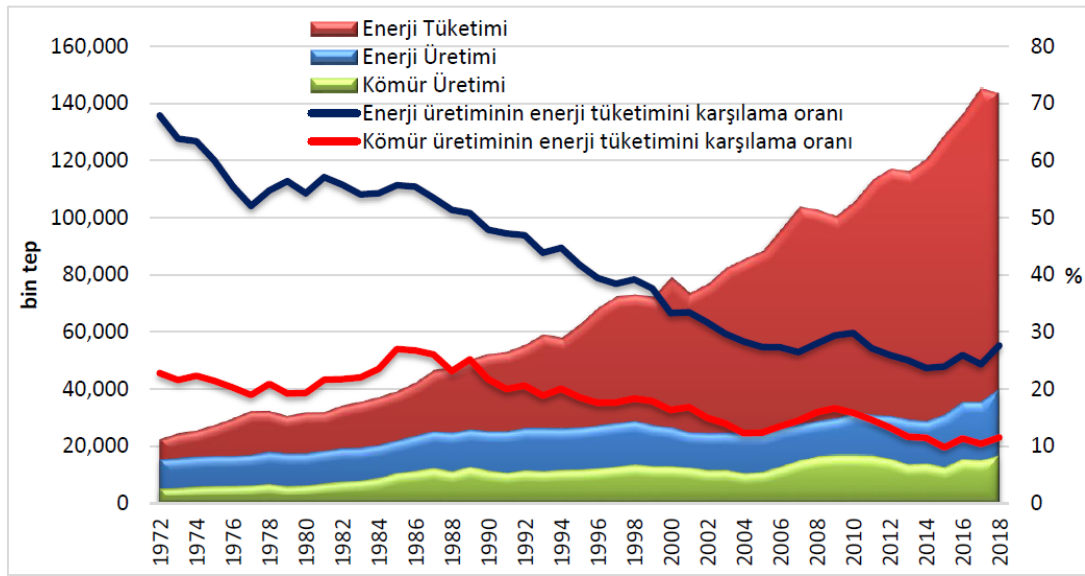
Türkiye’de 2017’de enerji tüketiminin %24,3’ü yerli enerji kaynaklarından elde edilirken, %75,7 gibi çoğunluğu ise ithal kaynaklardan elde edilmiştir. 2018 yılında ise Türkiye için enerji tüketiminin %27,6’ü yerli enerji kaynaklarından karşılanırken, %72,4 kısmı ithal kaynaklardan elde edilerek bir önceki yıla göre ithalata olan bağımlılıkta bir miktar azalma sağlanmıştır. Enerji ithalatının kaynaklara göre dağılımı incelendiğinde; 41,17 mtep doğalgaz, 49,55 mtep ham petrol ve petrol ürünleri; 23,95 mtep kömür ve 0,52 mtep kok şeklinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.17) [44].



Şekil 4.17. Birincil enerji ithalatının kaynaklara dağılımı, 2018 [44]

Ülkemiz enerji tüketimi son on yılda %39,7 artış gösterirken, enerji üretimimiz ise %38 arttırılabilmektedir. 2017 yılında, enerji üretimimizdeki artış enerji tüketimindeki artış hızının önemli ölçüde gerisinde olmasına rağmen 2018 yılında enerji üretimimizdeki artış enerji

tüketimindeki artış hızına yaklaşmıştır. Bu nedenle, yerli üretimin tüketimi karşılama oranı on yıl önce %26,4 düzeyindeyken 2018 yılı itibariyle %27,6'e yükselmiştir. Yerli kömür üretiminin enerji tüketimini karşılama oranı 2017 yılında %10,38 düzeyindeyken 2018 yılında %11,52 şeklinde gerçekleşmiştir. Yerli enerji üretiminin tüketimi giderek daha az oranda karşılayabilmesi sonucunda enerji ithalatının da hızla artması kaçınılmaz olmuştur. 2018 yılı itibariyle ülkemizdeki enerji tüketiminin %27,6'sı yerli enerji kaynaklarından elde edilirken, %72,4 gibi önemli bir kısmı ise ithal kaynaklardan sağlanmıştır (Şekil 4.18) [42].

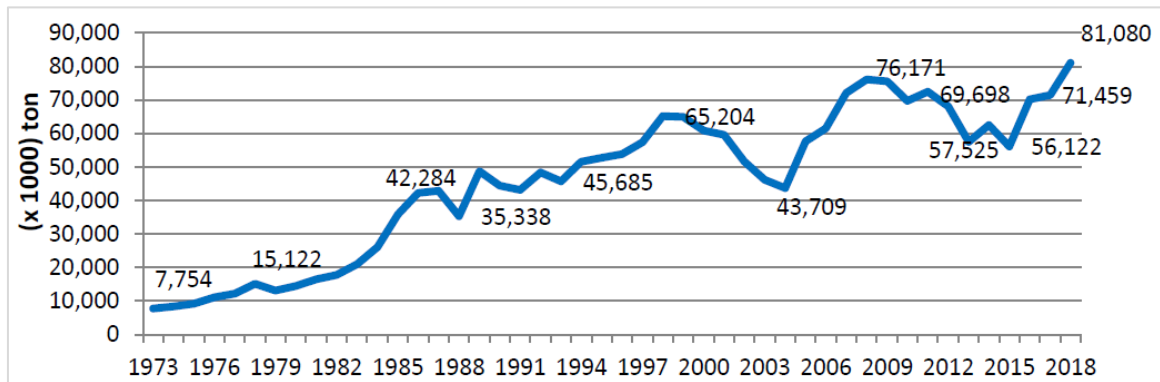


Şekil 4.18. Türkiye enerji tüketimi ve üretimi ile kömür üretiminin payları [42]

4.2.2. Türkiye kömür üretimi

1980-2004 yılları arasında Türkiye’de taşkömürü üretiminde sürekli bir azalma ile 1,9 milyon tona kadar gerilediği görülmüştür. 2004 yılından sonra tekrar artış hareketine giren üretimde, taşkömürü üretimi 2012 yılında 2,3 milyon ton seviyesine yükselmiştir. 2013 yılında ise yeniden azalan üretim 1,9 milyon ton seviyesine ve 2014 yılında ise 2013’e göre %5 oranında azalarak 1,8 milyon ton seviyesine düşmüştür [42]. 2016 yılı taşkömürü üretimi ise 1,316 milyon ton ve 2017 yılı üretimi ise 1,213 milyon ton, 2018 yılına üretim ise 1,135 milyon tona düşmüştür. Böylelikle, Zonguldak Havzası’nın, Türkiye enerji talebine olan katkısı 2018 yılı itibariyle binde 4,6 düzeyine kadar gerilemiştir [38].

Türkiye linyit üretimleri incelendiğinde, üretimin özellikle 1970’li yılların başlarından itibaren, petrol krizlerine bağlı olarak elektrik üretimine yönelik linyit işletmeleri yatırımlarının başlaması ile hızlanmıştır. 1970 yılında 5,8 milyon ton olan linyit üretimi 1998 yılında 65 milyon ton seviyesine çıkarak yaklaşık üretim kapasitesi 10 kat artırılmıştır. Ancak, 1998’den itibaren, özellikle doğalgaz alım anlaşmalarında garanti alım miktarları verilmesi nedeniyle linyit üretimi sürekli bir azalma göstererek, 2004 yılında 43,7 milyon ton ile son yıllardaki en düşük seviyesine düşmüştür. 2004 yılından sonra tekrar artan linyit üretimleri 2008 yılında 76 milyon ton seviyesine ulaşmış, ancak tekrar azalarak 2013 yılında 57,5 milyon ton seviyesine düşmüştür. 2014 yılında 62,6 milyon ton, 2015 yılında 56,12 milyon ton, 2017 yılında ise 71,46 milyon ton ve 2018 yılında ise 2017’ye göre %13,47’lik bir artışla 81,08 milyon ton seviyesine ulaşmıştır (Şekil 4.19). Linyit üretiminin 22,06 milyon tonu Türkiye Kömür İşletmeleri tarafından gerçekleştirilmiştir [42]. 2018 yılı tüvenan linyit üretimi yaklaşık 101,5 milyon ton olurken; bu üretimin 53,3 milyon tonu Kamuya ait ruhsat sahalarından yapılmıştır. Bu üretimin 29,72 milyon tonu TKİ ruhsat sahalarından yapılmıştır. Böylelikle özel sektörün linyit üretimindeki payı %48 düzeyinde gerçekleşmiştir [42].

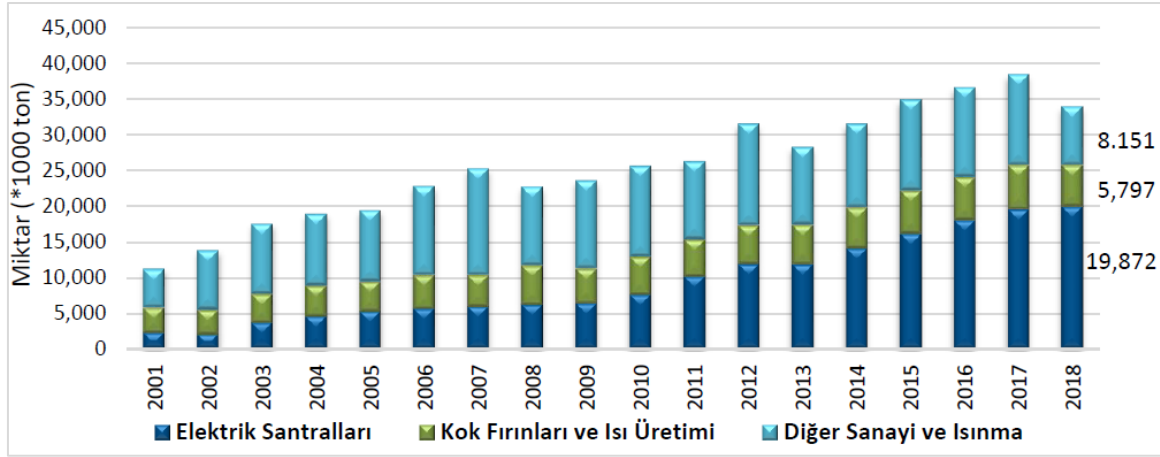


Şekil 4.19. Türkiye linyit üretim miktarları [42]

4.2.3. Türkiye kömür tüketimi

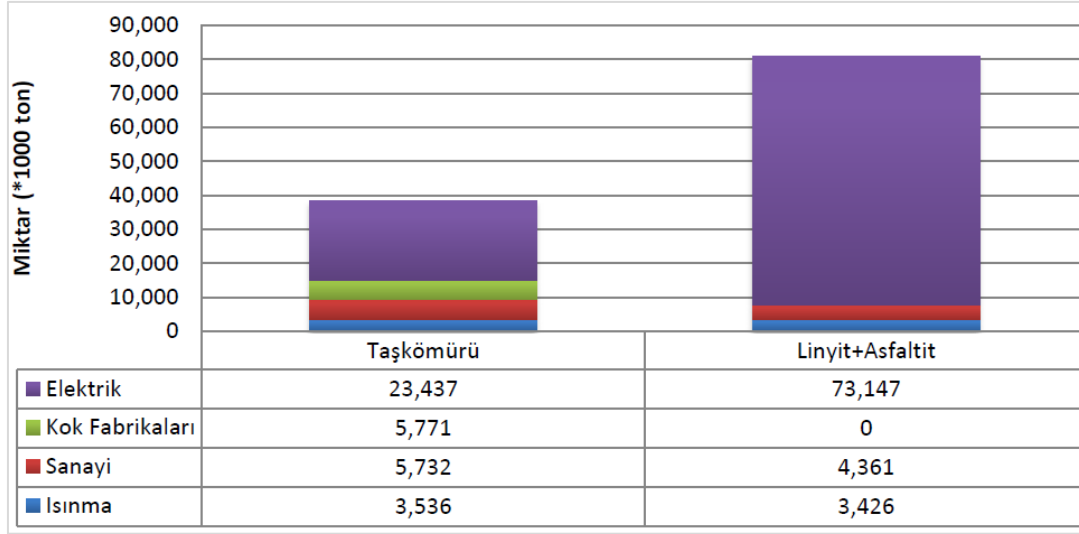
2018 yılında Türkiye’de tüketilen kömürün 1,10 milyon tonu yerli taşkömürü, 39,14 milyon tonu ithal kömür, 82,48 milyon tonu ise linyit ve asfaltit olmak üzere toplamda 122,82 milyon ton olmuştur. 2017 yılı kömür tüketimlerine göre 2018 yılında ithal ve yerli taşkömürü tüketimi %1,7’lik bir artış gösterirken linyit-asfaltit tüketimi ise %13,09’luk bir artış göstermiştir. Toplam kömür tüketimindeki artış ise %8,9 düzeyindedir. 2018 yılında

Türkiye’de taşkömürü tüketiminde en büyük pay %60,7’lik oranla termik santrallerin olmuştur. Geriye kalan tüketim ise %15,7 oranında kok fabrikaları ve %23,6 oranında diğer sanayi olarak gerçekleşmiştir. Taşkömürü tüketiminde elektrik santrallerinin payı giderek artmaktadır. On yıl önce %20 düzeyinde olan söz konusu pay 2018 yılı itibariyle %60’lar düzeyine yaklaşmıştır (Şekil 4.20) [42].



Şekil 4.20. Kullanım yerlerine göre Türkiye taşkömürü tüketim miktarı

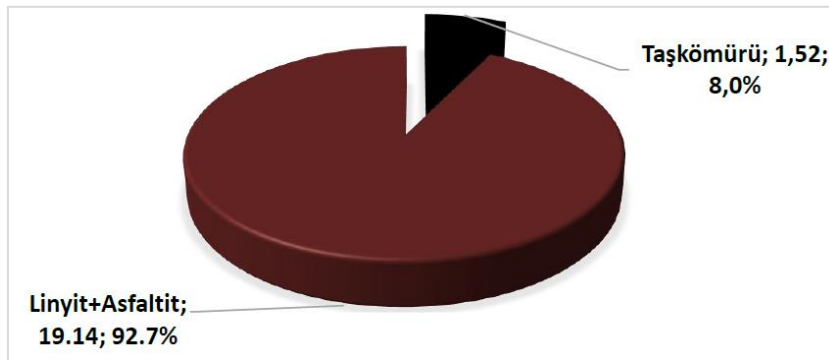
Türkiye’de üretilen linyitler, elektrik üretime amacıyla termik santrallerde, sanayi sektörlerinde ve ısınma amaçlı olarak konut ve işyerlerinde kullanılmaktadır. Elektrik üretim amaçlı tüketilen linyitin ısı değer bazındaki payı, 1970’li yıllarda yaklaşık %20 seviyesindeyken 1980 yıllar itibariyle linyitin payı artmaya başlamış ve 2001 yılında ise bu oran %80 ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Elektrik üretim sektöründeki linyit kullanımının payı artarken, bu dönemde konut ve iş yerlerinde kullanılan linyitin payı %42’den %7; sanayi sektörlerinde kullanılan linyitin payı ise %36’dan %13 seviyelerine gerilemiştir. 2001 yılından sonra ise süreç tam tersine dönerek linyitin elektrik üretimindeki payı azalırken sanayi sektörleri ile konut ve işyerlerindeki payı yeniden artmıştır. 2018 yılına gelindiğinde ise 80,9 milyon ton olan toplam linyit arzının %73,5’i elektrik üretimi ve ısı üretiminde kullanılmıştır. Sanayi sektörlerindeki kullanım payı %4,8 ve konut-işyerlerinde kullanım payı ise %4,2 düzeyindedir. Elektrik üretiminde kullanılan linyitlerin ısı değerleri sanayi ya da ısınmada kullanılan kömürlere nazaran çok daha düşüktür. Bu nedenle toplam ısı değer bazında hesaplama yapıldığında; 2018 yılında arz edilen linyit enerjisinin %72,9’u elektrik üretiminde, %13,8’i sanayi sektörlerinde ve %10,7’si ise konut ve işyerlerinde tüketilmiştir. Aynı yılda; 1405 bin ton asfaltit arzının neredeyse tamamı elektrik üretimi amaçlı kullanılmıştır (Şekil 4.21) [42-44].



Şekil 4.21. Kömür arzının sektörlere göre tüketim dağılımı, 2018 [42]

4.2.4. Türkiye kömür rezervi

Türkiye’deki taşkömürü kaynaklarının en önemlisi Zonguldak ve civarında bulunan kaynaktır. 2018 yılı istatistiklerine göre 736 milyon tonu görünür olmak üzere taşkömürü kaynağı 1,52 milyar ton seviyelerindedir. Linyit, asfaltit ve taşkömürü ile birlikte toplam kömür kaynağı ise 20,66 milyar ton olduğu bilinmektedir (Şekil 4.22) [38,45]. Türkiye’deki kömür kaynaklarının yalnızca üçte birinin etüt ve fizibilite çalışmaları tamamlandığı için geri kalan kısım rezerv olarak nitelendirilememektedir. Son 15-20 sene içerisinde gerçekleştirilen arama ve rezerv geliştirme çalışmaları sonucunda ciddi bir kömür kaynağı artışı sağlanmıştır. Yeni sahaların bulunmasına ve kömür kaynağı artışına yönelik çalışmalar ilgili kurum olan MTA tarafından devam etmektedir.



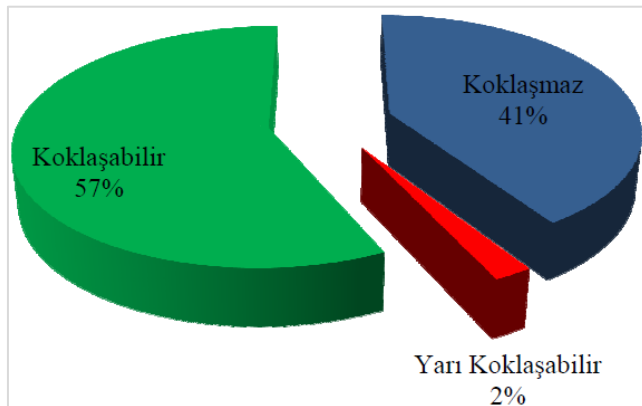
Şekil 4.22. Türkiye kömür kaynak dağılımı [45]

Taşkömürü kaynağının tamamı Türkiye Taşkömürü Kurumu'nun (TTK) ruhsatında bulunmaktadır (Çizelge 4.4). Havzada bugüne kadar yapılan arama çalışmalarında, 1200 m derinliğe kadar tespit edilmiş toplam jeolojik rezerv (kaynak) 1,518 Milyar ton olup, bunun yaklaşık %48'si "görünür" olarak kabul edilmektedir [38].

Çizelge 4.4. Türkiye'deki taşkömürü rezervleri (ton) [38]

REZERV	Armut- çuk	Kozlu	Üzülmez	Karadon	Amasra		TTK
					A	B	
Hazır	1.763.554	3.411.423	305.389	1.757.841	420.000	-	7.658.207
Görünür	1.826.966	62.675.898	133.528.026	130.511.049	5.596.047	395.954.757	735.892.743
Muhtemel	11.089.144	40.539.000	94.342.000	159.162.000	2.176.308	151.161.950	461.788.749
Mümkün	5.885.637	47.975.000	74.020.000	117.034.000	7.758.000	58.812.778	313.482.942
TOPLAM	20.565.301	154.601.321	302.195.415	408.464.890	15.950.355	605.929.485	1.518.822.641

Koklaşabilir taş kömürü rezervleri Kozlu, Üzülmez ve Karadon bölgelerinde bulunmaktadır. Koklaşabilir taşkömürü rezervlerinin toplam rezervler içerisindeki payı yaklaşık %57'dir. Armutçuk bölgesinde yer alan rezervler; yarı-koklaşma özelliği, yüksek ısı değeri ve düşük bünye külü içeriği ile hem koklaşabilir kömürlerle harmanlanarak hem de pülverize enjeksiyon kömürü olarak demir-çelik fabrikalarında kullanıma uygun niteliktedir. Amasra bölgesi kömürlerinin koklaşma özelliği bulunmamakla birlikte belirli oranlarda metalürjik kömürler ile harmanlandığında koklaşma özelliğini bozmamaktadır [38].

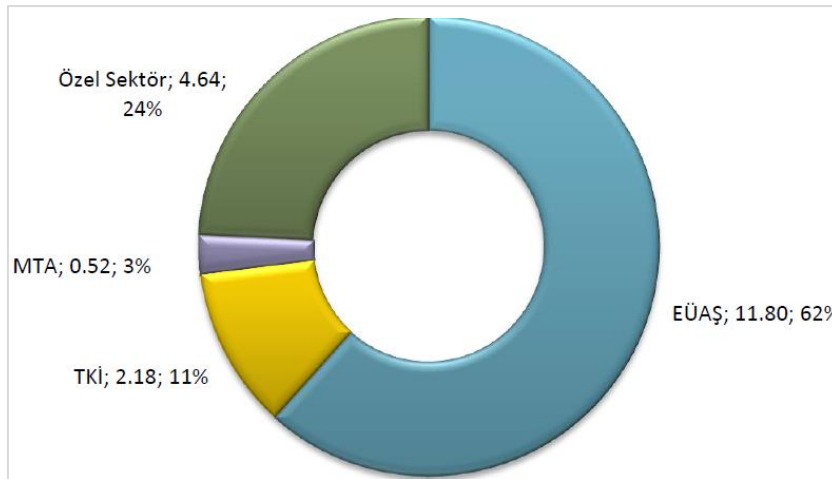


Şekil 4.23. Koklaşma özelliklerine göre Havza rezervleri [38]

2005 yılına kadar 8,3 milyar ton olarak hesaplanan linyit rezervleri, yeni yapılan saha çalışmaları ile birlikte 2018 yılı sonu itibariyle toplam 19,14 milyar ton seviyesine ulaşmıştır. Artan rezerv miktarına rağmen Türkiye linyit rezervlerinin ısı değerleri oldukça düşüktür. Linyit rezervinin ortalama alt ısı değeri 1.000 kCal/kg ile 4.200 kCal/kg arasında değişiklik göstermekle birlikte yaklaşık %90'ının alt ısı değeri 3.000 kCal/kg'ın altında olduğu görülmektedir. Linyit rezervlerinin %73'ü Elektrik Üretim Anonim Şirketi, Türkiye Kömür İşletmeleri ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü olmak üzere üç kamu kuruluşunda bulunurken, geriye kalan %27'lik kısım ise özel sektör ruhsat sınırları içinde bulunmaktadır (Çizelge 4.5). Ülkemiz linyit kaynağımızın %62'si ile en büyük kısmı EÜAŞ'ın ruhsatındadır. Bu kurumu %11 ile TKİ izlemektedir (Şekil 4.24).

Çizelge 4.5. Kurumlara ait linyit kaynakları, (bin ton, 2018 yılı sonu) [42]

Kurumlar	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
EÜAŞ	v.y.	v.y.	v.y.	11.800.000
TKİ	1.992.571	188.960	1.560	2.183.091
MTA	515.000	-	-	515.000
Özel Sektör	v.y.	v.y.	v.y.	4.638.809
TOPLAM	-	-	-	19.136.809

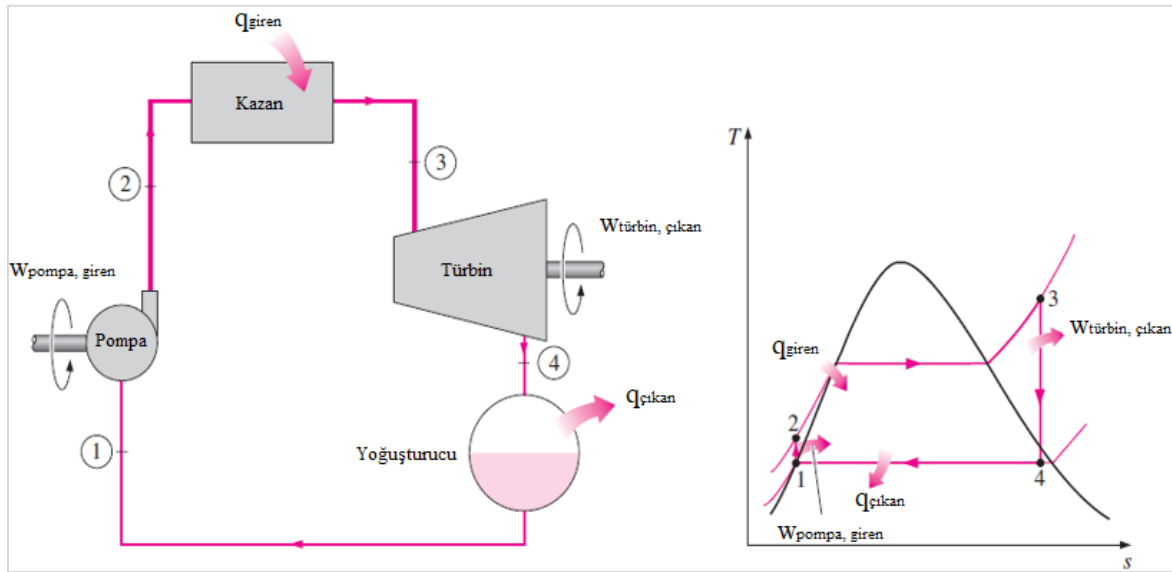


Şekil 4.24. Türkiye linyit kaynağının dağılımı, 2018 [42]

Türkiye’de 2000 yılı itibariyle 140 yerde, 2009 yılı sonu itibariyle çok küçükler bir tarafa bırakılırsa 116 yerde toplam (Görünür + Muhtemel + Mümkün) 11.574.169.000 ton linyit rezervi bulunmaktadır [46]. EK-1’de Türkiye linyit rezervi, linyitlerin özellikleri ve imtiyaz sahipleri gösterilmiştir.

5. TERMİK SANTRALLER

Elektrik enerjisi üretiminde büyük paya sahip olan katı, sıvı, gaz yakıtlı olabilen termik santraller, buhar enerjisi ile çalışan güç santralleridir. Kömür, doğalgaz, nükleer, jeotermal, güneş ve çöp santrallerinin tamamı termik santrallerdir. Kömür, fueloil ve doğalgaz santralleri fosil yakıtlı güç santralleri olarak adlandırılmaktadır. Sıklıkla kojenerasyon tesisi de denilen kombine ısı ve güç santralleri hem ısı hem de elektrik enerjisi üretmektedir. Buhar ve sıcak su uzun mesafelere borularla taşındığında enerji kayıpları olduğundan, enerji aktarımı yalnızca endüstriyel tesis, yakın binaların ısıtılması gibi kısa mesafelerde verimli olmaktadır. Elektrik üretimi yapan termik santrallerde yakıttaki kimyasal enerji önce kazanda ısı enerjisine çevrilerek buhara aktarılmaktadır. Daha sonra bu buhardaki ısı enerjisi türbinde mekanik enerjiye ve arkasından jeneratörde elektrik enerjisine çevrilmektedir. Kazanda suyun kızgın buhar haline ısıtılmasıyla ve yoğuşturucuda doymuş sıvı haline soğutulmasıyla oluşan çevrim, buharlı güç santrallerinin ideal çevrimi olan Rankine Çevrimi olarak bilinmektedir (Şekil 5.1) [47].



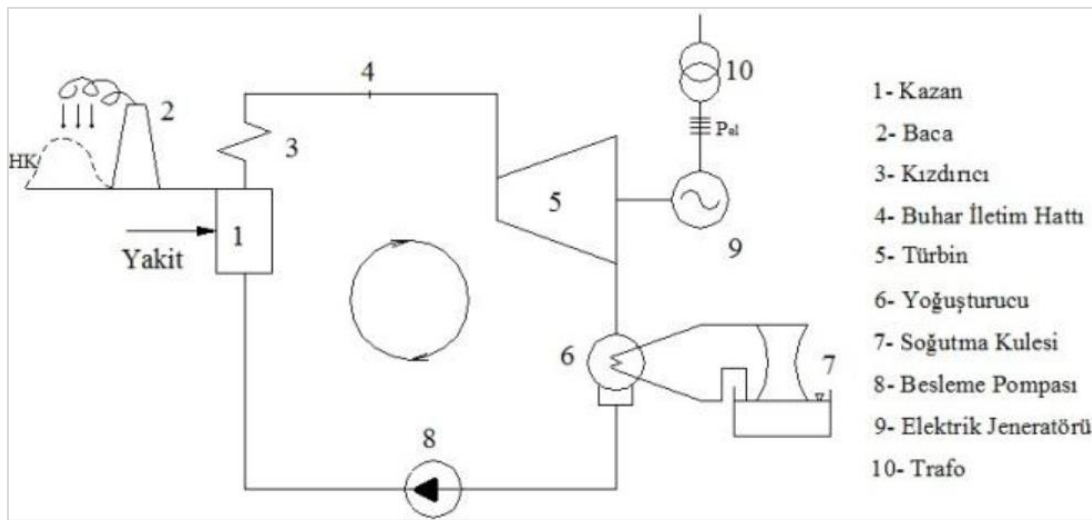
Şekil 5.1. Basit ideal Rankine Çevrimi ve T-s diyagramı [47]

Basit Rankine buhar çevriminde termik santrale giren su ısıtılarak, buhar haline dönüştürülür ve buhar türbinine gönderilir. Kazanda üretilen buhar jeneratöre bağlı olan buhar türbinini çevirir ve sahip olduğu enerjiyi türbine veren buhar, yoğuşturularak tekrar kazana gönderilir.

İdeal Rankine çevriminde içten tersinmezliğin olmadığı dört hal değişimi vardır;

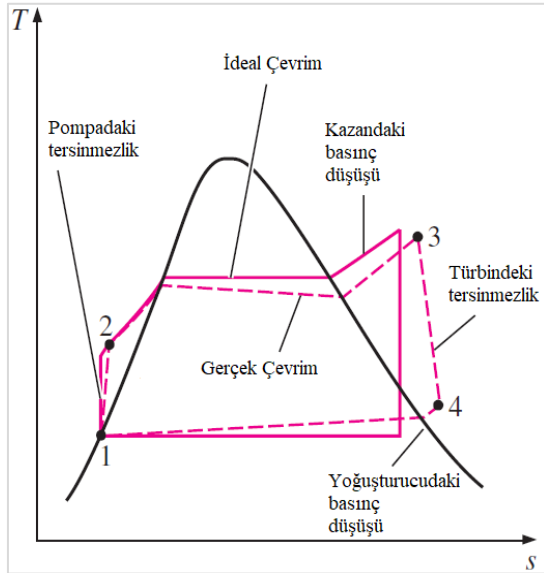
1. 2 Pompayla izentropik sıkıştırma
2. 3 Kazanda sisteme sabit basınçta ısı geçişi
3. 4 Türbinde izentropik genişleme
4. 1 Yoğuşturucuda sabit basınçta ısı atılması

Su, pompaya doymuş sıvı olarak girer ve izentropik hal değişimiyle kazan basıncına sıkıştırılır. Su sıcaklığı izentropik sıkıştırma işlemi sırasında suyun özgül hacminin, azalmasından dolayı bir miktar artar. Su kazana sıkıştırılmış sıvı olarak girer ve kızgın buhar olarak çıkar. Kızgın buhar türbinde izentropik olarak genişler ve bir mili döndürerek iş yapar. Mil, elektrik üretimi için jeneratöre bağlanmıştır. Bu hal değişimi sırasında buharın basıncı ve sıcaklığı azalarak 4 durumuna ulaşır. Buhar türbinden çıktıktan sonra yoğuşturucuya girer. Yoğuşturucuya giren buhar doymuş sıvı buhar karışımı halindedir. Su, yoğuşturucudan doymuş sıvı halinde çıkar ve pompaya girerek çevrimi tamamlar. T-s diyagramında hal değişimi eğrisi altında kalan alanın içten tersinir hal değişimleri için ısı geçişini gösterir. 2-3 eğrisi altında kalan alan suya kazanda verilen ısıyı, 4-1 eğrisi altında kalan alan da yoğuşturucuda çevreye verilen ısıyı göstermektedir. İkisi arasındaki fark çevrimin net işi veya net ısı alışverişidir [47]. Basit bir termik santral sistemi Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Basit bir termik santral akış şeması [48]

İdeal Rankine çevriminden farklı olarak gerçek bir çevrimde pompa ve türbin izentropik değildir ve tersinmezlikler gerçekleşir. Bunların yanında kazan, boru hatları ve yoğuşturucuda basınç düşüşleri gerçekleşebilmektedir. Gerçek Rankine çevrimin T-s diyagramı Şekil 5.3'te gösterilmiştir [47].



Şekil 5.3. İdeal Rankine çevrimden sapmalar [47]

5.1. Termik Santrallerin Sınıflandırılması

Termik santraller buharın türbin içerisindeki genişlemesine, çalışma şekline, kullanılan yakıta, soğutma kulesi tiplerine, yakma sistemine göre sınıflandırılabilir. Santraller buharın türbin içerisindeki genişleme şekline göre karşı basınçlı, ara buharlı ve karşı basınçlı, ara buharlı ve kondensasyonlu, son olarak da sadece kondensasyonlu santraller olarak sınıflandırılmaktadırlar. Ayrıca santraller baz yüklü, orta yüklü ve pik yüklü santraller olarak da çalışma şekline göre sınıflandırılabilirler. En önemli sınıflandırmalardan biri ise kullanılan yakıt türüdür. Katı, sıvı ve gaz yakıtlı olarak yakıt türlerinde sınıflandırma yapılabilir. Soğutma kulelerine göre incelendiğinde cebri fanlı ıslak tip soğutma kulesi, doğal sirkülasyonlu ıslak tip soğutma kulesi ve kuru tip soğutma kulesi olarak sınıflandırılmaktadır [49]. Ayrıca yakma sistemlerine göre akışkan yataklı yakma sistemleri ve pülverize yakma sistemleri olarak üçe ayrılmaktadır [50].

5.2. Kömür Yakıtlı Bir Termik Santralin Çalışma Prensibi

Kömür yakıtlı bir termik santralde elektrik üretilebilmesi için sistemde dolaşım için su gerekmektedir. Ayrıca suyun buhara dönüşebilmesi için ve gerekli yanmanın sağlanması için kömür ve yeterli miktarda hava gerekmektedir. Termik santrallerde sistemde yumuşak su ya da saf suyun çevrimi yapılır. Çevrimde kullanılan yumuşak su, ham su içindeki yabancı maddelerin çöktürülmesi, kimyasallar yardımıyla bazı kimyasalların ayrıştırılması sonucu oluşan genel olarak magnezyum ve kalsiyum bakımından fakir olan geçici sertliği alınmış sudur. Saf su ise iyon değiştirici reçinelerden geçirilerek elde edilen sudur. Kazanlarda yanmanın gerçekleşebilmesi kömür ve hava oranlarının yanma için uygun aralıkta olması gerekmektedir. Ayrıca yanma odasının kontrolü ve kömür parçacıklarının taşınabilmesi için fanlar yardımıyla kazanın yanma odasına hava verilmektedir.

Kömür yakıtlı bir buhar kazanında kömür öğütülerek toz haline getirilir. Daha sonra kömür hava karışımı ile kazanda yakılarak elde edilen ısı boru demetlerine aktararak su ısıtılır ve buhar elde edilir. Elde edilen buhar yüksek basınç türbinine gönderilir. Elde edilen buhar türbinde enerjisi ile güç ürettikten sonra tekrar kazana gönderilerek kızdırılır ve sırasıyla orta basınç türbinine daha sonra da alçak basınç türbinine gönderilir. Alçak basınç türbininde buhar tam olarak genişler ve kondensere gönderilir. Kondenser, buhar yeniden suya dönüştürülür. Buhar burada, içinde soğutma suyunun dolandığı binlerce küçük çaplı boruya temas ederek tekrar suya dönüşür. Sonra pompalarla toplanır ve yeniden ısıtma çevrimine girmesi için kazana gönderilir.

5.3. Kömür Yakıtlı Termik Santral Bileşenleri

5.3.1. Kömür alma, kül atma sistemleri

Türkiye’de bulunan kömür yakıtlı termik santrallerinin büyük bir kısmı düşük alt ısı değerine sahip olması nedeniyle santraller linyit veya kömür madenlerinin yakınında kurulmuşlardır. Madenlerden çıkarılan nemli ham kömür kırıcılara gönderilir ve 30-40 mm tane büyüklüğüne ufaltılarak santralin belli bir süre üretim kapasitesini karşılayacak kapasiteye sahip olan kömür stok sahasına gönderilir. Kömür, stok sahasından makinalarıyla alınır ve kazanların bunkerlerine gönderilir. Kömürün kazanda yakılması sonucu cüruf oluşur. Kazan altı teknesinden alınan cüruf ve elektro filtrede tutulan kül,

aynı konveyör bandına dökülerek ya madende kömürün çıkarıldığı yerlere veya ayrı olarak inşa edilen kül barajlarına dökülür. Kül ve cürufun direkt suyla taşındığı hidrolik sistemler de bulunmaktadır [49].

5.3.2. Kazan

Kazan, yakılan yakıtın kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüştüğü ve bu ısı enerjisinin borular içerisinden geçen akışkana verildiği sistem elemanıdır. Kazanlar akışkan yataklı kazanlar ve pülverize kömürlü kazanlar olarak iki çeşittir.

Akışkan yataklı kazanlarda sistemin esası, kömür alttan belirli bir hızla yükselen hava üzerine verilmekte ve hava kömürü askıda tutarak yanmasını sağlamaktadır [50]. Kömür tanelerinin askıda kalabilmesi için, tane boyutuna bağlı olarak akışkanlaştırma gerekir. Yüksek basınçlı bir fan ya da kompresör yardımıyla yukarıya doğru beslenen akış hızı arttırıldıkça, beslenen hava parçacıklara daha fazla kuvvet uygulayarak parçacıkların arasındaki yerçekiminden kaynaklanan sürtünme kuvvetlerini azaltır. Hız daha da arttırıldığında parçacıkların üzerindeki kaldırma kuvveti yerçekimini dengeleyerek yukarı doğru akan hava içinde parçacıkların asılı kalmasını sağlar. Bu durumda yatağı oluşturan parçacıklar akışkan özellikleri sergilemeye başlamıştır. Bu koşulu sağlayan gaz hızına minimum akışkanlaştırma hızı denmektedir [15].

Püskürtme toz kömürlü kazanlı santrallerde bunkerlerden alınan kömür nakil bantlarıyla değirmenlere gelir, değirmenlerde toz haline getirilen kömür yanma odasına sıcak havayla püskürtülür ve kömür havada yanar. Linyitlerin verimli ve kararlı bir şekilde yakılabilmesi için kömür öğütme değirmeni çıkışındaki kömür tozundan kalan bünyesel nemin, yaklaşık %12 – 16 dolayında tutulması gerekir [50].

Kazandaki diğer yardımcı ekipmanların başlıca şunlardır:

- Değirmenler (Akışkan yataklı kazanda yok)
- Fanlar
- Hava ön ısıtıcıları
- Kurum üfleyicileri
- Cüruf ızgarası
- Kül tutucu elektro filtreler

5.3.3. Türbin

Türbin, bir akışkanın enerjisini işe çevirmek için kullanılan sistemdir. Buhar türbini, yatay eksen etrafında dönebilen bir rotor ve rotorla beraber dönebilen hareketli kanatlar bulunmaktadır. Ayrıca türbinde gövdenin içerisinde bulunan bir iç gövde, sabit kanat taşıyıcıları ve sabit kanatlar bulunmaktadır.

Türbin çalışma prensibi, akışkan türbinin kanatçıklarına çarpar ve türbin miline hareket verir, hareket milin çıkışında mekanik işe dönüşür. Kazanda elde edilen buhar, sahip olduğu enerjisini türbin kanatları ile rotora verdikten sonra iş üretilip çürük buhar haline geldikten sonra yoğunlaştırıcıya gönderilir. Farklı basınçlarda alınan ara buhar, borular ile gövdeden ayrılarak besleme suyu ısıtıcılarına gönderilir. Elde edilen ara buhar yardımıyla kazana besleme suyu ısıtılır. Ayrıca elektrik üretimi için türbin çıkış tarafında bulunan jeneratörün rotoru ile türbin rotoruna birbirine kaplinle monte edilmiştir [49].

5.3.4. Yoğuşturucu

Türbinden çıkan, buhar enerjisi diğer bir deyişle basınç ve sıcaklığı azalmış buhar, yoğuşturucu denilen bölümde soğutulup su haline dönüştürüldükten sonra, tekrar kullanılmak üzere kazana geri gönderilir. Yoğuşturucu içinde 15000 adet boru, 12000 metrekare ısı transfer yüzeyi bulunur. Yoğuşturucuda soğutma işini sağlayabilmek için deniz, göl veya ırmaklarda bulunan su kullanılır. Su kaynaklarından uzak bölgelerde ise soğutma kuleleri kullanılır. Soğutma kulelerine gelen su yağmurlama usulü ile soğutulup ve yeniden sisteme verilecek sıcaklığa düşürülerek soğutulur ve su sisteme geri gönderilir. Bu işlem kapalı çevrim şeklinde sürekli devam etmektedir [51].

5.3.5. Jeneratör

Termik santrallerde bulunan jeneratörler, stator ve rotor olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Statorün gövdesi kaynaklıdır. Gövdesinin içerisine ise 0,5 mm kalınlığındaki sacların üst üste konulması ile oluşturulan demetler yerleştirilir. Gövde içerisinde bulunan demetlerin içerisine açılmış oluklara stator sargıları sarılır ve mika ya da benzeri yalıtkanlarla birbirlerinden ayrılır.

Jeneratör rotoruna indüktör de denebilir. Rotorda oluşturulan manyetik alanın stator içinde döndürülmesiyle stator sargılarında voltaj indüklenmiş olur. Yuvarlak kutuplu senkron jeneratörlerin devirleri yüksek olduğundan (3.000 rpm) rotor üzerinde büyük merkezkaç kuvvetleri oluşur. Jeneratörden çıktıktan sonra ana transformatörde gerilimi yükseltilecek enerji genel olarak ayırıcı, kesici, bara, transformatör ve yardımcı teçhizattan oluşan elektrik dağıtmak için kullanılan şalt sahasına verilir [51].

5.3.6. Soğutma kulesi

Türbinden kondensere gelen buharın ısısı soğutma kulesinden gelen suyla soğutulur. Isınan soğutma suyu da soğutma kulesinde tekrar soğutulur. Soğutma kuleleri, cebri fanlı ıslak tip soğutma kulesi, doğal sirkülasyonlu ıslak tip soğutma kulesi ve kuru tip soğutma kulesi olarak sınıflandırılmaktadır [49].

5.3.7. Baca gazı kükürt arıtma sistemleri

Kömür yakan santrallerde baca gazındaki kükürt dioksiti (SO_2) ayıran tesislere baca gazı kükürt arıtma tesisleri veya baca gazı desülfürizasyon sistemleri denilir. Baca gazı arıtma sistemleri kuru ve ıslak sistemler olmak üzere ikiye ayrılır. Kuru proseslerin avantajları olmasına rağmen yüksek kükürtlü kömürlerde kükürt arıtma verimi yeterli olmadığı için, dünyada ve Türkiye’de en yaygın kullanılan proses ıslak kireç taşı prosesidir. Islak kireç taşı ile kükürt arıtma verimi %95’in üzerindedir [49].

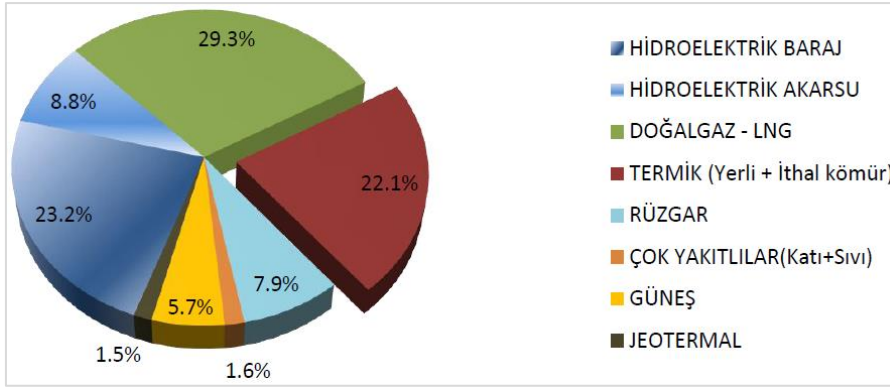
5.3.8. Elektrofiltreler

Termik santrallerdeki kazanda yakılan kömürlerin kül muhtevası yaklaşık olarak %45-50’dir. Yanma sonucu ortaya çıkan uçucu külün çevreye zarar vermemesi için elektrofiltrelerde tutulması ve çevreye salınmaması gerekmektedir. Elektrofiltre sistemin çalışabilmesi için sistemde bulunan elektrotlarda doğru akıma ihtiyaç vardır. Ayrıca baca gazındaki kül yoğunluğuna göre sistemin geriliminin ayarlanabilmesi gerekmektedir. Baca gazı fanının yanma sonucu oluşan külleri çekmesiyle gelen baca gazı elektrofiltrenin içinden geçerken yükleyici ve toplayıcı elektrotlar arasında yüksek doğru akım gerilimi ile iyonize olurlar ve negatif yükle yüklenirler. Pozitif yüklü toplama elektrotları negatif yüklü iyonları çekip üzerinde toplar. Daha sonra silkeleme sistemi ile de pozitif yüklü olan

toplama elektrodu üzerinde toplanan küller elektrofiltre altında bulunan bunkere dökülür [51].

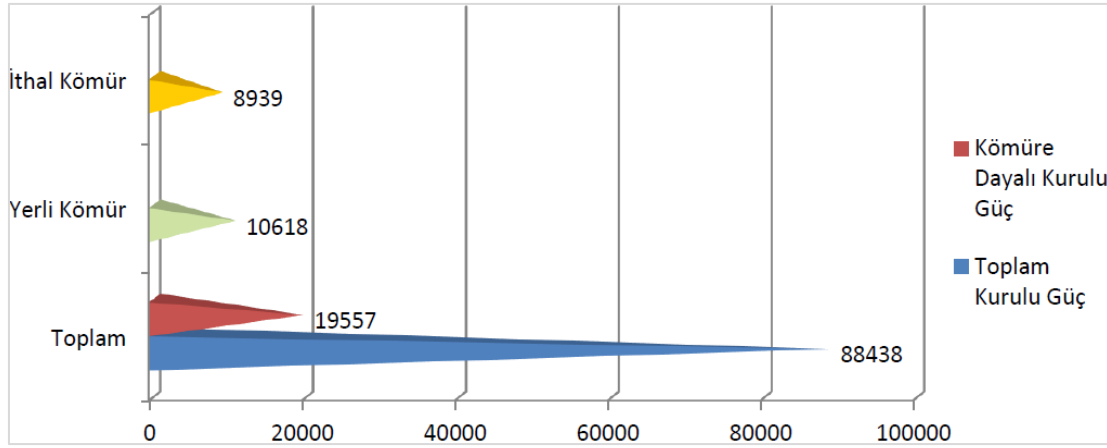
5.4. Kömür Yakıtlı Termik Santrallerde Elektrik Üretimi

Türkiye, 2018 yılı verilerine göre 83185 MW lisanslı ve 5253 MW lisanssız olmak üzere toplamda 88438 MW kurulu güce sahiptir. 2017 yılına göre kurulu güçte %4,4 oranında kapasite artışı gerçekleşmiştir. Kömür yakıtlı termik santrallerin kurulu güç toplamı ise 2017 yılına göre %2 artış göstererek 19557 MW'a yükselmiştir. Kömüre dayalı kurulu güç kapasitesi Türkiye'deki toplam kurulu gücün %22,1'lik kısmını karşılamaktadır (Şekil 5.4) [42].



Şekil 5.4. 2018 Yılı Türkiye elektrik kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı [42]

Yerli kömür yakan termik santrallerin kurulu gücü 2018'de %3,2 artış göstererek 10288 MW'dan 10618 MW'a yükselmiştir. İthal kömür yakan termik santrallerin kurulu gücünde ise çok küçük bir artışla beraber 8936 MW'dan 8939 MW'a yükselmiştir. 2018 verilerine göre yerli kömüre dayalı kurulu gücün toplam kurulu güç içerisindeki payı %12 olurken, ithal kömüre dayalı kurulu gücün toplam kurulu güç içerisindeki payı ise %10,1 olmuştur (Şekil 5.5) [42].

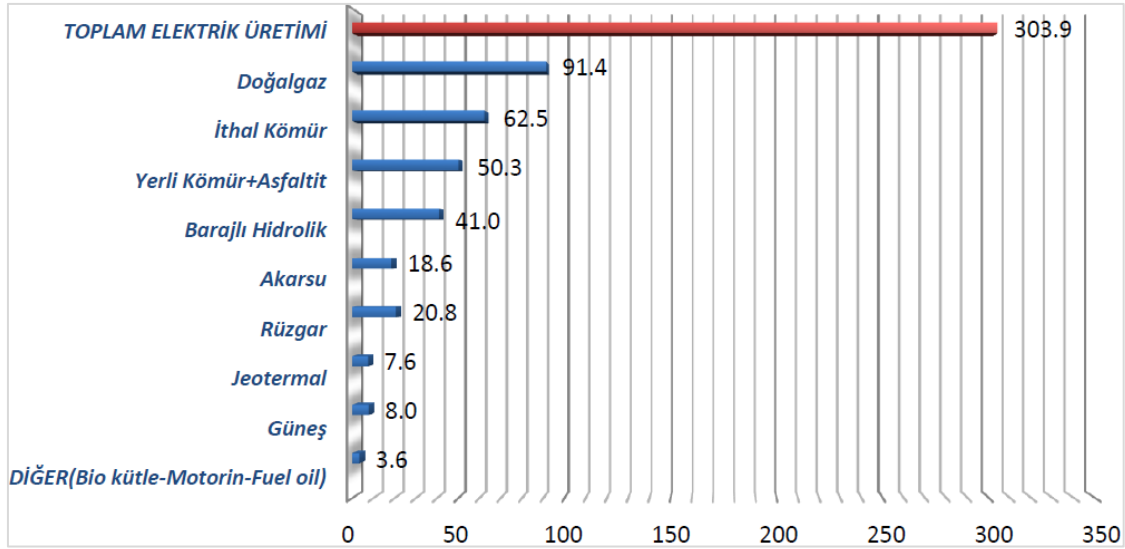


Şekil 5.5. 2018 yılı kömüre dayalı kurulu güç ve toplam kurulu güç (MW) [42]

2018 yılındaki istatistiklere göre Türkiye'nin toplam elektrik üretimi 2017 yılına göre %3,8 artış göstererek 303,9 milyar kWh seviyesine yükselmiştir. Toplam elektrik üretiminin 295,4 milyar kWh'i lisanslı santrallerden elde edilirken 8,5 milyar kWh'lik kısmı ise lisanssız enerji santrallerinden elde edilmiştir. Sonuç olarak da 2018 yılında Türkiye'de yıllık toplam elektrik üretim miktarı yaklaşık 304 milyar kWh seviyesine ulaşmıştır.

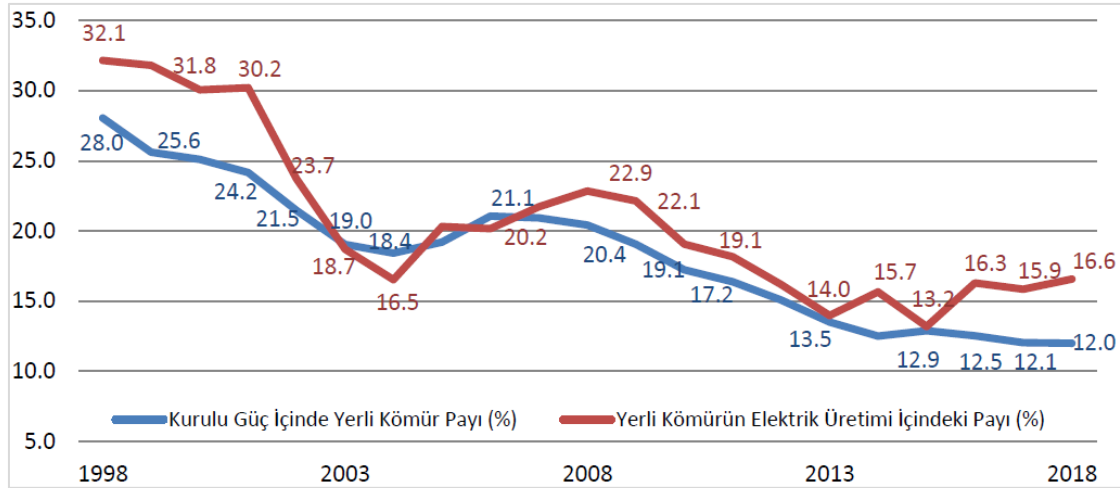
2018'de toplam elektrik üretimi içerisinde kömürün payı 112,8 milyar kWh ve %37,1 olmuştur. Kömür yakıtlı termik santrallerin ürettiği elektrik miktarı 2017 yılına göre %15,5'lik bir artış göstermiştir. Buna karşın doğalgaz yakıtlı termik santrallerin üretimdeki payı 2017'ye göre %7 azalarak 91,4 milyar kWh seviyesine gerilemiştir. Bu seviye ile toplam üretim içerisinde %30'luk payla ikinci sırada yer almıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam üretimdeki payı incelendiğinde ise %31,6 olduğu görülmektedir.

2018 yılında kömüre dayalı elektrik üretiminin toplam üretimdeki payı %37,1 olurken, yerli kömüre dayalı üretim 50,3 milyar kWh ile toplam üretiminin %16,6'lık kısmını oluşturmaktadır. Diğer taraftan, ithal kömüre dayalı elektrik üretimi ise 62,5 milyar kWh ile toplam üretimin %20,5'lik kısmını oluşturmaktadır. Yerli kömüre dayalı elektrik üretimi bir 2017 yılına göre 4 milyar kWh artarak 50,3 milyar kWh'e seviyesine yükselirken ithal kömüre dayalı üretim ise 11 milyar kWh artış göstererek 62,5 milyar kWh seviyesine yükselmiştir (Şekil 5.6).



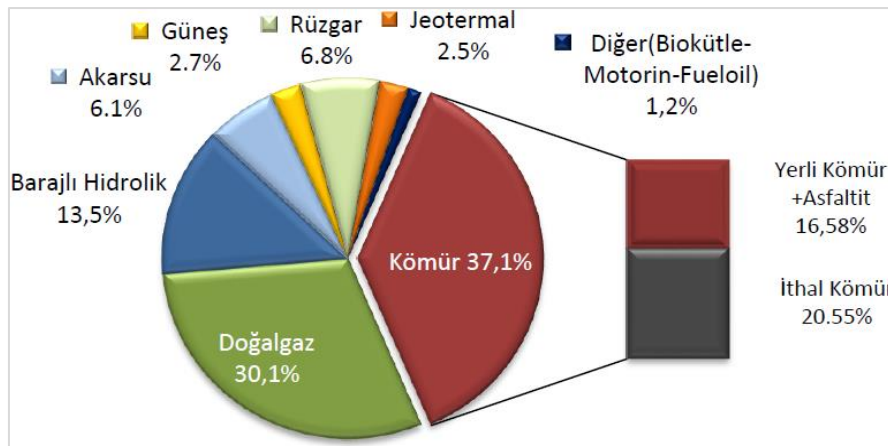
Şekil 5.6. 2018 yılı kaynaklara göre Türkiye elektrik enerjisi üretimi (milyar kWh) [42]

Yerli kömürün Türkiye'deki kurulu gücü 1988-2018 yılları arasında düşüş göstermiştir. 1986 yılında toplam kurulu güç içerisindeki payı %37,3 iken 2004 yılındaki kurulu güç içerisindeki payı %18,4 seviyelerine kadar gerilemiştir. 2005 ve 2006 yıllarında devreye alınan Çanakkale Çan ve Afşin-Elbistan B santralleri ile bu oran %21 seviyesine kadar yükselmiştir. Daha sonra herhangi bir yeni termik santralin devreye alınmaması ve diğer enerji kaynaklarından üretim yapan santrallerin kurulu gücünün artması gibi nedenlerden dolayı 2013 yılında yerli kömürün kurulu güç içindeki payı %13,5 olmuştur. 2014 yılındaki yerli kömürün toplam kurulu güç içerisindeki payı ise %12,5 seviyelerine düşmüştür. 2015 yılında, Adana ve Bolu'da devreye alınan iki yeni termik santral ile yerli kömüre dayalı santrallerin toplam kurulu güç içerisindeki payı %12,9 düzeyine yükselebilmektedir. 2018 yılı sonu itibarıyla ise yerli kömürün kurulu güç içindeki payı %12 seviyesindedir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. 2018 yılı yerli kömürün kurulu güç ve brüt elektrik üretimi içindeki payı [42]

Brüt elektrik üretimi içindeki yerli kömür payı 2004 yılına kadar düşüş seyri izlemiş ardından 2004-2008 yılları arasında bir miktar artış göstererek %16,5 seviyesinden %23 seviyelerine tırmanmıştır. 2008-2015 yılları arasında yeniden düşüş eğilimine girerek %13 seviyelerine düşen yerli kömürün elektrik üretimindeki payı 2015 yıldan itibaren tekrar artış göstermiş ve 2018 yılında %16,6 seviyesine çıkmıştır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. 2018 yılı elektrik üretimi içinde kaynakların payı [42]

Her ne kadar yerli kömürün elektrik üretimindeki payı yıllar itibariyle düşüş göstermiş olsa da ülkemizin büyümesine ve sanayileşmesine bağlı artan enerji ihtiyacına paralel olarak ülkemiz elektrik kurulu gücü ve üretim miktarı son 30 yılda yaklaşık 8 kat artarak 2018 sonu itibariyle 10000 MW seviyelerinden 88438 MW kurulu güce ve 40 milyar kWh üretim seviyelerinden 304 Milyar kWh elektrik enerjisi üretimine ulaşmıştır. Aynı dönem içinde yerli kömürün kurulu güçteki payı 4000 MW seviyelerinden 10618 MW'a elektrik

üretimindeki payı ise yıllık 20 milyar kWh den 50 milyar kWh'e çıkmıştır. Özet olarak son 30 yılda toplam kurulu güç ve elektrik üretimi 8 kat artarken yerli kömüre dayalı kurulu güç ve elektrik üretim miktarı 2,5 kat artış göstermiştir. 2018 yılında yerli kömürden üretilen elektrik enerjisi miktarı her ne kadar %12 seviyelerine gerilemiş olsa da 2018 yılında yerli kömürden üretilen 50 milyar kWh elektrik 1990'ların başındaki Türkiye'nin toplam yıllık elektrik üretimine eşittir [42].

Türkiye'de yerli kömüre dayalı elektrik üretimi yapan 39 adet termik santral bulunmaktadır. Bu santrallerin 19 adedinin kurulu gücü 100 MW'ın üzerinde olup, diğerleri küçük kapasiteli otoprodüktör santrallerden oluşmaktadır. 1 adet taşkömürü ve 1 adet asfaltit santralinin dışındakilerinin tamamı linyit yakıtlı termik santrallerdir. 2018 yılı verilerine göre yerli kömüre dayalı işletmedeki kurulu güç 10618 MW'ı kapasitesindedir. İthal kömüre dayalı kurulu güç ise 8939 MW seviyesindedir [42]. Çizelge 5.1'de ve 5.2'de Türkiye'de bulunan kömüre dayalı büyük ölçekli termik santrallerin listesi verilmiştir.

Çizelge 5.1. İşletmedeki ithal kömüre dayalı termik santraller [42]

Santral Adı	Yeri	Kurulu Gücü (MWe)	Açıklama
İskenderun İthal Kömür Santrali	Adana-Yumurtalık	1.308	İşletmede
Cenal Termik Enerji Santrali	Çanakkale - Biga	1.320	İşletmede
İçdaş Biga Termik Santrali	Çanakkale - Biga	405	İşletmede
İçdaş Elektrik Enerjisi Ürt. ve Yat. AŞ	Çanakkale - Biga	1.200	İşletmede
Çolakoğlu-2 Termik Santrali	Kocaeli - Gebze	190	İşletmede
Eren Enerji Çatalağzı Termik Santrali	Zonguldak - Çatalağzı	2.790	İşletmede
İzdemir Enerji Termik Santrali	İzmir - Aliağa	350	İşletmede
Atlas Termik Santrali	Hatay - İskenderun	1.200	İşletmede
Kahramanmaraş İthal Kömür Santrali	Kahramanmaraş - Merkez	15,7	İşletmede
Albayrak TES	Balıkesir - Merkez	40	İşletmede
Kipaş Kağıt San. A.Ş.	Kahramanmaraş-Türkoğlu	7,6	İşletmede
Diğer		112,7	
GENEL TOPLAM		8.939	

Çizelge 5.2. İşletmedeki yerli kömüre dayalı termik santraller [42]

Santralin Adı	Mülkiyeti	Kömür Sahası	Yakıt	Kurulu Güç (MW)
Çanakkale Çan	EÜAŞ	TKİ	Linyit	320
Çanakkale Çan 2	ODAŞ	TKİ	Linyit	330
Orhaneli	Çelikler	Çelikler (İHD)	Linyit	210
Soma	Konya Şeker	TKİ	Linyit	990
Seyitömer	Çelikler	Çelikler (İHD)	Linyit	600
Tunçbilek	Çelikler	TKİ	Linyit	365
Yatağan	Bereket Elsan	Bereket Elsan (İHD)	Linyit	630
Yeniköy	İC İçtaş	İC İçtaş (İHD)	Linyit	420
Kemerköy	İC İçtaş	İC İçtaş (İHD)	Linyit	630
Afşin-Elbistan A	Çelikler	EÜAŞ	Linyit	1.355
Afşin-Elbistan B	EÜAŞ	EÜAŞ	Linyit	1.440
Kangal	Konya Şeker	Konya Şeker (İHD)	Linyit	457
Çayırhan	Park (İHD)	EÜAŞ	Linyit	620
Bolu Göynük	AKSA	TKİ	Linyit	270
Adana Tufanbeyli	Enerjisa	Enerjisa	Linyit	450
Çatalağzı	Bereket Elsan	TTK	Taşkömürü	300
Silopi	Silopi Elk.(Ciner)	TKİ	Asfaltit	405
Yunusemre TES	TMSF		Linyit	290
Diğer Küçük Santraller Toplamı				536
GENEL TOPLAM				10.618

6. KÖMÜR KURUTMA TEKNİKLERİ

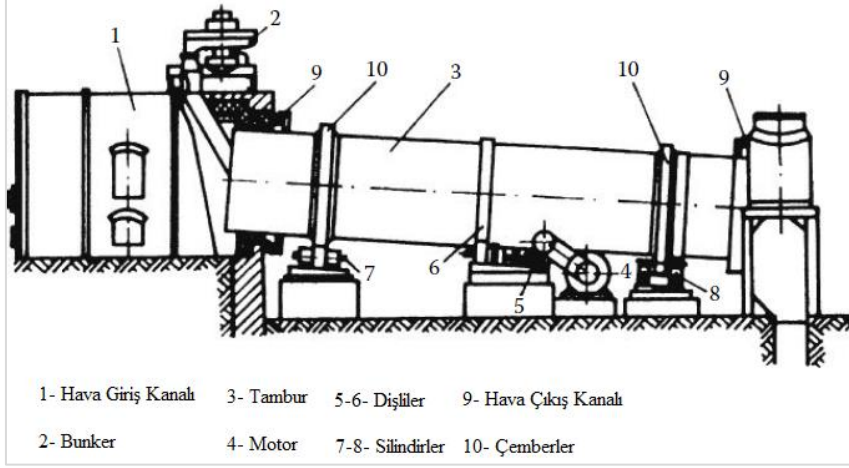
Düşük kaliteli kömürün kurutulması, kalorifik değerini arttırmak ve taşınmasını kolaylaştırmak için gerekmektedir. Kömürdeki nemin varlığı kömürün gevrekliğinde bir azalmaya neden olmakta ve harmanlama işlemlerini kontrol etmeyi zorlaştırmaktadır. Öğütme kalitesini kötüleştirerek toz haline getirilmiş kömürün pnömatik taşınmasını engellemektedir. Modern buhar kazanlarında yanmaya uygun gevrek kömür, sadece nemli kömür kurutulduğunda elde edilebilmektedir. Kömür ayrıca briketleme, koklaştırma, gazlaştırma, düşük sıcaklıkta karbonizasyon ve sıvı yakıt sentezi gibi işlemler için de kurutulmalıdır.

Kömürün bünyesinde yüzey nemi veya higroskopik nem bulunmaktadır. Yüzey nemi kömür türüne bağlı değildir, çünkü kömür madeninde yapılan yıkama işlemlerine, nakliye ve depolama sırasında ıslatma işlemine bağlıdır. Yüzey nemi, ilk kurutma prosesinde sabit bir kurutma hızında gerçekleşmektedir. Higroskopik nem ise kömürün kalitesine bağlıdır; kömürün yaşıyla birlikte azalmaktadır. Higroskopik nemin buharlaşması, ikinci kurutma prosesinde düşen bir kurutma hızında gerçekleşmektedir. Kömür kurutması için hem doğrudan hem de dolaylı kurutucular kullanılmaktadır. Kurutma ortamı olarak yanma gazları veya buhar kullanılmaktadır. Buharla kurutma, esas olarak kömür briketleme işleminde düşük kaliteli kömürlerin kurutulması için kullanılmaktadır.

6.1. Döner Kurutucular

Birçok endüstriyel tesiste, döner kurutucular kömür ve kömür çamurlarının kurutulması için kullanılmaktadır. Genellikle bu kurutucular tutuşma olasılığını önlemek için eşzamanlı olarak çalışmaktadır. Kurutma ortamı sıcak havadan, doğal gaz veya kömür yanmasıyla oluşan yanma gazlarından oluşmaktadır. Tipik bir döner kurutucu Şekil 6.2’de şematik olarak gösterilmiştir. Bu kurutucunun ana bileşeni, ateşe dayanıklı bir astar ile kaplanmış ve dış gövde üzerine yerleştirilmiş çemberler (10) vasıtasıyla silindirler (7-8) üzerine bulunan çelik tamburdur (3). Kurutma işlemini gerçekleştirildiği tambur motor (4) ve dişliler (5-6) kullanılarak döndürülür. Kurutma için gerekli hava giriş kanalından (1) kurutucuya girerken kömür bunkerden (2) kurutucuya aktarılır. Kurutma havası sistemi kanaldan terk eder (9). Tambur yatayla 2°–5° eğim yaparak konumlandırılır. Tamburun iç yüzeyine tutturulmuş kanatlar bulunmaktadır. Kurutma işlemi sırasında, bu kanatlar kömür

granüllerini kaldırır ve gelen kurutma gazının akışında tamburun içinde yavaş yavaş hareket etmesini sağlar [52].



Şekil 6.1. Döner kurutucu şeması

Kömür kurutma için tipik döner tamburlu kurutucular aşağıdaki boyutlardadır:

- Tambur çapı: 1,5–3,5 m
- Tambur uzunluğu: 12–30 m veya daha fazladır

Bu tür kurutuculardaki ısı tüketimi yaklaşık 3700 kJ / kg H₂O'dur. Kuruma süresi tambur içindeki kömürün hacimsel oranın 0,15-0,25'lik olduğunda yaklaşık 15-40 dakikadır.

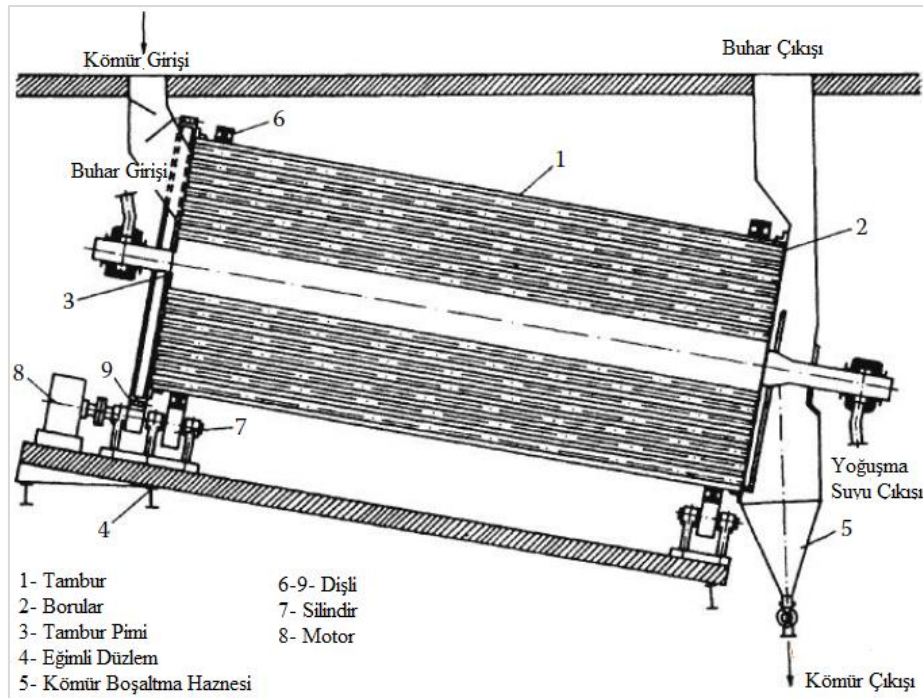
6.2. Döner Borulu Kurutucular

Döner borulu kurutucular, kahverengi kömür briketleme tesislerinde kömür kurutması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Sert kömürlerin kurutulması için de kullanılırlar. Bu kurutucular, 0,15-0,55 MPa basınçlarda doymuş buharla ısıtılan dolaylı kurutuculardır. Bu kurutucu (Şekil 6.2), aynalarda yaklaşık 102-108 mm çaplarında kendilerine tutturulmuş (2) dikişsiz borulara sahip olduğu bir eğimli tamburdan (1) oluşur. Kurutucu gövde özel dişli halkalar (6) ve silindirler (7) üzerinde döner ve bir dişli çark (9) vasıtasıyla iletilen güç motor (8) tarafından tahrik edilir. Isıtma buharı tambura pimden (3) girer. Nemli kömür, ısıtma borularının içine beslenir. Eğim ve dönüşün bir sonucu olarak, kömür girişten çıkışa doğru ısıtma borularında kademeli olarak yer değiştirir. Isıtma borularında kömürün yer değiştirmesini kontrol eden kılavuzlar bulunmaktadır. Borulara takılan

değişken kılavuzlar, kömürün borularda çok hızlı yer değiştirmesini önler. Kurutulmuş kömür, boşaltma kısmının (5) altında toplanır. Buhar kondensatı ise, tamburun alt ucuna yerleştirilmiş bir pimle boşaltılır [52].

Döner borulu kurutucular için bazı teknik veriler aşağıdaki gibidir:

- Çap $D = 2500, 2800, 3130, 3350, 3750$ ve 4000 mm
- Tambur uzunluğu $L = 7-8$ m
- Tamburun eğim açısı $\alpha \cong 8^\circ$
- Dönme hızı $n = 5-9$ rpm
- Ünite açıkta kalan yüzey başına kurutma oranı $NF = 5,4-8 \text{ kg} / \text{m}^2\text{s}$
- Buhar çıkış sıcaklığı, 90°C
- Kömür çıkış sıcaklığı, 80°C
- Isı enerjisi tüketimi, $2950-3100 \text{ kJ} / \text{kg H}_2\text{O}$
- Kömürün kurutulmasında kullanılan buhardaki toz içeriği, $\sim 25 \text{ g} / \text{m}^3$



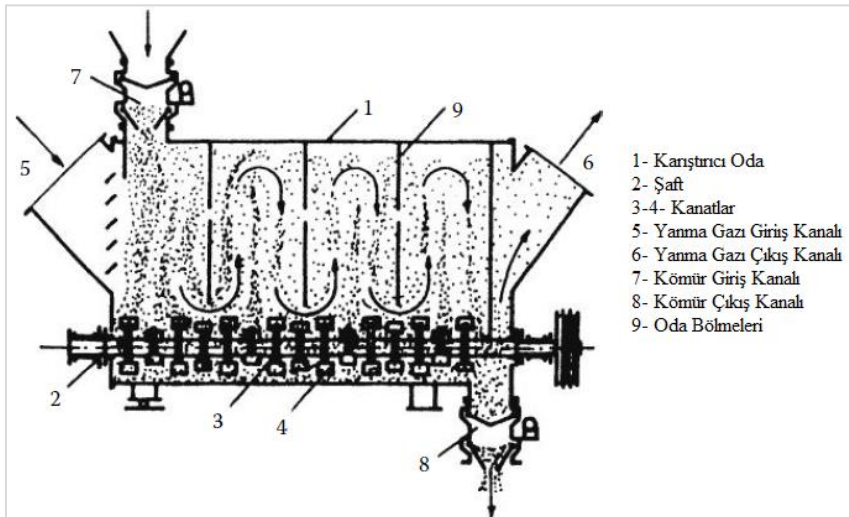
Şekil 6.2. Döner borulu tambur kurutucu [52]

6.3. Karıştırıcı Oda Kurutucuları

Karıştırıcılarla donatılmış hazneli kurutucular genellikle ince taneli kömürlerin kurutulması için kullanılır (Şekil 6.3). Kurutucuya geniş bir kanaldan (5) sıcak yanma gazları giriş yaparken, başka bir kanaldan da (7) kurutulacak nemli kömür kurutucuya girer. Kurutucu, bölmeler (9) ile donatılmış bir odadan (1) ve kanatların monte edildiği (3,4) zıt yönlerde dönen iki şafttan (2) oluşur. Kanaldan (7) kurutucuya aktarılan nemli kömür, girişten çıkışa (8) karıştırıcılar (3,4) tarafından kaldırılır ve atılır. Karıştırıcı kürekler (3,4) sinterlenmiş kömürü kırmak için de kullanılır. Kurutmada kullanılan nemli havada kanaldan (6) çıkarak kurutucuyu terk eder [52].

Bazı teknik veriler aşağıdaki gibidir:

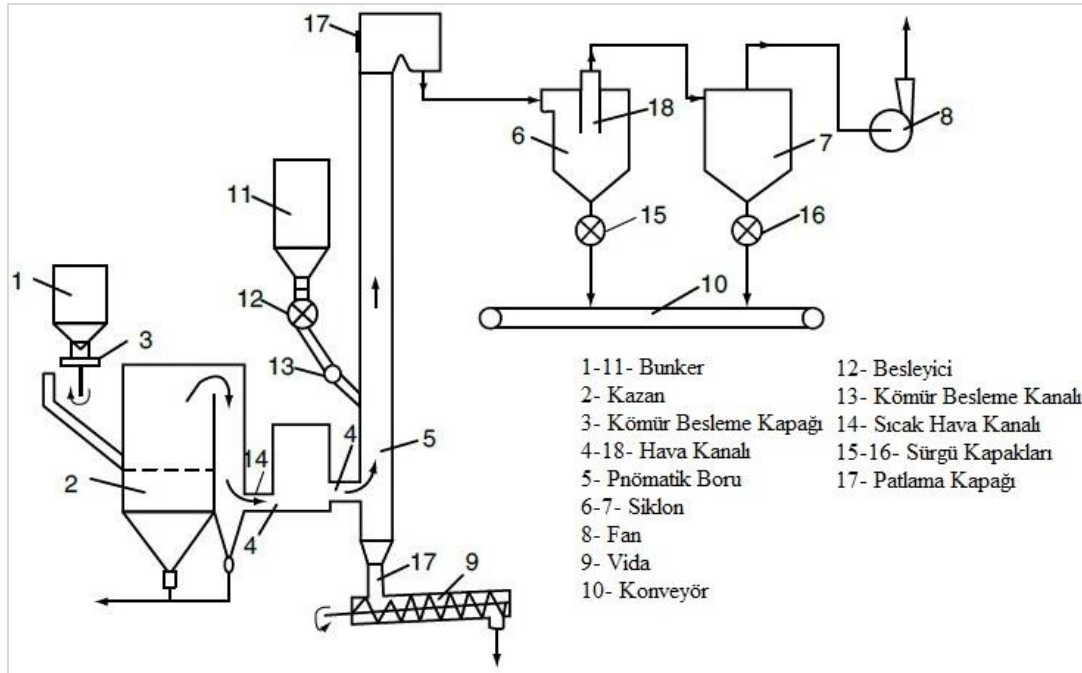
- Girişteki yanma gazı sıcaklığı, 700 °C
- Çıkışta yanma gazı sıcaklığı, 110 °C
- Hazne genişliği, 2000–2400 mm
- Hazne uzunluğu, 2000–3400 mm
- Birim hacim başına kurutma oranı, $N_v = 600\text{--}750 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{m}^3 \cdot \text{h}$
- Girişte kömür nemi içeriği, % 18 -% 22
- Çıkışta kömür nem içeriği, % 8.5
- Isı enerjisi tüketimi, $\sim 3150 \text{ kJ} / \text{kg H}_2\text{O}$
- Milin dönme hızı, 7-10 rpm



Şekil 6.3. Karıştırıcı odalı kurutucu [52]

6.4. Pnömatik Kurutucular

Sıcak hava ile ince taneli malzemelerin karıştırılıp bir sistem içerisinde dolaştırılmasıyla malzemelerin kurutulması esasına dayanan kurutuculardır. Hızlı kurutma yetenekleri ile bilinen kurutuculardır. Ayrıca ince taneli malzemelerin kurutulması için en uygun kurutma yöntemi olarak bilinmektedir. Pnömatik kurutucular, kömür kurutma işlemlerinde yaygın bir şekilde kullanılır. Kurutucunun en temel bileşeni, 650-1100 mm çapında ve 14-35 m uzunluğundaki aşağıdan yukarıya sıcak kurutma havasının (yanma gazları ya da havanın) aktığı dikey tüptür. Kömür parçacıkları, kurutulmak için kurutma gazları ile kaldırılarak aşağıdan yukarıya doğru hareket ettirilir. Pnömatik hareket esnasında kömür taneleri ısıtılır ve kurutulur. Kurutucudaki, kurutma gazlarının hızı kömürün tanecik büyüklüğüne bağlıdır. Bu hız pratikte 10-40 m/s arasında değişmektedir. Ticari bir kurutucuda, altta dikey kurutma tüpüne bağlı dağıtıcı, besleme haznesinden alınan nemli topak kömürünü ezmek ve kurutmak için sistemde bulunmaktadır. Kurutucu sıcak gaz, parçalayıcıya girer ve nemli kömürle temas eder. Nemli kömür sıcak gaz ile temas edip karışır ve kuruması hızlanmaya başlar. Pnömatik kurutucuların dağıtıcılarında, genellikle nemin %50'ye yakını uzaklaştırılır. En yoğun kurutma, kurutucunun ilk 2 ila 3 m'sinde gerçekleşir [52].



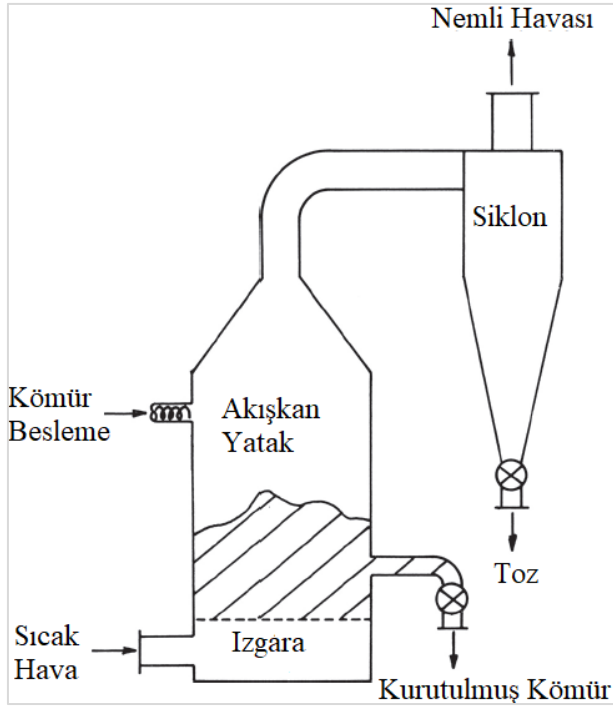
Şekil 6.4. Pnömatik kurutucu şeması

Kurutucu girişindeki ısıtma ortamı sıcaklığı 550-700 °C'dir ve çıkışta 70-170 °C'dir. Kömürün başlangıç nemi genellikle %10-15 iken, kurutma sonrasında %4-6'dır. Şekil 6.4'te klasik bir pnömatik kurutucunun şeması görülmektedir. Bunkerden (11) nemli kömür besleyici (12) ile kazanda (2) yakıt yanmasından elde edilen yanma gazı akımı ile taşındığı kaldırma borusuna (5) beslenir. Kurutma, tüpte gerçekleşir, bundan sonra kömür siklon (6) içindeki yanma gazlarından ve daha sonra bir siklon serisi (7) içinde ayrılır. Sistemde negatif basınç, bir fan (8) tarafından üretilir. Kurutulmuş ve ayrılmış kömür, siklonların (6 ve 7) alt contaları olan sürgü kapakları (15, 16) vasıtasıyla konveyöre (10) yönlendirilir. Daha ağır kömür partikülleri kaldırma borusudan (5) düşer, vidanın (9) içinden kurutulmuş kömür konveyörüne (10) yönlendirilir. Sistem patlama kapakları (17) ile donatılmıştır.

6.5. Akışkan Yataklı Kurutucular

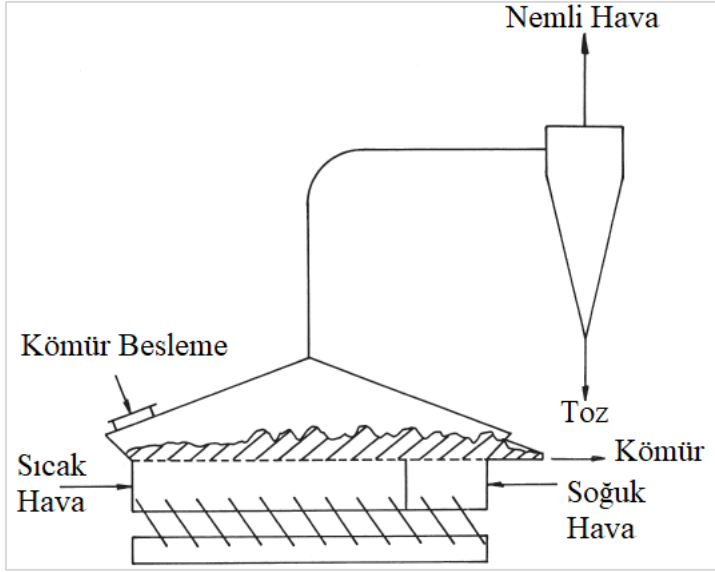
Akışkan yataklı kurutucular esasen içinde nemli kömür parçacıklarının sürekli beslenmesi ile kömürü akışkan halde tutmak için üflenerek sıcak hava ile temas ettirilerek kurutulduğu ekipmanlardır. Kurutma prosesi akışkanlaştırmaya bağlı olduğundan, beslemenin nem içeriği normalde pnömatik kurutucularda ve döner kurutucularda kullanılanlardan daha düşüktür.

İki tip akışkan yataklı kurutucu bulunmaktadır: derin yataklı dairesel tip ve dikdörtgen yataklı tip. Bu kurutucular yüksek hava giriş sıcaklığıyla (örn. 800 °C) ile birlikte kömür, kireçtaşı, yüksek fırın cürufu ve benzeri malzemeleri kurutmak için kullanılırlar. Ekipman titreşimsizdir ve akışkan yatak, sürekli karıştırılan reaktörünün özelliklerine sahiptir. Kurutucunun içerisi kuru olduğu için kireçlenme kabuklanma gibi olayların olasılığının az olmasıdır. Cihazın ölçeklendirilmesinde de herhangi bir kısıtlama yoktur. Fan yatağı akışkanlaştırmak için kullanıldığından dolayı elektrik tüketiminin yüksek olmasına rağmen, sistemin yaygın olarak kullanılmasının başlıca nedenlerinden biri basitliğidir (Şekil 6.5) [53].



Şekil 6.5. Derin yataklı daire kesitli akışkan yataklı kurutucu [53]

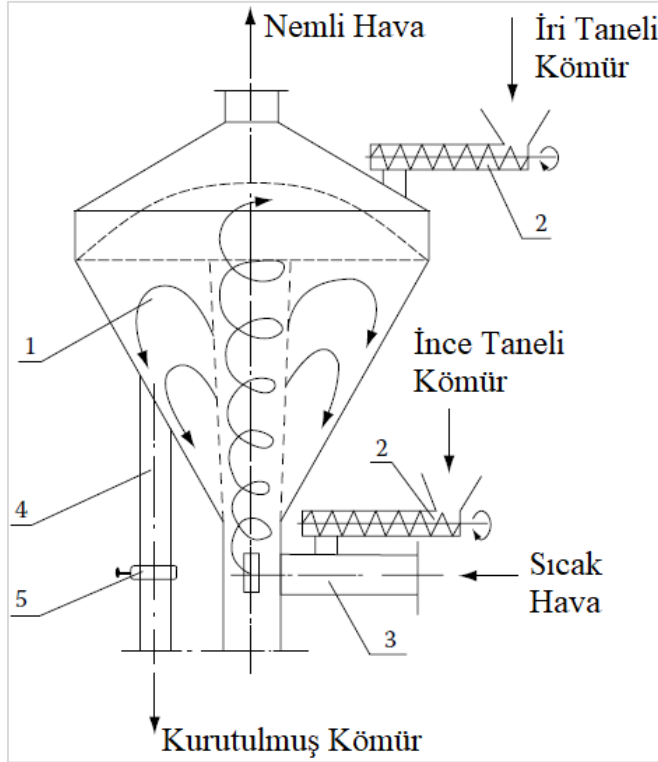
Dikdörtgen akışkan yataklı kurutucunun çalışma Şekil 6.6'da gösterilmektedir. Genellikle, kurutucu küçük bir yatak yüksekliğine sahiptir ve bu da tıkaç akış karakteristiğine neden olur. Nemli malzemenin besleme girişinin yakınında akışkanlaştırılmasını sağlamak kolay değildir. Bunun için de çeşitli modifikasyonlar yapılabilir: (1) besleme bölümünde daha fazla hava, (2) üflenmiş havayı bir taşıma etkisi yaratacak şekilde yönlendirmek ve (3) kurutucunun titreşimi. İkinci seçenek, ekipmanın birçok partikül malzeme türü için kullanılabilen titreşimli konveyörlerden geliştirildiği ve dolayısıyla çok çeşitli partikül boyutlarına uygulanabildiği için mevcuttur. Üçüncü seçenek olan titreşim akışkanlaşmaya yardımcı olur, hava beslemesinden bağımsız olarak kömürün taşınmasını korur, kabukların oluşmasını önler ve ısı ve kütle transferinin gelişmesine yardımcı olur. Titreşimli kurutucu için maksimum sıcaklık yaklaşık 300 °C iken, hava sıcaklığı sabit kurutucu için 800 °C'dir [53]. Derin yataklı dikdörtgen kurutucular kayda değer geri karıştırma sergiler, bu nedenle besleme bölümünde kabuklanma eğilimini azaltan ve titreşimi gereksiz hale getiren nispeten kuru malzeme zaten bulunabilmektedir.



Şekil 6.6. Dikdörtgen kesitli akışkan yataklı kurutucu (titreşimli) [53]

6.6. Oluklu Yatak Kurutucular

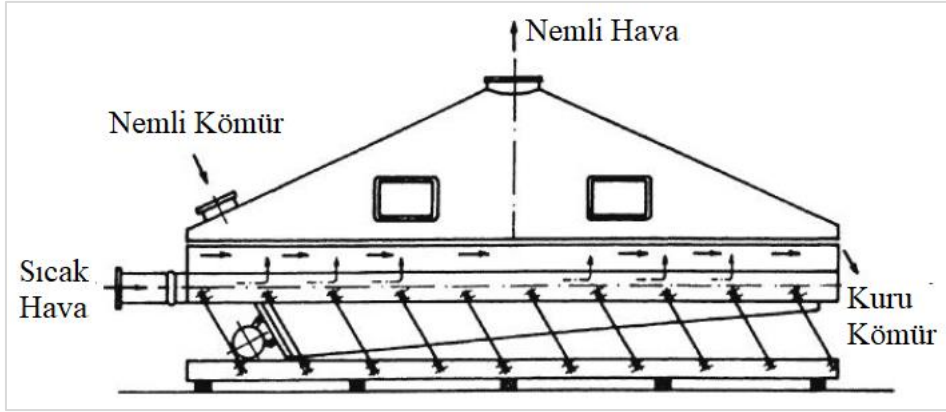
Son yıllarda, merkezi oluklu kanala sahip akışkan yataklı kurutucular kömürün kurutulması için popüler hale gelmiştir. Çeşme yatağı konik silindirik bir aparatta elde edilir. Kurutucuya hava kanalı (3) ile beslenen sıcak gaz, vida (2) ile beslenen kömür tanelerini taşır ve yukarı doğru hareket ettirir (Şekil 6.7). Kaldırılan kömür taneleri kanaldan çıktıktan sonra kenara düşer ve konik yapı boyunca aşağı doğru hareket eder.



Şekil 6.7. Oluklu Yatak Kurutucu [52]

6.7. Titreşimli Kurutucular

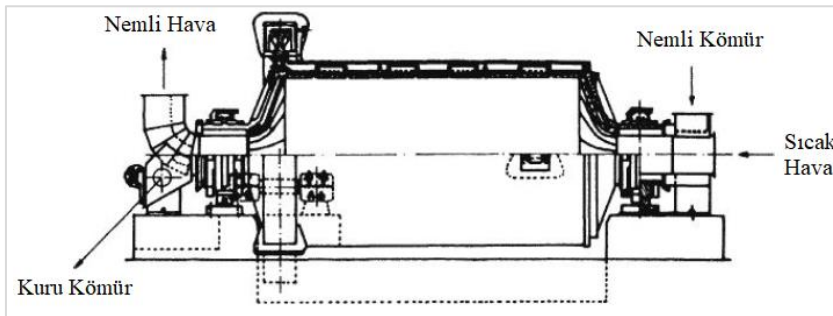
Titreşimli kurutucular, özellikle kömürün taşınması veya oranlama işlemlerini kurutma işlemiyle birleştirmek gerekirse, sert ve kahverengi kömürleri kurutmak için kullanılır. Kurutma, titreşen kömür tabakasından geçen sıcak hava veya yanma gazları ile gerçekleştirilir. Kurutulacak kömür, bir elektromanyetik osilatör tarafından salınan delikli oluğa yönlendirilir (Şekil 6.8). Oluk, yaklaşık 1–5°'lik bir açıda yataya eğimlidir. Oluk eğimi nedeniyle, kömür oluğun eğimine ve titreşim genliği ve frekansına bağlı bir hız ile taşınır. $F = 50$ ve 100 Hz frekansında ve genlik $x = 0.05-3$ mm'de bir elektromanyetik vibratör için kömürün taşıma hızı $0.01-0.3$ m/s'dir. Bu tip üniteler kömürü soğutmak için de kullanılabilir. Titreşimli kurutucularda, kurutma ortamının daha iyi kullanılmasının bir sonucu olarak ısı gereksinimi çok daha düşüktür [52].



Şekil 6.8. Titreşimli kurutucu

6.8. Değirmen Tipi Kurutucular

Değirmen tipi kurutucular kömür için sadece öğütme ve kurutma işlemlerinin birleştirilmesi gerektiği durumlarda kullanılır. Değirmen tipi kurutucular genellikle toz haline getirilmiş kömür yakan buhar kazanlı enerji santrallerinde kullanılır. Şekil 6.9, kömürün kırıldığı ve kısmen öğütüldüğü bir değirmen tipi bir kurutucuyu göstermektedir. Kurutucu, her iki ucuna koni konulmuş yatay bir tamburdan oluşur. Tamburun içi bazalt, dökme demir, karbon veya manganez dökme çeliği (% 14 Mn) gibi koruyucu astarla ile kaplanmıştır.



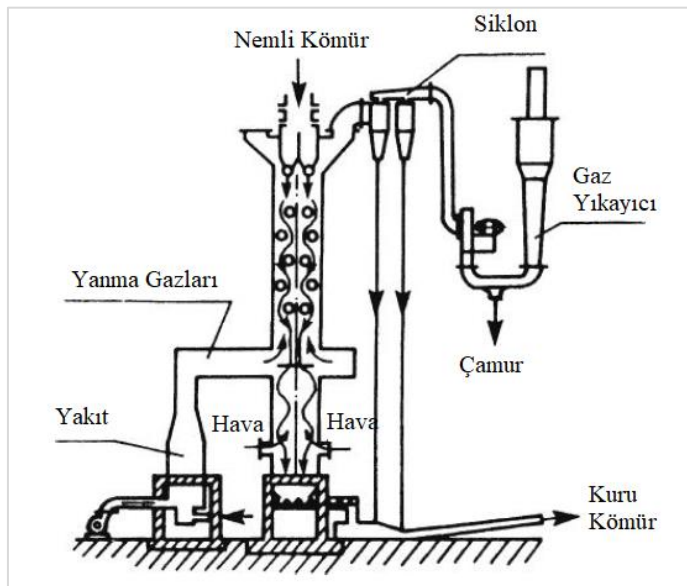
Şekil 6.9. Değirmen tipi kurutucu [52]

Tambur kurutma için küçük bilyelerle doldurulur (çap 30–80 mm). Tamburun doldurma oranı tipik olarak %14 ila %30'dur. Tesisin dolum oranının kömür öğütme kalitesi ve kapasitesi üzerinde belirleyici bir etkisi vardır. Toplar, yüksek sertlik ve dayanıklılık elde etmek için sertleştirilmiş manganez veya karbon çelikten yapılmıştır. Yumuşak kömürler için top tüketimi 80-100 g/Mg'dır ve sert kömürler için 800 g/Mg'a kadar ulaşabilir. Kurutucu gövdesi 2-3 m çapında ve 3-5 m uzunluğundadır. Tamburun dönüş hızı 16-30

rpm'dir. Öğütme için, elektrik tüketimi kahverengi kömürler için 7 kWh/Mg iken antrasit için 30 kWh/Mg'a kadar geniş bir aralıkta değişmektedir. Değirmen tipi kurutucularda kömür öğütme, fan tarafından tüketilen ek elektrik enerjisi (5-10 kWh/Mg) gerektirir. Kömür, pimlerden biri aracılığıyla değirmene beslenir; sıcak hava veya yanma gazları formundaki ısıtma ortamı da aynı pim yoluyla beslenir. Tamburun dönme hareketi, tambur duvarının yakınındaki topların tambur çapının yaklaşık dörtte üçüne kadar hareket etmesine neden olur. Düşen toplar kömürü kırıp kısmen öğütür. Kazana verilen sıcak hava veya yanma gazları aynı anda bilyeleri ve kömürü ısıtır ve kömürü kurutur [52].

6.9. Şaft Kurutucular

Kok fırınlarına beslenen kömürün kurutulması için tasarlanmış şaft kurutucu şematik olarak Şekil 6.10'da gösterilmektedir. Bu kurutucu dikdörtgen kesitli iki dikey şafttan oluşur. Kanatlar ile donatılmış bu döner miller, kömürü karıştırarak aşağı doğru taşımak için tasarlanmıştır. Kurutma makinesinin iki bölgesi vardır, bir kurutma bölgesi ve bir soğutma bölgesi. Yanma odasında üretilen yanma gazları, şafttan aşağıya doğru hareket eden nemli kömürle temas ettikleri iki dikey şaftta akar. Soğutma, şaftın alt kısmına beslenen ortam havası ile sağlanır. Yanma gazı 650 °C'dedir ve soğutma bölgesinden çıkan hava ile karıştırıldıktan sonra sıcaklığı 250–300 °C'ye düşmektedir. Kurutucu çıkışında, egzoz gazı sıcaklığı 60-70 °C'dir. Bu tip kurutucuda, basınç düşüşü yaklaşık 700 Pa'dır [52].

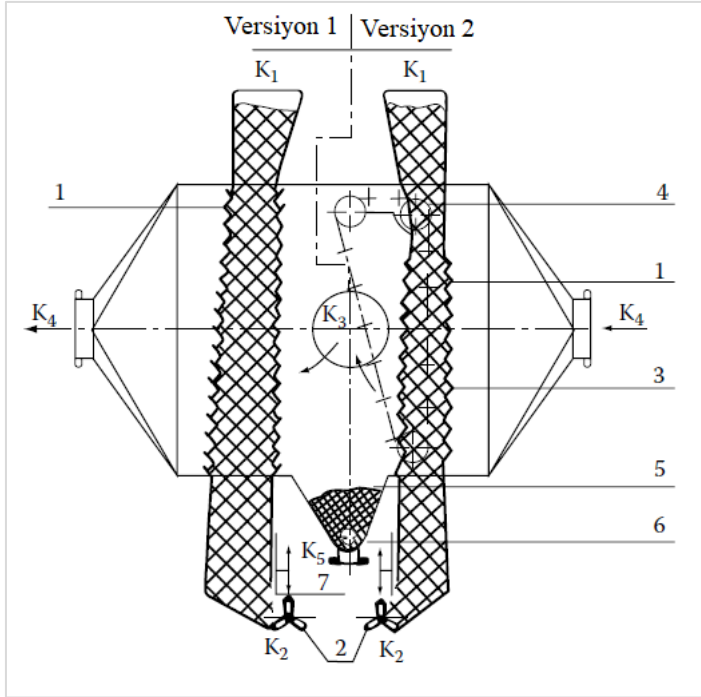


Şekil 6.10. Şaft kurutucu [52]

6.10. Hareketli Yataklı Kurutucular

Şaft kurutucunun bir modifikasyonu olan hareketli yataklı kurutucular kömür ve hızlı kokun kurutulması için kullanılan hareketli bir yatağa sahip konveksiyonel kurutucudur (Şekil 6.11). Bu kurutucunun belirli avantajları, yüksek gözenekliliğe ve güçlü aşındırıcı özelliklere sahip hızlı kok kurutulurken gözlenmektedir. Bu özellikler akışkan yataklı kurutucular, oluklu yatak kurutucular ve döner kurutucuların kullanımını önemli ölçüde engel teşkil etmektedir. Nemli kömür veya hızlı kok, K1 borusu tarafından kurutucuya yönlendirilir ve panjur duvarları (1) arasında geçişten sonra ve kuruduktan sonra, bir besleyici (2) vasıtasıyla K2 borusu ile sokulur. Versiyon 1, hızlı kokun kurutulması için kullanılan yatağın yerçekimi destekli hareketine sahip bir kurutucuyu temsil etmektedir.

Öğütülmüş kömürün kurutulması için kullanılan versiyon 2, raf taşıyıcı (3) vasıtasıyla yatağın hareketine sahiptir. Sıcak yanma gazları veya hava giriş bölmesine K3 saplama borusu ile verildikten ve yataktan geçtikten sonra kurutucuyu K4 saplama borusuyla terk eder. Kurutucunun kapasitesi besleyicilerin (2) hızını değiştirmenin yanı sıra K2 saplama borularının çapının değiştirilmesi ile kontrol edilir. Bu kurutucunun temel avantajı, kompakt yapısı ve basit tasarımı ile tam otomasyon ile çalışmasıdır. Partiküllerin yataktan taşınmasını en aza indirmek için akış hızını seçmek mümkündür; birçok durumda bu, herhangi bir tozdan arındırma ekipmanını ortadan kaldırmaya izin vermektedir. Buhar kazanlarından çıkan düşük sıcaklıktaki (150-200 °C) atık yanma gazları kurutma ortamı olarak kullanılabilir. Düşük sıcaklıkta çalışma tutuşma tehlikesini büyük ölçüde azaltır. Ayrıca, birim hacim başına kurutma oranı çok yüksektir, 200 °C giriş hava sıcaklığında yaklaşık 0,2 kg/m³'s'dir. Karşılaştırma için, döner ve pnömatik kurutucular için bu değer, sırasıyla yaklaşık 0,014 ve 0,14 kg / m²'s'dir. Döner, pnömatik ve akışkan yataklı kurutucular çok daha yüksek sıcaklıklarda (400-800 °C) çalıştırılır. Kömür yatağının düşük hareket hızı (yaklaşık 1 mm/s), kurutma duvarlarının aşınmasını önemli ölçüde azaltır. Isı tüketimi 2800-3500 kJ/kg H₂O'dur. Kuruma süresi, hareketli yatak kurutucusunun hesaplanması için anahtar tasarım parametresidir. Kuruma süresi, kurutucudaki kalış süresine eşittir. Bu nedenle, kuruma süresinin, kurutucudaki yatağın hızı üzerinde önemli bir etkisi vardır [52].

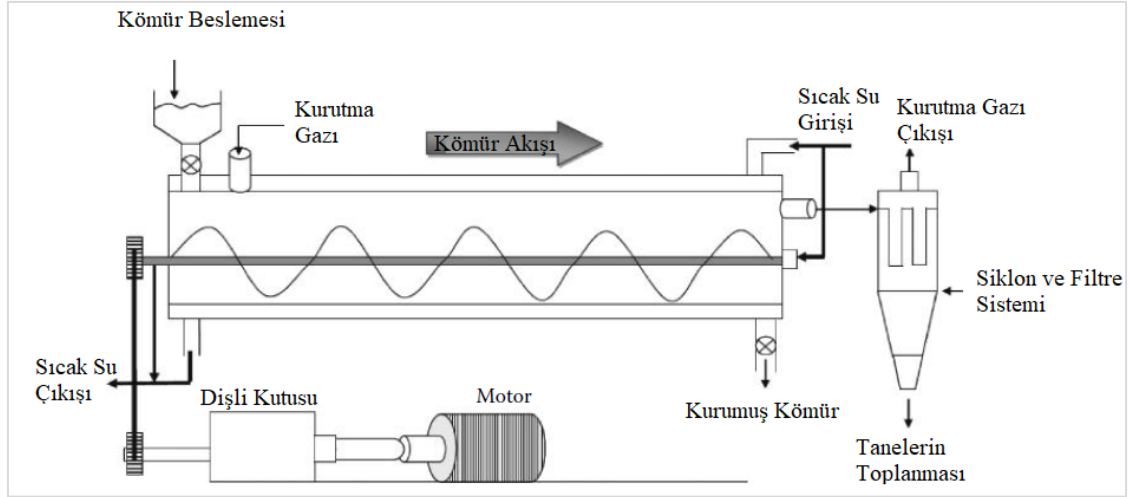


Şekil 6.11. Hareketli yataklı kurutucular [52]

6.11. Vidalı Konveyör Kurutucular

Vidalı konveyör kurutucular (Şekil 6.12), malzemenin taşınırken aynı anda ısıtıldığı ve kurutulduğu bir konveyörden oluşmaktadır. Isıtma ortamı genellikle sıcak su, buhar veya yağ, erimiş tuz veya dowtherm ısı transfer sıvısı gibi yüksek sıcaklıkta bir ısı transfer ortamıdır. Vidalı konveyörler, yumuşak kullanımdaki çok yönlülüğü nedeniyle, serbest akıştan nispeten daha az serbest akışlı olanlara ve ince tozdan topaklı, yapışkan ve lifli malzemelere kadar çok çeşitli katı parçacıkların kurutulması için kullanılabilmektedirler [52].

Kurutucunun avantajları arasında dolaylı ısıtma, kurutma sırasında boyut küçültme, vakum sağlama, yüksek termal verimlilik vardır. Bu tip kurutucu, diğer kurutuculara kıyasla çok yüksek ısı transfer alanı / hacim oranı sağlamaktadır. Düşük kaliteli kömürlerin kurutulması sırasında tutuşma tehlikesi vardır. Dolaylı ısıtmanın kullanılması, bu tür tutuşma tehlikelerinin olasılığını azaltmaktadır. Ayrıca, nemi çıkarmak için aşırı ısıtılmış buhar, azot veya vakum kullanılıyorsa, sistem %100 güvenli olabilmektedir.



Şekil 6.12. Vidalı konveyör kurutucu [52]

6.12. Kurutucu Seçimi

Kömürün bünyesindeki nemi buharlaştırmak için doğrudan veya dolaylı olarak kurutma yapan kurutucular bulunmaktadır. Farklı tiplerde kurutucular kömür kurutma işlemlerinde uygulanmasına rağmen her kurutucu büyük kapasiteli kurutma işlemlerine ya da her kömür türünü kurutmaya uygun olmamaktadır. Döner borulu kurutucular, buharla dolaylı kurutma işlemlerinde kullanılırken, Döner kurutucular büyük ölçekli doğrudan kurutma işlemlerinde kullanılır. Vidalı konveyör kurutucular, oluklu yataklı kurutucular ve şaft kurutucular küçük kapasiteli kurutma için uygulanabilmektedir. Bir başka kurutucu tipi olan titreşimli kurutucular ise daha çok sert kömür türlerini kurutmak için kullanıldığı için linyit gibi nemli ve yumuşak kömür türlerini kurutmak için uygun değildir. Değirmen tipi kurutucular büyük kapasiteli kurutma işlemleri için uygun olmamasının yanında kömür parçacıklarının parçalanmasına neden olduğu için tutuşma riski ortaya çıkmaktadır. Belirtilen tasarım kısıtları ve kurutucuların linyit ön kurutma işlemine uygunluğu göz önünde bulundurulduğunda döner kurutucular, pnömatik kurutucular ve akışkan yataklı kurutucular tasarlanan sistemlerde büyük kapasiteli kurutma işlemlerinin yapılabilmesi için en uygun kurutucu tipleridir.

7. KÖMÜR KURUTMA DENEYLERİ VE ANALİZLERİ

Deneyler için Afşin-Elbistan B Termik Santrali kömür rezervinden, Soma kömür rezervinden, Oltu kömür rezervinden, Seydişehir kömür rezervinden ve Yatağan Termik Santrali kömür rezervinden rastgele örnekleme ile numuneler alınmıştır. Kömür numuneleri, homojenlik göstermesi amacıyla 2 aylık periyotlarla numune alınıp, bu numunelerin karıştırılması ile örnekleme yapılarak deneyler için kullanılmıştır. Alınan numunelere etüv fırınında kurutma, toplam nem tayini, elementel analiz, kükürt tayini, karbon, hidrojen ve azot tayini ve kalorimetre ile ısı değeri analizi yapılmıştır. Deneylerde kullanılan cihazların özellikleri Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Deneylerde kullanılan cihazlar ve özellikleri

Cihaz Adı	Marka	Hassasiyeti
Öğütücü	Fritsch	0,01 mm
Nem Tayin Cihazı	Sartorius	0,0001 g / 0,1 °C
Etüv Fırını	Panasonic	0,1 °C
Hassas Terazî	Sartorius	0,0001 g
Değîrmen	Ika	0,01 mm
Kükürt Tayin Cihazı	Leco	0,0001 g
Karbon, Hirdojen, Azot Tayin Cihazı	Leco	0,0001 g
Elementel Analiz Cihazı	Eltra	0,0001 g
Kalorimetre	Ika	0,1 J

7.1. Nem Tayini ve Kurutma Analizleri

Analizi yapılacak kömürlerin Sartorius marka nem tayin cihazı (Resim 7.1) ile ve Panasonic marka etüv fırınıyla (Resim 7.3) toplam nem tayini deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Nem tayin cihazı ile deney yapılmadan önce numune örnekleri üst sınır boyutu 6 mm olacak şekilde Fritsch marka öğütücüde (Resim 7.2) parçalanmıştır. Deney numuneleri nem tayin cihazını konulduktan sonra 70 °C’ye ayarlanarak deneye tabi tutulmuştur. Deney esnasında 2-2,5 gr numune kullanılmıştır. Cihaz deney başlatıldıktan sonra otomatik

ölçümler yaparak kütle değişiminin bitip kütle sabitleninceye kadar sabit sıcaklıkta ölçümlerini gerçekleştirmektedir [54]. Kütle değişiminin bittiği noktada deneyi sonlandırarak toplam nemi ve kalan kömür ağırlığını ekranda göstermektedir.



Resim 7.1. Nem tayin cihazı



Resim 7.2. Kömür numunelerini parçalamak için öğütücü

Nem tayin cihazı ile kömür numunelerinin deney sonuçları ve yaş bazda kütleli nem miktarları Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Kömür numunelerinin kurutma deney sonuçları

Kömür Numunesi	Deney Başlangıç Ağırlığı (g)	Deney Bitiş Ağırlığı (g)	Yaş Bazda Kütleli Nem Miktarı (%)
Afşin-Elbistan	2,071	1,026	50,46
Yatağan	2,084	1,284	38,39
Seydişehir	2,045	1,000	51,10
Soma	2,062	1,881	8,78
Oltu	2,496	2,258	9,54

Etüv fırınında (Resim 7.3) kurutma işleminde numuneler 10-30 mm büyüklüğünde seçilerek deneye tabi tutulmuştur. Deneye başlamadan önce etüv 100 °C için yaklaşık 3 saat, 80 °C için yaklaşık 2,5 saat, 60 °C için ise yaklaşık 2 saat önceden derecesi ayarlanarak iç ortam sıcaklığının homojen hale gelmesi sağlanmıştır. Deneye başlarken 600-1000 g arasında numuneler kullanılmıştır. Saatte bir $\pm 0,1$ g hassasiyetli terazide (Resim 7.4) ölçüm alınmıştır. Kütle değişiminin %0,5'in altına düştüğü durumda deneyler sonlandırılmıştır [55].



Resim 7.3. Kömür kurutma deneyi için kullanılan etüv fırını



Resim 7.4. Kömür kurutma deneyi için kullanılan hassas teraziler

Kurutma deneyleri 100, 80 ve 60 °C sıcaklıklarda farklı zamanlarda gerçekleştirilmiştir. Her bir kurutma sıcaklığı için Oltu, Seydişehir ve Soma linyit numuneleri ve Afşin-Elbistan, Yatağan linyit numuneleri ayrı ayrı kurutma deneyine tabi tutulmuştur (Resim 7.5).



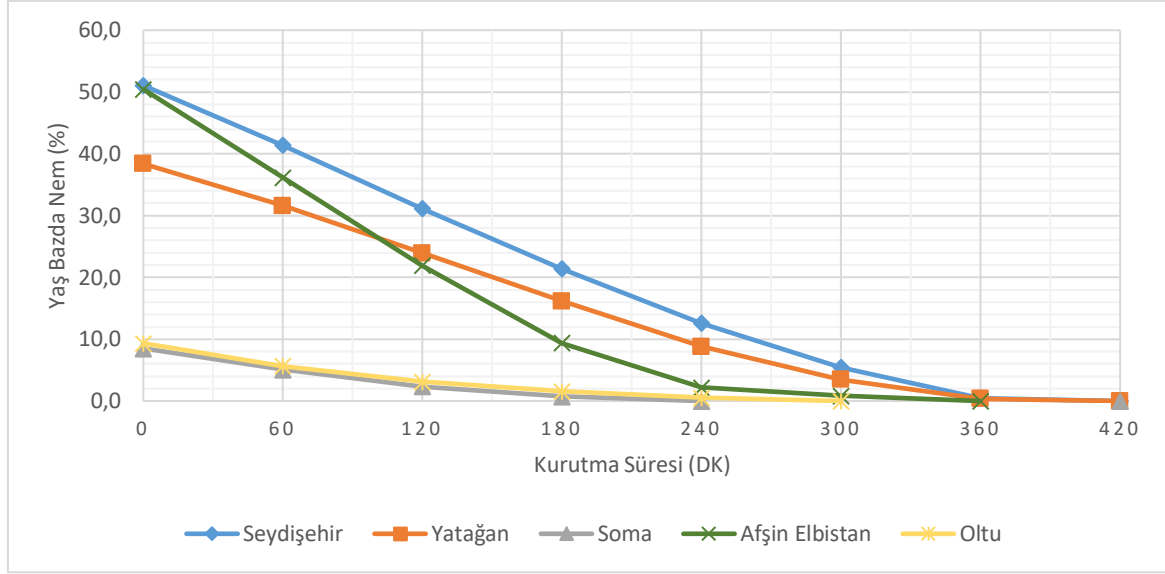
Resim 7.5. Kurutma deneylerinin gerçekleştirilmesi

7.1.1. 100 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneyler

100 °C’de gerçekleştirilen deney sonuçlarından yaş bazda kütleli nem Çizelge 7.3’te, nem oranı Çizelge 7.4’te ve kuruma hızı Çizelge 7.5’te verilmiştir. Ayrıca zamana bağlı olarak yaş bazda kütleli nem Şekil 7.1’de, nem oranı Şekil 7.3’te ve kuruma hızı Şekil 7.3’te gösterilmiştir. Nem oranı grafiklerinde ve çizelgelerinde, numunelerin başlangıç kütleleri eşit olmadığı için kıyaslama yapılabilmesi için dakikada alınan yüzdesel nem miktarları kullanılmıştır.

Çizelge 7.3. 100 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen yaş bazda kütleli nem miktarı (%)

Deney Süresi (dakika)	Seydişehir	Yatağan	Soma	Afşin Elbistan	Oltu
0	51,07	38,39	8,51	50,45	9,35
60	41,41	31,59	5,08	36,19	5,68
120	31,13	23,97	2,33	21,92	3,13
180	21,38	16,17	0,74	9,37	1,54
240	12,62	8,80	0,00	2,20	0,53
300	5,45	3,47	-	0,85	0,00
360	0,48	0,37	-	0,00	-
420	0,00	0,00	-	-	-

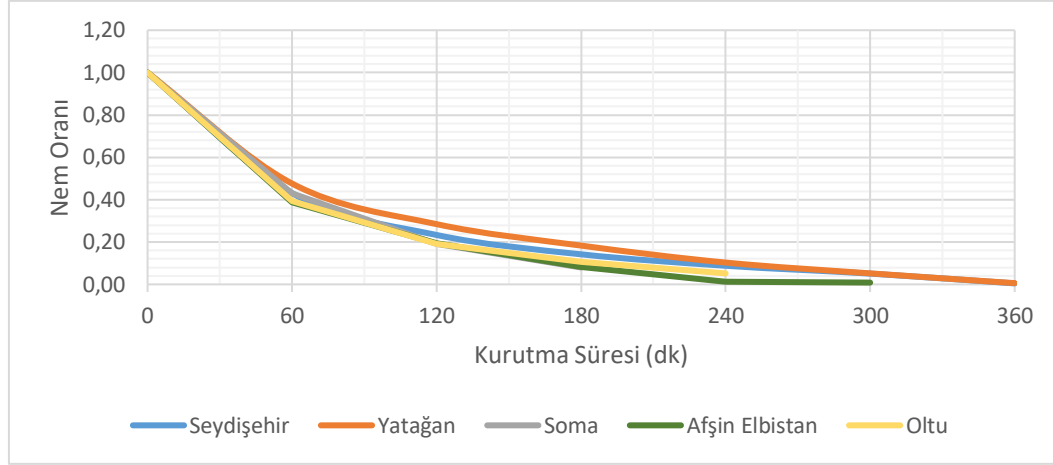


Şekil 7.1. 100 °C sıcaklıkta zamana bağlı yaş bazda kütleli nem miktarı

Şekil 7.1’de ve Şekil 7.2’de görüldüğü üzere sabit sıcaklıktaki ortamda bünye neminin deneyin ilk 120 dakikalık kısmında hızlı bir şekilde azaldığı, zamana bağlı olarak da kurumanın deneyin ilerleyen sürecinde kuruma hızının azaldığı görülmektedir.

Çizelge 7.4. 100 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen nem oranı

Deney Süresi (dakika)	Seydişehir	Yatağan	Soma	Afşin Elbistan	Oltu
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
60	0,43	0,48	0,43	0,39	0,39
120	0,23	0,28	0,19	0,19	0,19
180	0,14	0,18	0,08	0,08	0,11
240	0,09	0,10	-	0,01	0,05
300	0,05	0,05	-	0,01	-
360	0,00	0,01	-	-	-

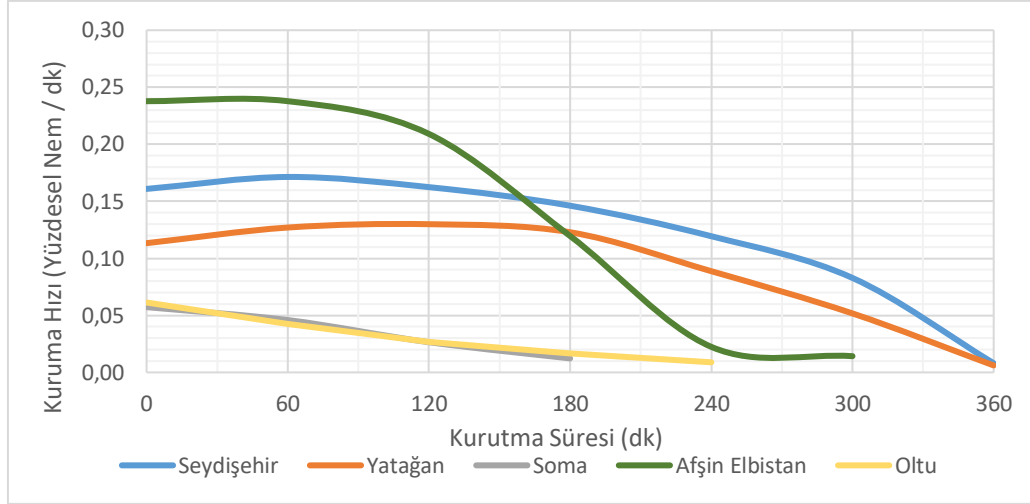


Şekil 7.2. 100 °C sıcaklıkta zamana bağlı nem oranları

Deneylerde kullanılan kömürlerin başlangıç ağırlıkları farklı olduğu için karşılaştırma yapabilmesi açısından birim zamanda alınan yüzdesel nem miktarı baz alınmıştır. Şekil 7.3'teki kuruma hızları incelendiğinde Afşin-Elbistan linyitinin deneyin ilk saatinde kuruma oranının sabit olduğu daha sonra azalmaya başladığı görülmektedir. Seydişehir ve Yatağan linyitlerinde ise deneyin ilk saatinde kuruma hızında artış olduktan sonra azalma başlamıştır. Soma ve Oltu linyitlerinde ise başlangıç nem oranının diğer linyitlere göre düşük olmasından dolayı kuruma oranı sabit bir azalma gerçekleşmiştir.

Çizelge 7.5. 100 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen dakikada alınan yüzdesel kuruma hızı

Deney Süresi (dakika)	Seydişehir	Yatağan	Soma	Afşin Elbistan	Oltu
0	0,16	0,11	0,06	0,24	0,06
60	0,17	0,13	0,05	0,24	0,04
120	0,16	0,13	0,03	0,21	0,03
180	0,15	0,12	0,01	0,12	0,02
240	0,12	0,09	-	0,02	0,01
300	0,08	0,05	-	0,01	-
360	0,01	0,01	-	-	-



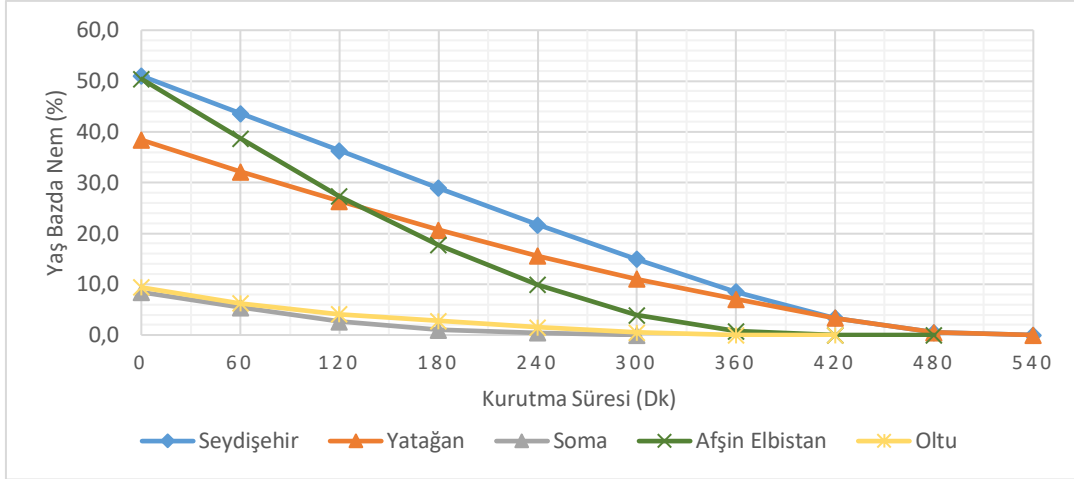
Şekil 7.3. 100 °C sıcaklıkta zamana bağlı kuruma hızları

7.1.2. 80 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneyler

80 °C’de gerçekleştirilen deney sonuçlarından yaş bazda kütleli nem Çizelge 7.6’da, nem oranı Çizelge 7.7’de ve kuruma hızı Çizelge 7.8’de verilmiştir. Ayrıca zamana bağlı olarak yaş bazda kütleli nem Şekil 7.4’te, nem oranı Şekil 7.5’te ve kuruma hızı Şekil 7.6’da gösterilmiştir. Nem oranı grafiklerinde ve çizelgelerinde, numunelerin başlangıç kütleleri eşit olmadığı için kıyaslama yapılabilmesi için dakikada alınan yüzdesel nem miktarları kullanılmıştır.

Çizelge 7.6. 80 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen yaş bazda kütleli nem miktarı (%)

Deney Süresi (dakika)	Seydişehir	Yatağan	Soma	Afşin Elbistan	Oltu
0	51,01	38,40	8,43	50,43	9,37
60	43,63	32,17	5,42	38,71	6,24
120	36,32	26,32	2,63	27,32	4,09
180	28,95	20,69	1,03	17,71	2,76
240	21,70	15,57	0,44	9,90	1,50
300	14,92	11,02	0,00	3,90	0,53
360	8,51	7,03	-	0,74	0,00
420	3,31	3,36	-	0,00	-
480	0,49	0,48	-	-	-
540	0,00	0,00	-	-	-

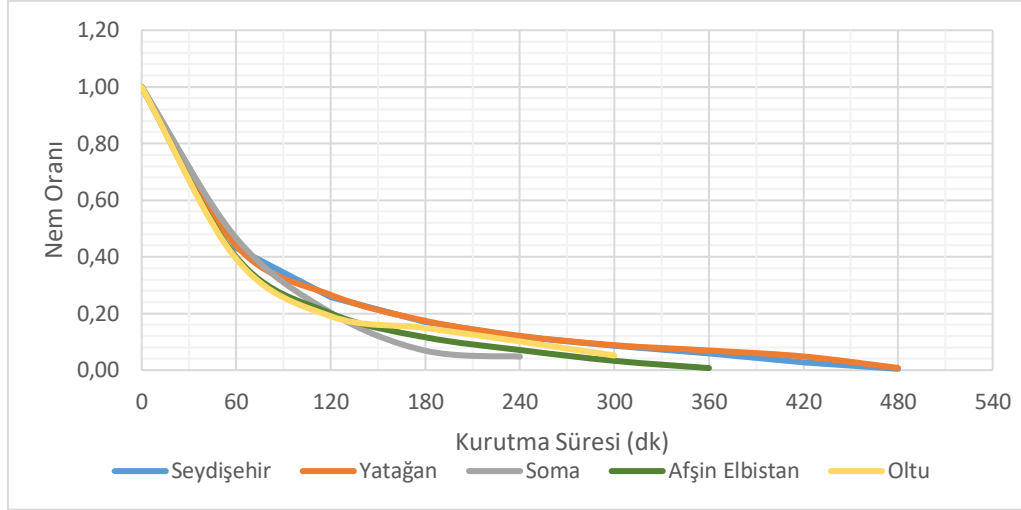


Şekil 7.4. 80 °C sıcaklıkta zamana bağlı yaş bazda kütle nem miktarı

Şekil 7.4'te ve Şekil 7.5'te bünye neminin deneyin ilk 120 dakikalık kısmında çok hızlı bir şekilde azaldığı, daha sonra kuruma hızının azaldığı görülmektedir. 80 °C sıcaklıkta Afşin-Elbistan linyiti hariç diğer linyitlerin sabit hızda kurudukları görülmektedir.

Çizelge 7.7. 80 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen nem oranı

Deney Süresi (dakika)	Seydişehir	Yatağan	Soma	Afşin Elbistan	Oltu
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
60	0,43	0,44	0,47	0,40	0,39
120	0,26	0,27	0,20	0,20	0,19
180	0,17	0,17	0,07	0,12	0,15
240	0,12	0,12	0,05	0,07	0,10
300	0,09	0,09	-	0,03	0,05
360	0,06	0,07	-	0,01	-
420	0,03	0,05	-	-	-
480	0,00	0,01	-	-	-

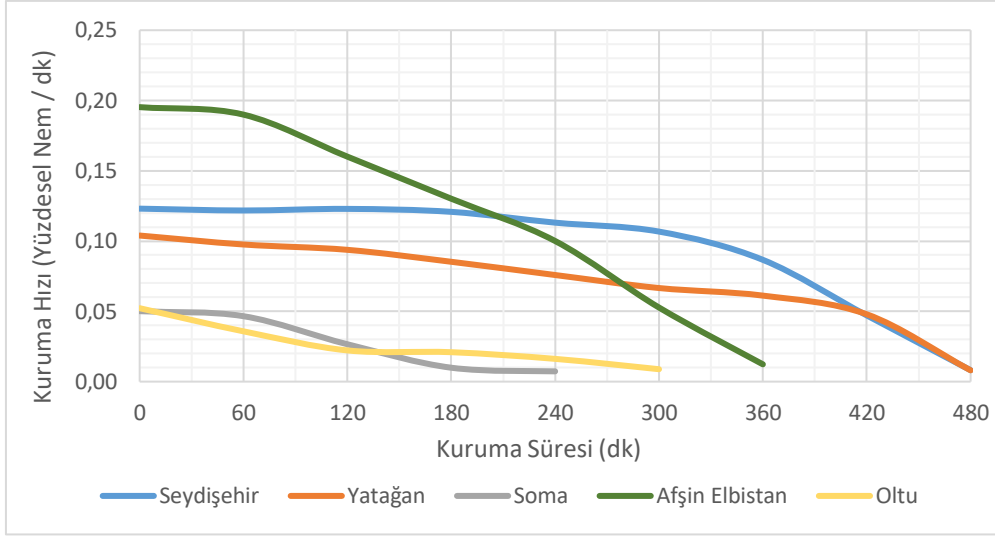


Şekil 7.5. 80 °C sıcaklıkta zamana bağlı nem oranları

Şekil 7.6 incelendiğinde Seydişehir ve Afşin-Elbistan linyitlerinin başlangıç nemlerinin yaklaşık aynı olmasına rağmen Seydişehir linyitinin daha yavaş bir şekilde kuruduğu görülmektedir ve deneyin ilk 300 dakikalık kısmında kurumanın sabit hızda gerçekleştiği daha sonra azaldığı görülmektedir. Diğer tarafta Afşin-Elbistan linyitinin deneyin başlangıcındaki nem verme hızı yüksek iken daha sonra hızın azaldığı görülmektedir.

Çizelge 7.8. 80 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen dakikada alınan yüzdesel kuruma hızı

Deney Süresi (dakika)	Seydişehir	Yatağan	Soma	Afşin Elbistan	Oltu
0	0,12	0,10	0,05	0,20	0,05
60	0,12	0,10	0,05	0,19	0,04
120	0,12	0,09	0,03	0,16	0,02
180	0,12	0,09	0,01	0,13	0,02
240	0,11	0,08	0,01	0,10	0,02
300	0,11	0,07	-	0,05	0,01
360	0,09	0,06	-	0,01	-
420	0,05	0,05	-	-	-
480	0,01	0,01	-	-	-



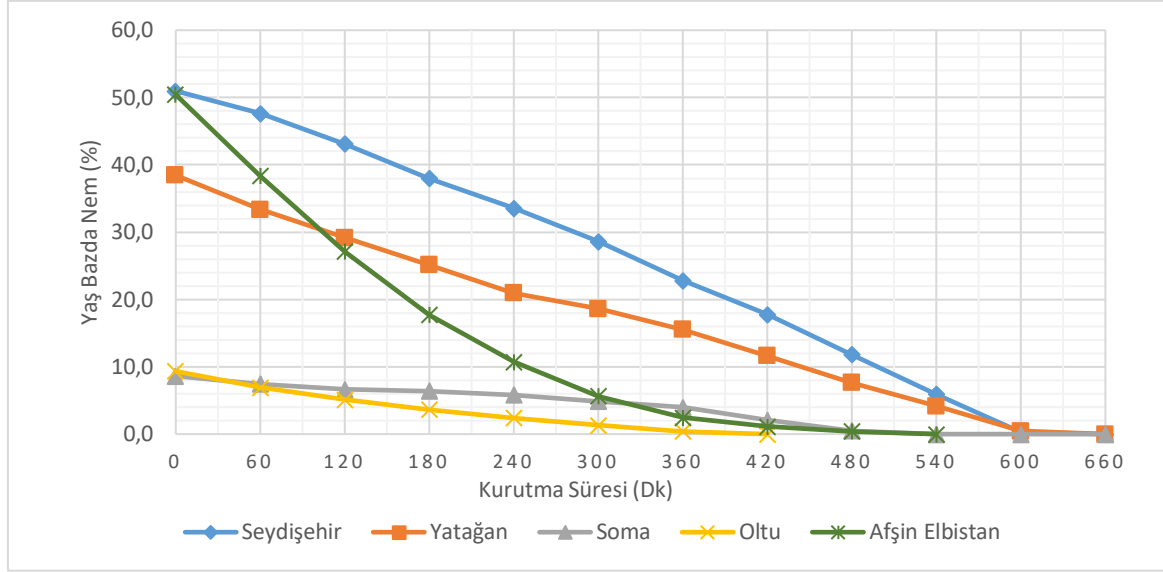
Şekil 7.6. 80 °C sıcaklıkta zamana bağlı kuruma hızları

7.1.3. 60 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneyler

60 °C’deki deney sonuçlarından yaş bazda kütleli nem Çizelge 7.9’da, nem oranı Çizelge 7.10’da ve kuruma hızı Çizelge 7.11’de verilmiştir. Ayrıca zamana bağlı olarak yaş bazda kütleli nem Şekil 7.7’de, nem oranı Şekil 7.8’de ve kuruma hızı Şekil 7.9’da gösterilmiştir. Nem oranı grafiklerinde ve çizelgelerinde, numunelerin başlangıç kütleleri eşit olmadığı için kıyaslama yapılabilmesi için dakikada alınan yüzdesel nem miktarları kullanılmıştır.

Çizelge 7.9. 60 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen yaş bazda kütleli nem miktarı (%)

Deney Süresi (dakika)	Seydişehir	Yatağan	Soma	Afşin Elbistan	Oltu
0	50,98	38,44	8,32	50,42	9,34
60	45,37	34,14	6,19	38,34	6,93
120	40,00	30,02	4,61	27,15	5,10
180	34,73	25,82	3,34	17,72	3,66
240	29,42	21,58	2,23	10,72	2,43
300	24,10	17,42	1,38	5,63	1,30
360	18,75	13,48	0,71	2,45	0,40
420	13,48	9,76	0,00	1,11	0,00
480	8,43	6,27	-	0,41	-
540	3,86	2,99	-	0,00	-
600	0,30	0,47	-	-	-
660	0,00	0,00	-	-	-

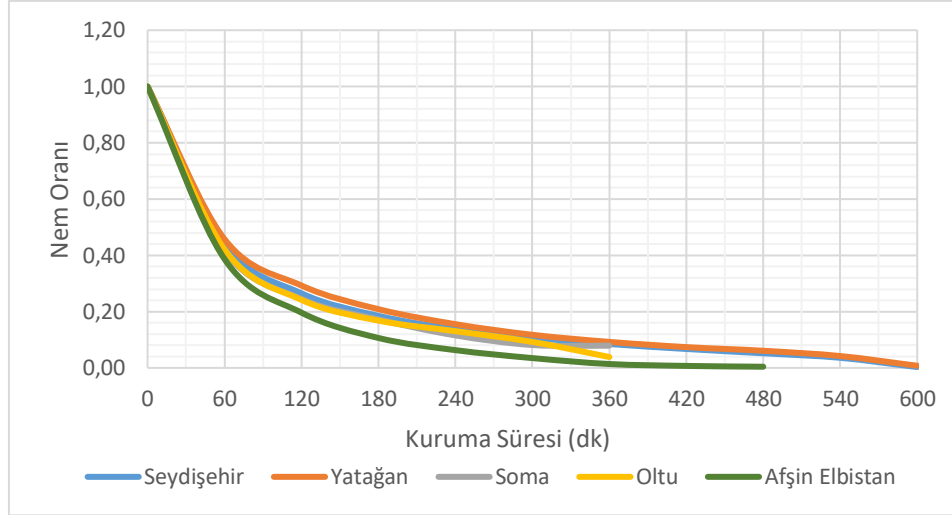


Şekil 7.7. 60 °C sıcaklıkta zamana bağlı yaş bazda kütle nem miktarı

Şekil 7.7 ve Şekil 7.8 incelendiğinde 60 °C sıcaklıkta deneye tabi tutulan linyit numunelerinin kuruma karakteristiklerinin 100 °C ve 80 °C sıcaklıkta gösterdiği davranışlarla aynı olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.10. 60 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen nem oranı

Deney Süresi (dakika)	Seydişehir	Yatağan	Soma	Afşin Elbistan	Oltu
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
60	0,44	0,46	0,42	0,39	0,42
120	0,26	0,29	0,24	0,20	0,24
180	0,18	0,21	0,17	0,11	0,17
240	0,14	0,16	0,12	0,06	0,13
300	0,11	0,12	0,08	0,03	0,09
360	0,08	0,09	0,08	0,01	0,04
420	0,07	0,07	-	0,01	-
480	0,05	0,06	-	0,00	-
540	0,04	0,04	-	-	-
600	0,00	0,01	-	-	-

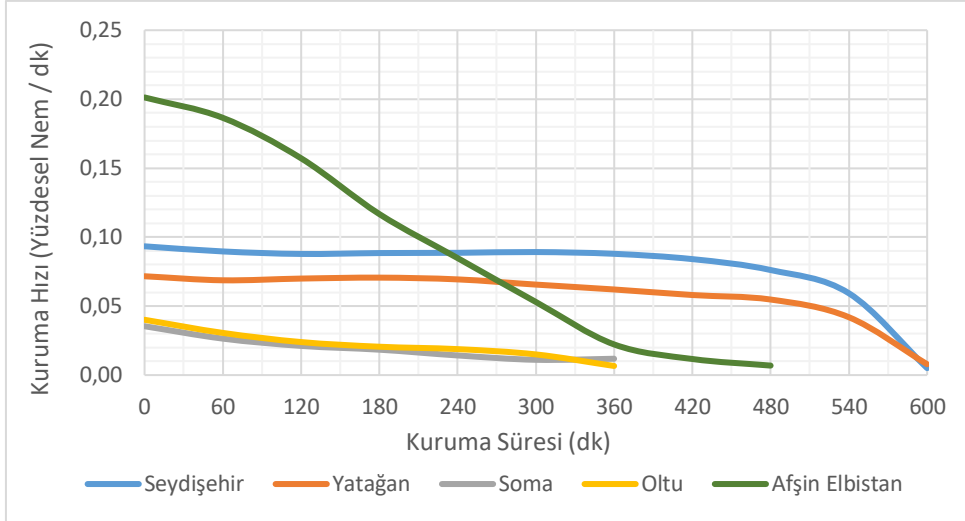


Şekil 7.8. 60 °C sıcaklıkta zamana bağlı nem oranları

Şekil 7.9 incelendiğinde Afşin-Elbistan linyiti hariç düşen kuruma sıcaklığına bağlı olarak kuruma hızlarının azaldığı ama 100 °C ve 80 °C sıcaklıkta gösterdiği karakteristikle uyum içinde olduğu görülmektedir. Afşin-Elbistan linyiti ise diğer sıcaklıklarla mukayese edildiğinde deneyin ilk 2 saatlik kısmında sıcaklıktan bağımsız olarak yaklaşık aynı hızda kuruduğu görülmektedir. Bu değerler Afşin-Elbistan linyitinde yüzey neminin diğer linyit türlerine göre daha fazla olduğu sonucunu vermektedir.

Çizelge 7.11. 60 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen dakikada alınan yüzdesel kuruma hızı

Deney Süresi (dakika)	Seydişehir	Yatağan	Soma	Afşin Elbistan	Oltu
0	0,09	0,07	0,04	0,20	0,04
60	0,09	0,07	0,03	0,19	0,03
120	0,09	0,07	0,02	0,16	0,02
180	0,09	0,07	0,02	0,12	0,02
240	0,09	0,07	0,01	0,08	0,02
300	0,09	0,07	0,01	0,05	0,01
360	0,09	0,06	0,01	0,02	0,01
420	0,08	0,06	-	0,01	-
480	0,08	0,05	-	0,01	-
540	0,06	0,04	-	-	-
600	0,01	0,01	-	-	-



Şekil 7.9. 60 °C sıcaklıkta zamana bağlı kuruma hızları

7.2. Kömür Analizleri

7.2.1. Numune hazırlama

Analizlere başlamadan önce kömür numuneleri 48 saat boyunca etüv fırınında sabit tartıma gelinceye kadar 70 °C sıcaklıkta kurutulur. Daha sonra nem ve sıcaklık kontrollü odada IKA markalı değirmende (Resim 7.6) öğütülebilmek için önce kömür numuneleri yaklaşık 20 mm olacak şekilde kırma işlemine tabi tutulur (Resim 7.7). Daha sonra değirmende öğütülür ve 60 mikronluk elekten geçirilerek büyük parçalar ayrılır [56].



Resim 7.6. Değirmen



Resim 7.7. Kömür kırma işlemi

7.2.2. Kükürt analizi

Kömür numunelerinde, içerisindeki tüm kükürt bileşiklerinin (sülfat, organik, serbest, pirit, kalkopirit v.b.) ihtiva ettiği kükürdün tamamına toplam kükürt denir. Kömür numunesinin en fazla 850 °C 'da tam yanması sonucu elde edilen kül içerisinde sülfatlı bileşikler halinde kalan kükürde külde kalan (yanmaz) kükürt denirken, yanma gazlarında kükürt bileşiği halinde bulunan kükürde yanar kükürt denir [57].

Deney başlamadan önce Leco 628s markalı kükürt tayin cihazı (Resim 7.8) 1350 °C sıcaklığa ayarlanır ve yanma odasının deney sıcaklığına gelmesi beklenir. Cihazın deney sıcaklığına gelmesinden sonra deney yapılacak numunelerin analizinden önce % kükürt değeri $0,56 \pm 0,04$ ve % kül değeri $8,42 \pm 0,07$ olan referans malzeme (Resim 7.9) ile cihazın kalibrasyonu yapılır. $0,25 \pm 0,005$ gr ağırlığında tartılan referans malzeme analiz cihazında yakılarak cihazın kalibrasyonu yapılır ve kalibrasyon eğrisi çizilir.



Resim 7.8. Kükürt tayin cihazı



Resim 7.9. Kükürt tayin cihazı referans malzemesi

Deney esnasında, numunede bulunan tüm kükürt, gaz halinde bulunan kükürt oksitlerine (kükürt dioksit ve kükürt trioksit) dönüşür ve numunedeki klor, Cl_2 'ye dönüşerek serbest bırakılır. Bu ürünler daha sonra seyreltik sülfürik ve hidroklorik asit çözeltileri oluşturarak çözüldükleri bir hidrojen peroksit çözeltisine emilir. Üretilen her iki asidin miktarları doğrudan orijinal kömür numunesinde bulunan kükürt ve klor miktarlarına bağlıdır. Mevcut her asidin miktarı belirlendikten sonra, kömürde bulunan kükürt yüzdesi Eş. 7.1 yardımıyla hesaplanır [58].

$$S_c = \frac{1,603 \left[(S_b \times N_1 \times F \times 10) - \frac{Cl(\%)}{3,456} \right]}{W} \quad (7.1)$$

Cihazın kalibrasyonunun yapılmasından sonra analiz yapılacak numuneler $0,25 \pm 0,005$ gr tartılarak yanması için cihaza yerleştirilir (Resim 7.10).



Resim 7.10. % Kükürt tayini deneyinin gerçekleştirilmesi

Yanma işlemi tamamlandıktan sonra kalibrasyon faktörüne göre düzeltme yapılarak % olarak kükürt değeri elde edilir. Afşin-Elbistan ve Yatağan linyitleri için üçer kez deney tekrar edilir. Son olarak da tekrar edilen deney sonuçlarının ortalaması alınır. Deney sonuçları Çizelge 7.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.12. Kömür numunelerinin % kükürt içeriği sonuçları

Numune Adı	% S
Afşin-Elbistan linyiti	1,61
Yatağan linyiti	1,93

7.2.3. Toplam karbon, hidrojen ve azot tayini

Kömür numunelerinin elementel analizinde toplam karbon, hidrojen ve azot içerikleri deneysel olarak elde edilir. Kömürün bileşiminde bulunan sabit (serbest) ve bağlı karbon toplamından oluşan değere toplam karbon denir [57]. Kömürdeki toplam karbon miktarı, 1350 °C fırında yakmak suretiyle belirlenir. Yanma gazlarındaki H₂O uzaklaştırılır ve kızılötesi absorpsiyon ile CO₂ miktarı belirlenir. Azot oksitleri (NO_x) tespit edilerek, N₂ miktarı hesaplanır [59]. Karbon, hidrojen ve azot analizi, Leco CHN 628 marka test cihazında (Resim 7.11) gerçekleştirilir.



Resim 7.11. Karbon, hidrojen ve azot analizi test cihazı

Karbon, hidrojen ve azot analiz cihazı, 1350 °C sıcaklığa ayarlanarak cihazın deney sıcaklığa gelmesi beklenir. Daha sonra $0,1 \pm 0,01$ gr ağırlığındaki Çizelge 7.13'te içeriği verilen Alpha Resources AR-2773 kodlu ve 773409 lot numaralı referans malzemesi (Resim 7.12) kullanılarak cihazın kalibrasyon eğrisi belirlenir.

Çizelge 7.13. Referans malzeme analizi raporu (% olarak)

Analiz	% Ağırlık	% Tolerans
Kül	7,33	0,16
Uçucu Madde	42,96	0,91
Kükürt	0,56	0,02
Karbon	66,91	0,61
Hidrojen	4,38	0,06
Azot	1,00	0,08



Resim 7.12. Referans malzeme

Hassas tartımlar yapılarak $0,1 \pm 0,01$ gr ağırlığındaki numuneler folyo içine konularak (Resim 7.13) deney cihazı haznelerine konulur. Her kömür tipi için üçer kez deney tekrarı yapılır. Çıkan sonuçların ortalaması alınır. Deney sonuçları Çizelge 7.14'te verilmiştir.



Resim 7.13. Deney numunelerinin hazırlanması

Çizelge 7.14. Analiz sonuçları (% olarak)

Numune Adı	Toplam Karbon	Hidrojen	Azot
Afşin-Elbistan linyiti	30,687	1,342	1,452
Yatağan linyiti	36,823	1,963	0,735

7.2.4. Elementel analiz

Elementel analizde kömürdeki toplam kül, higroskopik nem, uçucu madde ve sabit karbon tayini yapılır. Bir kömür numunesinin tam yakılması sonucu arta kalan mineral maddelerin toplam ağırlığının % olarak ifadesi kömürdeki toplam külü belirtir [57]. Kömürdeki uçucu madde ise gaz miktarından rutubet miktarının çıkarılmasıyla bulunan değerdir. Kömürdeki; rutubet, kül ve uçucu madde toplamalarının 100'den çıkartılması ile bulunan değere sabit karbon denir [57].

Higroskopik nem miktarı, katı bir şekilde kontrol edilen sıcaklık, zaman ve atmosfer, numune ağırlığı ile ekipman spesifikasyonları koşullarında ısıtıldığında numunenin ağırlık kaybının belirlenmesiyle elde edilir [60]. Kül, kömürün yakılmasından sonra kalan tortunun, numune ağırlığı, sıcaklık, zaman, atmosfer ve ekipman şartlarının katı olarak kontrol edildiği koşullar altında tartılmasıyla belirlenir [61]. Uçucu madde, katı bir şekilde kontrol edilen koşullar altında bir kömürün ısıtılmasından kaynaklanan kütle kaybını tespit ederek belirlenir. Test Yöntemi higroskopik nem tayini deneyinde belirlenen şekilde nem

için düzeltilmiş ölçülmüş kütle kaybı, uçucu madde muhtevasını belirler [62]. Sabit karbon ise hesaplanan bir değerdir. Yüzde nem, kül ve uçucu madde yüzdelерinin toplamının 100'den çıkarılmasının sonucu elde edilir [63].

Elementel analiz testleri Eltra marka analiz cihazında (Resim 7.14) gerçekleştirilir. Cihaz teste başlamadan önce 750 °C'ye ayarlanarak optimum yanma sıcaklığına gelmesi beklenir. Cihaz deney sıcaklığına geldikten sonra kurutulmuş toz haldeki kömür numuneleri $1,5 \pm 0,25$ gr ağırlıklarda tartılarak numuneler deney için hazır hale getirilir.



Resim 7.14. Eltra marka termogravimetrik analiz cihazı

Deneyler neticelendikten sonra Higroskopik nem, Uçucu madde, Kül ve Sabit Karbon miktarı sonuçları elde edilir. Çizelge 7.15 analiz sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 7.15. Kömür numuneleri termogravimetrik analiz sonuçları (% olarak)

Numune Adı	Higroskopik Nem	Uçucu Madde	Kül	Sabit Karbon
Muğla Yatağan	2,919	33,810	42,430	20,841
Afşin Elbistan	2,937	48,285	41,866	6,912

7.2.5. Isıl değer tayini ve bazlar arası geçiş

Linyit numunelerinin kalorifik değerlerinin tespit edilmesi için IKA C 5000 Markalı Kalorimetre cihazı (Resim 7.15) kullanılmıştır. Cihazın çalışma prensibinde kalorimetrenin

ısı kapasitesi, belirli bir benzoik asit kütlesinin oksijen içinde yakılması ile belirlenir. Kalorimetrede analiz numunesi aynı koşullar altında yakılır. Analiz numunesinin kalorifik değeri, aşırı ısı etkileri için ayarlanan düzeltilmiş sıcaklık artışı, ısı kapasitesi ile çarpılarak ve numunenin kütlesi ile bölünerek hesaplanır. Yani aynı koşullar altında yakılan kömürün ısı değeri, suyun derecesindeki artışla hesap edilir [64].



Resim 7.15. IKA C 5000 kalorimetre cihazı

Linyit numunelerin kalori tayini deneyine başlamadan önce cihazın hassas çalışabilmesi için cihazın bulunduğu ortam sıcaklığı 25°C'ye ayarlanır. Cihaz ayarları yapıp, kalorimetrenin dış ceket su sıcaklığı 23°C ± 0,5°C olarak ayarlanır. Linyit numuneleri 1,2 ± 0,06 gr olacak şekilde tartılarak kalorimetre içerisindeki kaba doldurularak kalorisi belli ip ile kalorimetre bombasına bağlanır ve bomba kapatıldıktan sonra cihaza yerleştirilir. Deneye başladıktan sonra yanmaya ait yanma eğrisi bilgisayar ekranından takip edilir. Cihaz kömürün yanma işlemi bittiğinde (yaklaşık 20 dakika) cihaz otomatik olarak açılır. Bilgisayar programı kömür için üst ısı değeri ve düzeltilmiş sıcaklık artışını vermektedir. Elde edilen değerler kükürt düzeltmesi yapılarak Eş. 7.2 yardımıyla kömür numuneleri için havada kuru bazda üst ısı değeri hesabı yapılır [64].

$$Q_{üst,hk} = \frac{[(t \cdot E_e) - e_1 - e_2 - e_3 - e_4]}{m} \quad (7.2)$$

Burada e_1 değeri asit düzeltmesini ifade ederken cihaz için sabittir ve 5 Cal'dir. e_4 değeri ise yanma ipinin sağladığı katkıdır ve kullanılan yanma ipi için 12 Cal'dir. E_e değeri, kalorimetre cihazının ısı kapasitesidir ve 2590 Cal/K'dir. Eş. 7.2'de t değeri düzeltilmiş

sıcaklık artışını (K) ifade ederken, m değeri ise bomba kalorimetreye konulan kömür numunesinin ağırlığıdır. e_2 değerinin hesaplanması için Eş. 7.3, e_3 değerinin hesaplanması için Eş. 7.4. kullanılır [64].

$$e_2 = K * m_t \quad (7.3)$$

Burada K değeri referans ateşleme teli sabitidir ve 1,433 Cal/mg'dır. m_t ise yanan telin ağırlığıdır ve sabittir. m_t değeri referans malzeme için 8,4 mg'dır.

$$e_3 = 13,3 \frac{cal}{g} * S * m \quad (7.4)$$

Burada S değeri kömür numuneleri için % kükürt içeriği iken m değeri ise deneyde yakılan kömür miktarıdır. Kömür numunelerinin havada kuru bazda alt ısı değerlerinin hesaplanabilmesi için Eş. 7.5 kullanılır.

$$Q_{alt,hk} = Q_{üst,hk} + Q_{v-p} - Q_h \quad (7.5)$$

Burada Q_{v-p} , yanma reaksiyonunun gaz fazının hacmindeki değişikliklerle bağlantılı enerji olarak ifade edilip Eş. 7.6 yardımıyla hesaplanır. Q_h ise su içeriğinin buharlaşma ısısıdır ve Eş. 7.7 yardımıyla hesaplanır [64].

$$Q_{v-p} = 0,01 * R * T * \left(\frac{\%H}{2*2,016} - \frac{\%O}{31,9988} - \frac{\%N}{28,0134} \right) \quad (7.6)$$

$$Q_h = 0,01 * H_{vap} * \left(\frac{\%H}{2,016} \right) \quad (7.7)$$

Havada kuru bazda alt ve üst ısı değerleri elde edildikten sonra analizlerde kullanmak için kömür numunelerinin orijinal (alındığı) bazdaki ve kuru (bünye neminin de olmadığı) bazdaki ısı değerleri Eş. 7.8, 7.9, 7.10 ve 7.11 yardımıyla hesaplanır [64].

$$Q_{üst,k} = Q_{üst,hk} * \frac{100}{100 - M_{BN}} \quad (7.8)$$

$$Q_{alt,k} = Q_{alt,hk} * \frac{100}{100 - M_{BN}} \quad (7.9)$$

$$Q_{üst,OB} = Q_{üst,hk} * \frac{100-M_{OB}}{100-M_{BN}} \quad (7.10)$$

$$Q_{alt,OB} = Q_{alt,hk} * \frac{100-M_{OB}}{100-M_{BN}} - Q_{mar} \quad (7.11)$$

Burada M_{OB} orijinal bazdaki toplam nemi ifade ederken M_{BN} havada kuru bazdaki bünye nemini ifade etmektedir. Q_{mar} ise toplam nem içeriğinin buharlaşma ısını ifade etmektedir ve Eş. 7.12 yardımıyla hesaplanır [64].

$$Q_{mar} = 0,01 * H_{vap} * \left(\frac{M_{OB}}{18,0154} \right) \quad (7.12)$$

Yapılan analizler ve hesaplamalar neticesinde Afşin-Elbistan ve Yatağan linyitleri için ısı değerler Çizelge 7.16’da verilmiştir.

Çizelge 7.16. Kömür numunelerinin bazlara göre ısı değerleri (Cal/g)

Numune Adı	Kuru Bazda		Havada Kuru Bazda		Orijinal Bazda	
	ÜİD	AİD	ÜİD	AİD	ÜİD	AİD
Afşin-Elbistan	2658	2587	2580	2511	1316	988
Yatağan	3323	3220	3226	3126	2051	1765

7.3. Ölçüm Belirsizliği

Elde edilen bilgiye dayanılarak ölçülene atfedilen büyüklük değerlerinin dağılımını niteleyen, negatif olmayan sayısal parametreye ölçüm belirsizliği denir [65]. Ölçüm belirsizliği, düzeltmeler ve ölçüm standardına atanmış büyüklük değerleri gibi sistematik etkilerden kaynaklanan bileşenler ile tanımsal belirsizlik bileşenini içerir. Bazen öngörülen sistematik etkilerin düzeltilmesi yerine ilgili ölçüm bileşenleri dahil edilir. Yani çeşitli matematiksel denklemlerle, etkisi tam olarak belirlenebilen veya etkisi tam olarak belirlenemeyen faktörler, ölçüm belirsizlikleri hesaplamalarıyla, ölçüm sonucunun üzerine eklenir. Böylece ölçme sonucunun dünya standartlarında izlenebilirliği ve o cihaz kullanılarak yapılacak ölçümlerin sınır değerleri belirlenir.

Ölçüm belirsizliği genel olarak birçok bileşeni içerir. Bu bileşenlerin bazıları, ölçüm serilerinden elde edilen büyüklük değerlerinin istatistiksel dağılımını kullanan A tipi ölçüm belirsizliği hesabı yöntemiyle belirlenir ve standart sapma ile nitelendirilir. B tipi ölçüm belirsizliği hesabı yöntemiyle belirlenen diğer bileşenler de tecrübe ve diğer bilgilere dayalı olasılık yoğunluk fonksiyonlarından elde edilen standart sapma ile nitelendirilebilir [65].

7.3.1. A tipi ölçüm belirsizliği

Deneysel gözlemler sonucu elde edilen ölçmelerin standart sapması ile hesaplanan belirsizlik değeridir. Veriler tamamen istatistikseldir. Standart belirsizliğin A Tipi değerlendirmesi, aynı ölçüm koşulları altında girdi miktarlarından biri için birkaç bağımsız gözlem yapıldığında uygulanabilir. Ölçüm sürecinde yeterli çözünürlük varsa, elde edilen değerlerde gözlenebilir bir dağılım veya yayılma olacaktır [66].

Tekrar tekrar ölçülen girdi miktarı x_i 'nin, n istatistiksel olarak bağımsız gözlemlerle ($n > 1$) aritmetik ortalaması Eş. 7.13 kullanılarak elde edilir [67].

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7.13)$$

Temel olasılık dağılımının varyansının tahmini, ölçüm sonuçlarının deneysel varyansı ($S_{x_i}^2$)'dır. Eş. 7.14 yardımıyla hesaplanır [67].

$$S_{x_i}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (7.14)$$

Ortalama değerin deneysel varyansı ise Eş. 7.15 kullanılarak hesaplanır [67].

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{S_{x_i}^2}{n} \quad (7.15)$$

Girdi tahmini x_i ile ilişkili standart belirsizlik U_A , ortalamanın deneysel standart sapmasıdır.

$$U_A = S_{\bar{x}} \quad (7.16)$$

A tipi belirsizlik hesaplama yönteminde Normal (Gauss) Dağılım ve Student Dağılımı kullanılmaktadır. Standart belirsizliklerin hesaplanabilmesi için öncelikle elde bulunan verinin hata dağılım türü belirlenmektedir. Buna göre belirlenen bölene göre tüm belirsizlikler %68 güven aralığındaki standart belirsizliğe dönüştürülmektedir.

Tekrarlanabilirlik ya da tekrarüretilebilirlikten gelen belirsizliklerin hesaplanmasında Eş. 7.17 kullanılır.

$$U_A = S_{\bar{x}} * t_{\gamma,p} \quad (7.17)$$

Buradaki t değeri p=%68 güven aralığındaki serbestlik derecesindeki (Eş 7.18) dengeleme faktörüdür. Çizelge 7.17 yardımıyla elde edilir.

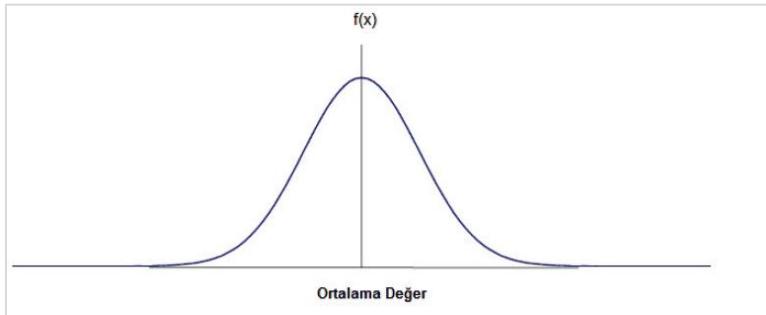
$$\gamma = n - 1 \quad (7.18)$$

Çizelge 7.17. %68 güven aralığındaki serbestlik derecesine göre dengeleme faktörü [65]

Serbestlik Derecesi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10-11	12-14	15-20	25-30	35-50	100- ∞
Dengeleme Faktörü	1,84	1,32	1,2	1,14	1,11	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,0

Normal dağılım

Aynı ölçülen büyüklüğe ait n adet ölçümden oluşan bir seri için ölçüm sonuçlarının dağılımını karakterize eder. Normal dağılım grafiği Şekil 7.10'da gösterilmiştir. Genelde normal dağılım için $t_{\gamma,p}=1$ alınmaktadır.



Şekil 7.10. Ölçüm sonuçlarının normal dağılım ile gösterilmesi [65]

Student dağılımı

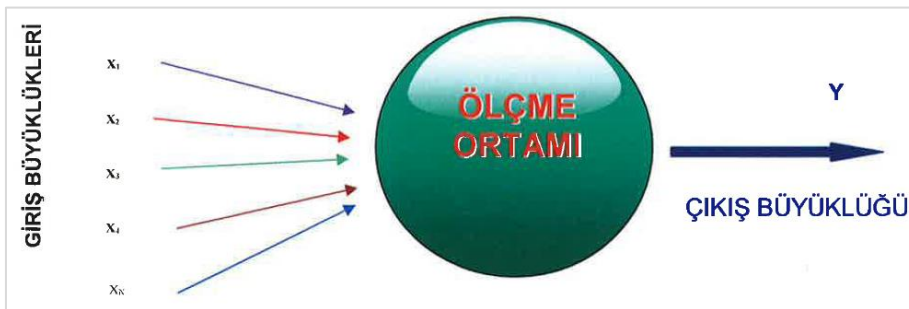
Normal dağılıma benzer olup, ölçüm sayısının kısıtlı olduğu zaman ($n < 10$) kullanılmaktadır. Student dağılımı ile normal dağılım arasındaki farkı dengelemek için dengeleme faktörü kullanılır (Eş. 7.17 ve Çizelge 7.16) [65].

7.3.2. B tipi ölçüm belirsizliği

A tipi ölçüm belirsizliği hesabı dışında kalan yöntemler ile ölçüm belirsizliği bileşenlerinin hesaplanmasıdır. İstatistiksel ölçümlerden daha çok daha önceki ölçüm sonuçları, kullanılan cihaz ya da cihazın davranışları ile ilgili genel tecrübe, bilgi, üretici spesifikasyonları ve diğer sertifikalardan elde edilen veriler, el kitaplarından elde edilen belirsizlik değerleri gibi parametrelerden elde edilir. B tipi ölçüm belirsizliği bilgileri, temelde tecrübeye dayalı bilgilerdir.

B tipi ölçüm belirsizliğinin hesaplanmasında model fonksiyon kullanılır. Bir ölçüm modelinin girdi büyüklüklerinin bilinen büyüklük değerleri kullanılarak hesaplandığında, ölçüm modelinin çıktı büyüklüğünün ölçülen büyüklük değeri olan büyüklüklerin fonksiyonuna model fonksiyon denir [65].

$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ açıkça yazılabildiği durumlarda, f bir model fonksiyondur. Daha genel olarak f fonksiyonu $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ girdi büyüklük değerlerine karşılık tek bir $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ çıktı büyüklük değerini veren bir algoritmayı temsil eder (Şekil 7.11).



Şekil 7.11. F model fonksiyonu [67]

Tahmini çıkış belirsizliklerini kısmi giriş belirsizlikleri cinsinden Eş. 7.19 şeklinde ifade edilir.

$$u_i(y) = c_i * u(x_i) \quad (7.19)$$

Burada c_i tahmini giriş büyüklüğü x_i 'ye bağlı duyarlılık katsayısı olup, model fonksiyon f 'te x_i giriş büyüklükleri ile ilgili olarak kısmi türevdir (Eş. 7.20).

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (7.20)$$

Giriş büyüklüklerinin standart belirsizliği ile ilişkilendirilmiş tahmini çıkış büyüklüğü y için Eş. 7.21 ile hesaplanır [66].

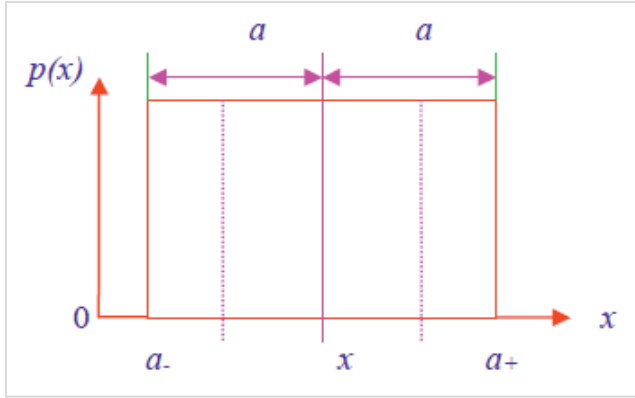
$$u_y^2 = \sum_{i=1}^n u_{y_i}^2 = \sum_{i=1}^n c_i^2 * u_{x_i}^2 * DK^2 \quad (7.21)$$

Burada DK dağılım katsayısını ifade etmektedir. B tipi ölçüm belirsizliği için dikdörtgen dağılım, üçgen dağılım, U tipi dağılım kullanılmaktadır. B tipi ölçüm belirsizliği ise y modelinin ölçüm belirsizliğine eşittir (Eş. 7.22).

$$U_B = u_y \quad (7.22)$$

Dikdörtgen dağılım

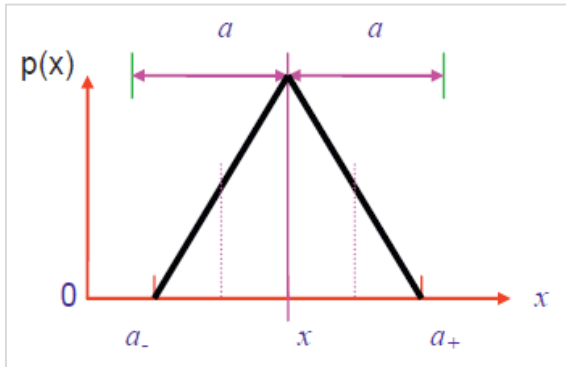
Bu dağılım, bir büyüklüğün sadece değişim gösterebilecek aralık bilindiği takdirde kullanılır [65]. Cihazların gösterge çözünürlüğünden gelen belirsizlik, maksimum hatadan gelen belirsizlik, sıcaklık farkından gelen belirsizlik, kalibrasyon drifitinden gelen belirsizlik dikdörtgen dağılım kabul edilir. Dikdörtgen dağılımı Şekil 7.12'de gösterilmiştir. Bu dağılım için dağılım katsayısı $DK = \frac{1}{\sqrt{3}}$ tür.



Şekil 7.12. Dikdörtgen dağılımı [65]

Üçgen dağılım

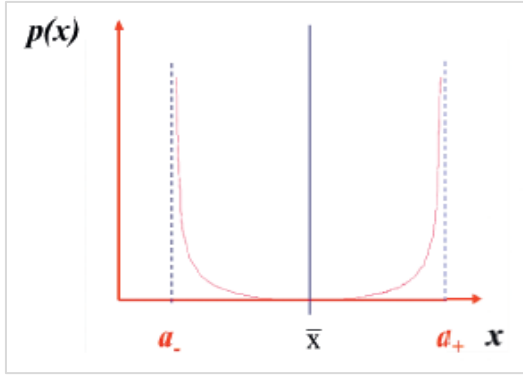
Bu dağılım, bir büyüklüğün değişim gösterebilecek aralık ve eğilim bilindiği takdirde kullanılır. Eğer iki limit arasında yer alan değerlerin merkezde toplanma olasılığı güçlü ise, diğer bir deyiş ile bu dağılımın gerçek değerinin tanımlanmış iki limit arasında merkeze yakın bir yerde olduğu düşünülüyor ise üçgen dağılım uygulanır. Üçgen dağılımı Şekil 7.13'te gösterilmiştir. Bu dağılım için dağılım katsayısı $DK = \frac{1}{\sqrt{6}}$ 'dir.



Şekil 7.13. Üçgen dağılımı [65]

U Tipi dağılımı

Bu dağılım, bir büyüklüğün değişim gösterebilecek aralık ve değerlerin sınırlara yakın bulunma olasılığının daha yüksek olduğu bilindiği takdirde kullanılır. U tipi dağılım Şekil 7.14'te gösterilmiştir. Bu dağılım için dağılım katsayısı $DK = \frac{1}{\sqrt{2}}$ 'dir.



Şekil 7.14. U tipi dağılım [65]

7.3.3. Birleştirilmiş ölçüm belirsizliği

Bir ölçüm modelinin girdi büyüklükleriyle ilişkili bütün standart ölçüm belirsizliklerinin kullanımıyla elde edilen standart ölçüm belirsizliği olup, A tipi ve B tipi değerlendirme sonuçlarının uygun bir birleşiminden elde edilir. Eş. 7.23 kullanılarak hesaplanır [65].

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} \quad (7.23)$$

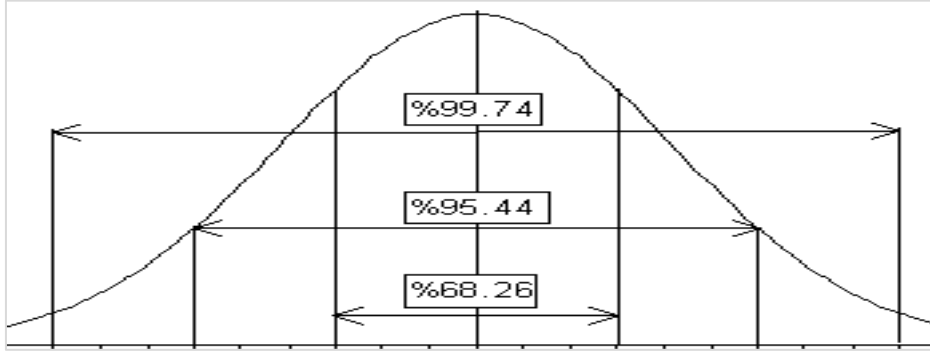
7.3.4. Genişletilmiş ölçüm belirsizliği

Hesaplanan ölçme belirsizliği değerleri, istatistiksel olarak ortalamadan 1σ ötesinde bir aralığı temsil eder. Bu aralığa güven aralığı denir. Güven aralığı, bir başka deyişle, beyan edilen değer ana kütleyi temsil etme kabiliyetidir. Bu değer, çok düşük ölçme belirsizliği değerlerine sahip olan birinci derecede ölçümler için yeterli bir aralık olmakla beraber, ölçme belirsizlikleri daha yüksek olan ikincil derece ölçümler için yeterli bir güven aralığını temsil etmez.

Ortalamadan 2σ kadar uzak olan bir standart sapma değeri normal dağılıma sahip bir ana kütlenin % 95'ini temsil etmektedir.

Ortalamadan 3σ kadar uzak olan bir aralık ise normal dağılım gösteren bir ana kütlenin %99,97'sini kapsamaktadır.

Bu aralık değeri, her σ değerinde % 100'e biraz daha yaklaşır, ancak hiçbir zaman % 100 değeri elde edilemez. Çünkü normal dağılım koordinat sistemini (Şekil 7.15) x düzleminin hiçbir yerinde kesmez.



Şekil 7.15. Normal dağılım eğrisi [67]

Genişletilmiş belirsizlik için kapsam faktörünün değeri, belli bir güvenirlik seviyesi ile verilir. Genellikle daha büyük bir kapsama oranında ölçeklendirme için %95 güvenirlik seviyesi ile $k=2$ kullanılır. Birleşik standart belirsizliğin normal dağılım göstermesi durumunda $k=2$ 'dir.

Standard sapma verileri, ölçüm sonuçlarının, belirli bir güven aralığında beyan edebilmesi için formüllerine koydukları “ k ” çarpan faktörü olarak karşımıza çıkmaktadır. “ k ”, ölçüm belirsizliğinde kapsam faktörü olarak adlandırılır. Kapsam faktörü “ k ” ile çarpılan belirsizlik değeri genişletilmiş belirsizlik değeri olarak kabul edilir ve Eş. 7.24 kullanılarak hesap edilir.

$$U_G = k * U_C \quad (7.24)$$

7.3.5. Deneylerin hesaplanan ölçüm belirsizlikleri

Yapılan deneyler için ölçüm belirsizlikleri Çizelge 7.1’de belirtilen cihazlar kullanılarak ayrı ayrı hesap edilmiştir. Kükürt tayini için Resim 7.9’da gösterilen ve değerleri bilinen referans malzeme kullanılarak kükürt tayin cihazı ve hassas terazinin belirsizliği EK-2’de gösterilmiştir ve ölçüm belirsizliği bütçesi hesaplanmıştır. Benzer şekilde Karbon, hidrojen ve azot tayini için Çizelge 7.13’te belirtilen referans malzeme, cihazın ve hassas terazinin belirsizliği kullanılarak metot için ölçüm belirsizliği EK-2’de gösterilerek hesaplanmıştır.

Isıl değeri tayini için referans malzeme olarak benzoik asit kullanıldıktan sonra, cihaz ve hassas terazinin de belirsizlikleri yardımıyla ölçüm belirsizliği bütçesi EK-2’de hesap edilmiştir. Yapılan hesaplamalar neticesinde bağıl ölçüm belirsizlikleri Çizelge 7.18’de verilmiştir. Yapılan ölçüm belirsizliği bütçeleri için, örnek hesaplamalar ise EK-2’de verilmiştir.

Çizelge 7.18. Gerçekleştirilen deneylerin bağıl belirsizlikleri (%)

Deney Adı	Bağıl Belirsizlik
TGA cihazı ile kül muhtevası tayini	3,21
TGA cihazı ile higroskopik nem muhtevası tayini	2,67
Karbon, Hidrojen, Azot miktarı tayini	2,02
Alt Isıl Değeri tayini	0,17
Kükürt miktarı tayini	3,45

8. MATERYAL VE METOT

Tez çalışmasında, bir termik santral için baca gazı atık ısısı kullanan ön kurutma sisteminin tasarlanması amaçlanmıştır. Termik santral seçiminde yerli kömüre dayalı olarak elektrik üretimi yapan en yüksek kurulu güce sahip santral olan Afşin-Elbistan B termik santrali seçilmiştir.

8.1. Referans Santral ve Kömür Analizi Sonuçları

Santralin her biri 360 MW gücünde olan dört ünitesi bulunmaktadır. Santral, tek geçişli, tek ön ısıtıcı, toz linyit yakmalı, gaz geçirmez kaynaklı, dış tüplü, emişli Benson tipi kazanıyla 538 °C’de saatte 1037,4 ton buhar üretmektedir ve alt ısı değeri 950-1150 kCal/kg aralığında değişen linyit kömürünü yakabilmektedir [68]. Çizelge 8.1, 8.2, 8.3, 8.4 ve 8.5’te santrale ilişkin teknik bilgiler verilmiştir.

Çizelge 8.1. Santralin kömür hazırlama nakil ve kül atma tesisleri teknik bilgileri [69]

İmalatçısı	Babcock-Krupp Hazemag / Almanya
Bant Genişliği	1800 mm
Dökücü Sayısı	2
Dökücü Kapasitesi	6000 t/h
Kazıcı Sayısı	3
Kazıcı Kapasitesi	4750 t/h

Çizelge 8.2. Afşin-Elbistan B Termik Santrali kazan teknik bilgileri [69]

İmalatçı	Babcock-Almanya
Tipi	Benson
Buhar Çıkış Sıcaklığı	538 °C
Buhar Çıkış Basıncı	170 bar
Buhar Debisi	1037,4 t/h
Kızdırıcı Çıkış Sıcaklığı	538 °C
Kızdırıcı Çıkış Basıncı	37,3 bar
Verim	%75,3
Kazan Tasarımı	Tek geçişli ve tek ön ısıtıcı, toz linyit yakmalı, gaz geçirmez kaynaklı, dış tüplü ve emişli benson tipidir. Kazan yüksekliği 125 m’dir. Her kazanda yanma sonucu yaklaşık maksimum 55 t/h cüruf, maksimum 240 t/h uçucu kül oluşmaktadır.

Çizelge 8.3. Afşin-Elbistan B Termik Santrali türbin teknik bilgileri [69]

İmalatçı	Mitsubishi-Japonya
Tipi	Kondensasyonlu, tandem bileşik çift akışlı egzoz
Buhar Basıncı	170 bar
Buhar Sıcaklığı	538 °C
Soğutma Suyu Miktarı	26410 t/h
Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı	22 °C
Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı	35 °C
Devir	3000 devir/dk
Özgül Isı Sarfıyatı	2,457 kCal/kWh
Jeneratör Çıkış Gücü	360 MW

Çizelge 8.4. Afşin-Elbistan B Termik Santrali jeneratör teknik bilgileri [69]

İmalatçısı	Mitsubishi-Japonya
Güç	403 MVA
Güç Faktörü	0,9
Nominal Aktif Güç	360 MW
Çıkış Gerilimi	20 kV
Hız	3000 devir/dk
Frekans	50 Hz
Soğutma Tipi	Hidrojen-Su

Çizelge 8.5. Santralin baca gazı kükürt arıtma tesisi teknik bilgileri

İmalatçısı	Mitsubishi-Japonya
Baca Gazı Debisi (Maks.) (Islak Bazda)	2 226 280 Nm ³ /h
Baca Gazı Debisi (Maks.) (Kuru Bazda)	1 525 447 Nm ³ /h
Verim	%95
Baca Gazı Giriş Sıcaklığı	155-173 °C
Baca Gazı Çıkış Sıcaklığı	65-75 °C

Rankine çevriminde çalışan santralin ısı dengesi diyagramı Ek 2’de verilmiştir. Santralin her bir ünitesindeki kazan 538 °C’de ve 170 bar basınçta kızgın buhar üretmektedir. 58,84 bar basınca sahip püskürtme suları kazanın sıcaklık ve basınç değerlerini istenen işletme koşullarında tutmak üzere gerektiğinde kullanılmaktadır. Her kazan, biri yedek olan, 180 t/h kapasiteli beş değirmen ile saatte en fazla 725 ton linyit kömürüyle beslenebilmektedir. Kazanın 54 m yüksekliğindeki kotundan alınan taze hava, iki adet fan ile ön ısıtıcılara gönderilirken, ekonomizörden geçen çürük gaz ısını taze havaya geçirmesi amacıyla iki adet fan ile yine ön ısıtıcıya gönderilmektedir.

Afşin-Elbistan B Termik Santrali, tam güçte her biri 3000 devir/dakika devir hızında 360 MW güç üreten ve tam güçte 2,457 kCal/kWh özgül ısı sarfıyatı olan dört adet türbin-jeneratör grubuna sahiptir. Santralin mevcut durumunda 344 MW çıkış gücü ile elektrik elde edilmektedir. Kazandan kızdırılmış halde çıkan buhar önce yüksek basınç türbinine (YBT) girip güç ürettikten sonra, yeniden kızdırılmak üzere kazana gönderilir, burada 37,3 bar basınçta sıcaklığı 538 °C'ye çıkartılarak orta basınç türbininde (OBT) sonrasında da alçak basınç türbininde (ABT) güç üreterek bir kısmı buhar tahrikli besleme suyu pompasına bir kısmı ise kondensere gönderilir. Çevrimde yer alan altı ısıtıcı ve bir hava gidericiye gönderilmek üzere, türbinde farklı sıcaklık ve basınçlarda toplam yedi adet buhar çekme noktası yer almaktadır. Kazan besleme suyunun pompalanması işi 8533 kW gücündeki buhar tahrikli besleme suyu pompası tarafından yerine getirilmektedir. Alçak basınç türbininden ve buhar tahrikli besleme suyu pompasından çıkan buhar 38,66 °C'de kondenserde yoğunlaştırılarak önce ejektörden sonra gland kondenserden geçirilerek ısıtıcılara gönderilir. Bu şekilde çevrim tamamlanmaktadır.

Yapılan çalışmada yerli linyit yakıtlı en büyük kurulu güce sahip Afşin Elbistan B Termik Santralinin sahip olduğu eş değer güçteki 4 üniteden 1'inin ön kurutma sistemine sahip olduğundaki sonuçlar analiz edilmiştir. Her üniteye bulunan akışkan yataklı kazana saatte ortalama 692 ton Afşin-Elbistan linyiti beslemesi yapılmaktadır. Çizelge 8.6'da Afşin-Elbistan B Termik Santrali'nin 1 ünitesinin, santralin mevcut çalışma parametrelerine göre Afşin-Elbistan linyiti yakıldığında elde edilen referans değerleri göstermektedir.

Çizelge 8.6. Afşin Elbistan B Termik Santrali referans değerleri

Parametre	Birim	Değer
Kazan Besleme Debisi	kg/s	192,3
Linyit Alt Isıl Değeri	kCal/kg	1050
Giren Enerji	MW	845,2
Üretilen Toplam Elektrik	MW	360
Santral İç Tüketimi	MW	16
Üretilen Net Elektrik	MW	344
Net Verim	%	40,7

Çalışmada referans olarak seçilen termik santral için mevcut yakıt olarak kullanılması nedeniyle Afşin-Elbistan linyiti ve yerli linyit kaynakları arasında büyük bir paya sahip olması ve ortalama nem miktarının kurutmaya elverişli olması nedeniyle Yatağan linyiti analizlerde kullanılmıştır. Ön kurutmanın santral üzerine etkileri incelenirken seçilen linyit

numunelerinin literatür değerleri yerine deneysel çalışma ile elde edilen sonuçlar kullanılacaktır. Homojenlik elde edilmesi ve sonuçların geneli kapsamı için linyit numunelerinin stok alanlarından 2 aylık periyotlarda numuneler alınarak karıştırıldıktan sonra, Bölüm 7’de belirtilen deneyler gerçekleştirilmiştir. Linyit numunelerinin analiz sonuçları Çizelge 8.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.7. Linyit numunelerinin analiz sonuçları

Analiz	Birim	Afşin-Elbistan Linyiti	Yatağan Linyiti
Yüzey Nemi Tayini	% (Yaş Bazda Ağırlık)	50,46	38,39
Kükürt	% (Ağırlık)	1,61	1,93
Toplam Karbon	% (Ağırlık)	30,687	36,823
Hidrojen	% (Ağırlık)	1,342	1,963
Azot	% (Ağırlık)	1,452	0,735
Higroskopik Nem	% (Ağırlık)	2,937	2,919
Uçucu Madde	% (Ağırlık)	48,285	33,810
Kül	% (Ağırlık)	41,866	42,430
Sabit Karbon	% (Ağırlık)	6,912	20,841
Kuru Bazda Üst Isıl Değer	kCal/kg	2658	3323
Kuru Bazda Alt Isıl Değer	kCal/kg	2587	3220
Havada Kuru Bazda Üst Isıl Değer	kCal/kg	2580	3226
Havada Kuru Bazda Alt Isıl Değer	kCal/kg	2511	3126
Orjinal Bazda Üst Isıl Değer	kCal/kg	1311	2051
Orjinal Bazda Alt Isıl Değer	kCal/kg	988	1765

8.2. Teorik Analiz

8.2.1. Yanma reaksiyonları ve baca gazı analizi

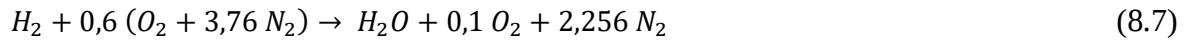
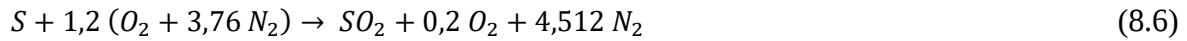
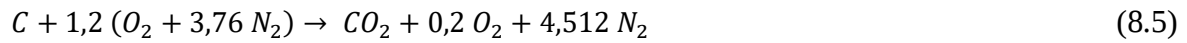
Bir yakıtın tam yanması için gereken minimum hava miktarına stokiyometrik hava denir. Bir yakıtın stokiyometrik hava ile tamamen yanması sırasında meydana gelen ideal yanma işlemine de stokiyometrik yanma denir. Bunların yanında, gerçek yanma işleminde tam yanmayı sağlamak ve yanma odasının sıcaklığını kontrol etmek için stokiyometrik miktardan daha fazla hava kullanılır. Fazla kullanılan havanın, stokiyometrik havaya oranı da Eş. 8.1’deki hava fazlalık katsayısı ile gösterilir [47].

$$\lambda = \frac{HY_{gerçek}}{HY_{stokiyometrik}} \quad (8.1)$$

Analizi yapılan kömürün yanması neticesinde aşağıdaki yanma reaksiyonları oluşur.



Yanma reaksiyonu için hava fazlalık katsayısı 1,2 olarak alınırsa gerçek yanma reaksiyonları aşağıdaki gibi oluşur. Yakıt bünyesindeki nem ise gaz halinde H₂O oluşturur. Azot ise inert gaz gibi davranarak tepkimeye girmeden çıkar.



Yanma reaksiyonları neticesinde oluşan baca gazı karışımının özgül ısısı Eş. 8.8'deki gibi detaylandırıldığında Eş. 8.9'daki gibi hesaplanır [47]:

$$c_{p,m} = \sum_{i=1}^k m f_i c_{p,i} \text{ (kJ/kg.K)} \quad (8.8)$$

$$c_{p,m} = \frac{m_{CO_2}}{m_{toplam}} x c_{p,CO_2} + \frac{m_{SO_2}}{m_{toplam}} x c_{p,SO_2} + \frac{m_{H_2O}}{m_{toplam}} x c_{p,H_2O} + \frac{m_{O_2}}{m_{toplam}} x c_{p,O_2} + \frac{m_{N_2}}{m_{toplam}} x c_{p,N_2} \quad (8.9)$$

Baca gazının diğer özellikleri ise Eş. 8.8'de olduğu gibi hesaplanabilmektedir [47].

$$x_{p,m} = \sum_{i=1}^k m f_i x_{p,i} \quad (8.10)$$

Burada x ifadesi, baca gazının hesaplanması istenen özelliğini ifade etmektedir. Baca gazının debisi ise deneysel yöntemlerle muhtevası belirlenen kömür numunelerin yanması sonucunda yanma reaksiyonları ile elde edilen gazlarının debilerinin toplamına eşittir.

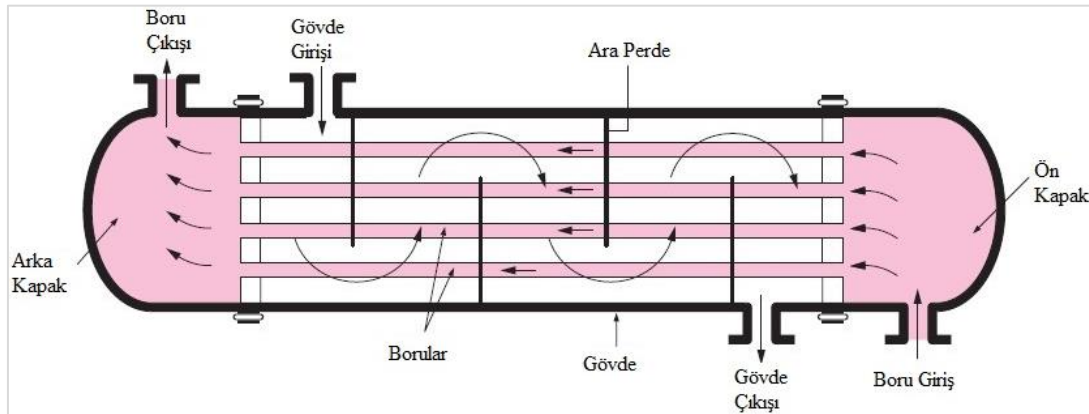
$$\dot{m}_{baca} = \dot{m}_{yakıt} x \frac{kg \text{ yanma ürünü}}{kg \text{ yakıt}} \quad (8.11)$$

Ayrıca kurutma işlemlerinde ve ısı değıştircilerde baca gazının kullanılmasında çiy noktası sıcaklığı büyük önem taşımaktadır. Baca gazının çiy noktası, baca gazının içerisindeki gazların sabit basınç altında soğutulurken ürünler içinde bulunan su buharının yoğunlaşmaya başladığı sıcaklıktır [47]. Bir gaz-buhar karışımının çiy noktası, su buharının kısmi basıncına karşılık gelen doygunluk sıcaklığıdır. Baca gazındaki su buharının kısmi basıncı Eş. 8.12 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$P_{su} = \left(\frac{N_{su}}{N_{top}} \right) * P_t \quad (8.12)$$

8.2.2. Gövde borulu ısı değıştirici analizi

Gövde borulu ısı değıştircileri çok yönlü bir ısı eşanjörü tipidir. Proses endüstrilerinde, termik ve nükleer santrallerdeki yoğunlaştırucularda, basınçlı su reaktörlü termik santrallerde buhar üretiminde ve besleme suyu ısıtıcılarında kullanılırlar. Gövde borulu ısı değıştircileri, silindirik bir gövdeye monte edilmiş daire kesitli borulardan oluşmaktadır. Bir akışkan boruların içinde akarken, diğer akışkan eşanjörün eksenine boyunca akmaktadır. Bu değıştiricinin ana bileşenleri borular (boru demeti), gövde, ön ile arka kapak ve ara perdelerdir. Gövde borulu çapraz akışlı bir geçişli tipik bir ısı değıştirici Şekil 8.1'de gösterilmiştir.



Şekil 8.1. Çapraz akışlı ısı değıştiricinin şematik gösterimi [47]

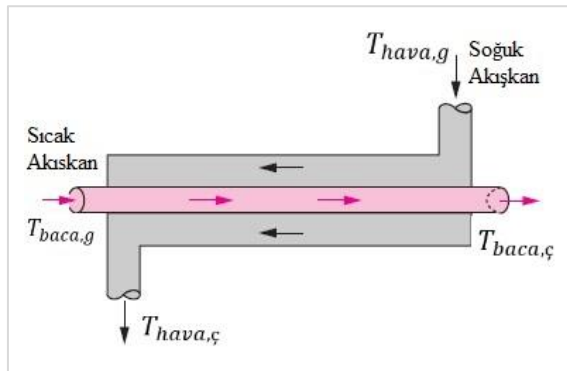
Gövde borulu ısı değıştircilerde, gövde eksenine paralel olarak yerleştirilmiş çok sayıda boru bulunmaktadır. Isı transferini iyileştirmek ve borular arasında üniform aralığı korumak amacıyla gövde içinde ara perdeler yerleştirilmiştir. Ayrıca ısı transferini

iyileştirmek için boru tarafında geçişler yapılması sağlanabilmektedir. Sürekli akış sistemlerinde, kinetik ve potansiyel enerjideki değişimler ihmal edilebilir ve iş etkileşimi yoksa enerji dengesi aşağıdaki gibidir.

$$\dot{Q} = \dot{m} \times c_p \times \Delta T \quad (8.13)$$

Sistemde ısı üretimi yoksa ve sistemin ısı enerji değişimi yoksa giren enerji, çıkan enerjiye eşittir.

$$\dot{Q}_{giren} = \dot{Q}_{çıkan} \quad (8.14)$$



Şekil 8.2. Isı değiştiricideki çapraz akışın şematik gösterimi [47]

$$\dot{Q}_{giren} = \dot{m}_{baca} \times c_{p\ baca} \times (T_{baca,g} - T_{baca,\varsigma}) \quad (8.15)$$

$$\dot{Q}_{çıkan} = \dot{m}_{hava} \times c_{p\ hava} \times (T_{hava,\varsigma} - T_{hava,g}) \quad (8.16)$$

Şekil 8.2’de görüldüğü gibi çapraz akış neticesinde ısı değiştiricide 160 °C’deki baca gazı ısı değiştiriciye girip 100 °C’de çıkarken, temiz hava 20 °C’de girip ve 100 °C’de çıkmaktadır.

Sıcak ve soğuk akışkanlar arasındaki sıcaklık farkı, ısı değiştirici boyunca değiştiği için bir ΔT_{lm} ortalama sıcaklık farkının bulunması gerekmektedir. Soğuk ve sıcak akışkanlar arasında ΔT sıcaklık farkı, ısı değiştiricinin girişinde yüksektir ve çıkışa doğru üstel olarak azalır. Bu yüzden ısı değiştiricinin çözümlenmesinde logaritmik ortalama sıcaklık farkı yöntemi kullanılır. Bu yöntem kullanılarak, ısı transferi Eş. 8.17’deki gibi hesaplanır.

$$\dot{Q} = U \times A_s \times \Delta T_{lm} \quad (8.17)$$

$$\Delta T_{lm,cf} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad (8.18)$$

Çapraz akışlı ısı değiştiriciler için;

$$\Delta T_1 = T_{baca,g} - T_{hava,\phi} \quad (8.19)$$

$$\Delta T_2 = T_{baca,\phi} - T_{hava,g} \quad (8.20)$$

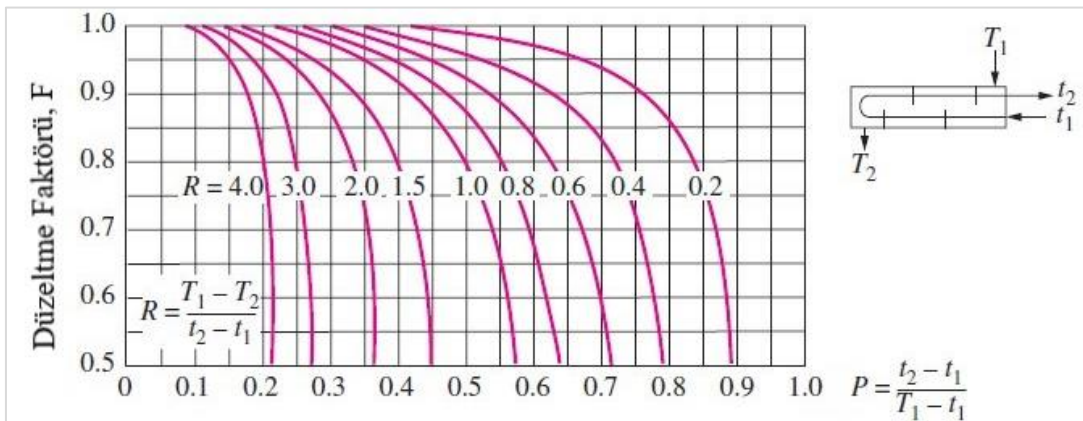
Çok geçişli gövde-borulu ısı değiştiriciler için logaritmik ortalama sıcaklık farkının elde edilebilmesi için düzeltme faktörü ile ilişkilendirilmesi uygun olur. Düzeltme faktörü ısı değiştiricinin geometrisine, sıcak ve soğuk akışkanların giriş ve çıkış sıcaklıklarına bağlıdır.

$$\Delta T_{lm} = F \times \Delta T_{lm,cf} \quad (8.21)$$

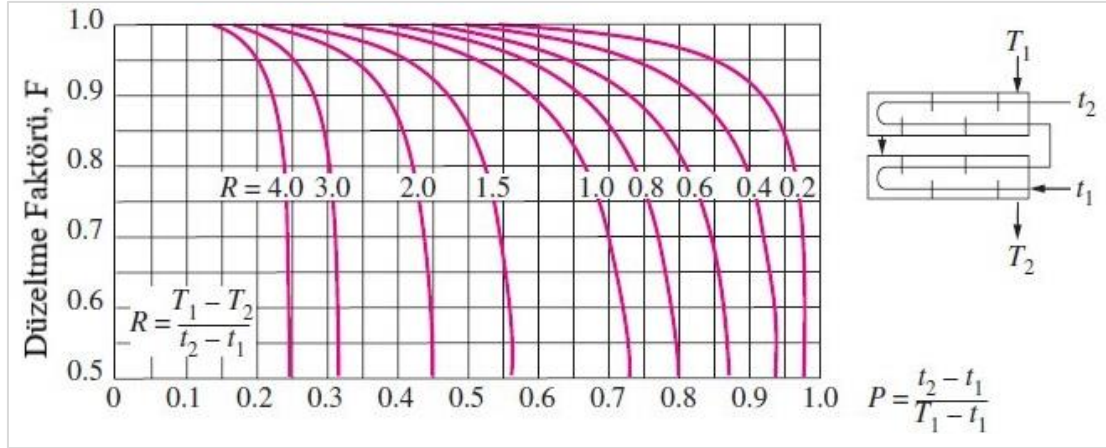
Düzeltme faktörü Eş. 8.22 ve 8.23'teki değerlerine göre Şekil 8.3 veya Şekil 8.4'ten elde edilir.

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad (8.22)$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (8.23)$$



Şekil 8.3. Bir gövde ve 2, 4, 6 vs. boru geçişli ısı değiştiriciler için düzeltme faktörü [47]



Şekil 8.4. İki gövde ve 4, 8, 12 vs. boru geçişli ısı değıştirciler için düzeltme faktörü [47]

Düzeltilme faktörü elde edildikten sonra logaritmik sıcaklık farkı elde edilir. Eş. 8.17’de belirtilen ısı transfer katsayısı ve ısı transferi yapılan alan, gövde borulu ısı değıştirciler için aşağıdaki gibi hesaplanır [70].

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{r_o}{r_i} \frac{1}{h_i} + R_{ft} \frac{r_o}{r_i} + R_{ft} + r_o \frac{\ln(\frac{r_o}{r_i})}{k} \quad (8.24)$$

$$A_s = N_t \times \pi \times D_o \times L \quad (8.25)$$

Boruların iç kısmındaki akış, laminar veya türbülanslı olabilir. Akışın türü, Reynolds sayısı ile bağlantılıdır. Dairesel borulardaki akışta Reynolds sayısı Eş. 8.26’daki gibi tanımlanır.

$$Re = \frac{\rho V_{ort} D_i}{\mu} = \frac{V_{ort} D_i}{\nu} \quad (8.26)$$

Eğer Re sayısı 2300’dan küçük olursa akış, laminar; 10000’den büyük olursa türbülanslı olur. Re sayısının ikisinin arasında olduğu durumlarda ise geçiş akışı durumu gözlenir.

$$\frac{\dot{m}}{\rho} = \dot{V} \quad (8.27)$$

Eş. 8.27 yardımıyla kütleli debisi ve yoğunluğu bilinen baca gazının hacimsel debisi elde edilir. Eş. 8.28 yardımıyla da baca gazının ortalama hızı elde edilir.

$$V_{ort} = \frac{\dot{V}}{(\pi \cdot \frac{D_i^2}{4})} \quad (8.28)$$

Reynolds sayısı hesap edildikten sonra akış laminar ise sabit yüzey ısı akısı için Nu sayısı $\frac{Re Pr D_i}{L}$ ifadesi, 1000'den büyükse Eş. 8.29 yardımıyla hesaplanırken; 100'den küçükse Nu sayısı 3,66 olarak kabul edilir [70].

$$Nu = 1,61 \left(\frac{Re Pr D_i}{L} \right)^{1/3} \quad (8.29)$$

Benzer şekilde akış laminar ve sabit yüzey sıcaklığı mevcutsa Nu sayısı $\frac{Re Pr D_i}{L}$ ifadesi, 100'den büyükse Eş. 8.30 yardımıyla hesaplanırken; 10'dan küçükse Nu sayısı 4,36 olarak kabul edilir [70].

$$Nu = 1,953 \left(\frac{Re Pr D_i}{L} \right)^{1/3} \quad (8.30)$$

Akış geçiş bölgesinde ise Nusselt sayısı Eş. 31 yardımıyla hesaplanır [71].

$$Nu = 0,116 \left(Re^{\frac{2}{3}} - 125 \right) \left(Pr^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu_f}{\mu_w} \right)^{0,14} \right) \left(D_i + \frac{D_i}{L} \right)^{1/3} \quad (8.31)$$

Türbülanslı akışlar içinse daha yüksek ısı transfer katsayılarına çıkıldığından dolayı akıştaki pürüzsüz borulardaki sürtünme katsayısı Eş. 8.32 yardımıyla hesap edilir ($3000 < Re < 5 \times 10^6$) ve Gnielinski korelasyonu (Eş. 8.33) ile Nusselt sayısı elde edilir ($3 \times 10^3 < Re < 5 \times 10^6$; $0,5 \leq Pr \leq 2000$) [47].

$$f = (1,58 \cdot \ln(Re) - 3,28)^{-2} \quad (8.32)$$

$$Nu_b = \frac{\left(\frac{f}{2} \right) \cdot (Re - 1000) \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot \left(\frac{f}{2} \right)^{0,5} \cdot (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} \quad (8.33)$$

Nusselt sayısı hesap edildikten sonra iç taşınım katsayısı Eş. 8.34 yardımıyla hesaplanır [47].

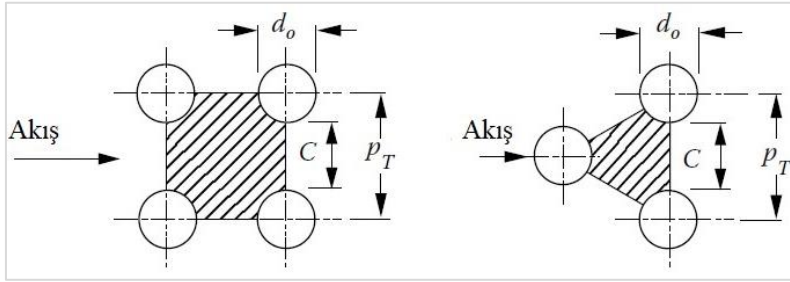
$$h_i = \frac{Nu_b \cdot k}{D_i} \quad (8.34)$$

Gövde tarafındaki taşınım boru demetleri üzerinde gerçekleşen zorlanmış dış taşınımdır. Hesaplamaların yapılabilmesi için gövde tarafı taşınım katsayısının hesaplanması

gerekmektedir. Boru gövdeli ısı değıştircilerde kullanılan ara bölmelerin tasarıma iki yönden faydası vardır. Bunlardan ilki boruları yapısal rijitlik yönünden destekleyerek boruların titreşimini ve sarkmasını engellemek. Diğeri ise ısı transfer katsayısını artırarak akışı gövde boyunca yönlendirmektir. Gövde kısmındaki ısı transferi $2300 < Re < 1 \times 10^6$ durumu için Eş. 8.35 kullanılmıştır [70].

$$\frac{h_o \cdot D_e}{k} = 0,36 \cdot \left(\frac{D_e \cdot G_s}{\mu}\right)^{0,55} \cdot \left(\frac{c_p \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad (8.35)$$

Eş. 8.35'te belirtilen D_e , eşdeğer çaptır, akışın boru demetlerinin dizilişine göre Şekil 8.5 ile birlikte kare düzeni için Eş. 8.36 veya üçgen düzeni için Eş. 8.37 yardımıyla hesaplanır.



Şekil 8.5. Kare ve üçgen boru aralıkları düzeni

$$D_e = \frac{4(P_T^2 - \frac{\pi D_o^2}{4})}{\pi D_o} \quad (8.36)$$

$$D_e = \frac{4(\frac{P_T^2 \sqrt{3}}{4} - \frac{\pi D_o^2}{8})}{\frac{\pi D_o}{2}} \quad (8.37)$$

Eş. 8.35'te belirtilen, G_s , gövde tarafı kütle hızını hesaplanabileceği serbest akış alanı yoktur. Bu nedenle, G_s 'nin kurgusal değerleri, gövde merkezine tekabül eden maksimum akış alanına sahip olan hipotetik boru demeti üzerindeki çapraz akış alanına dayanarak tanımlanabilir. Gövde tarafı kütle hızı Eş. 8.38 ve 8.39 yardımıyla hesaplanır.

$$A_s = \frac{D_s \cdot C \cdot B_f}{P_T} \quad (8.38)$$

$$G_s = \frac{\dot{m}}{A_s} \quad (8.39)$$

Ayrıca Eş. 8.35'te belirtilen μ_b, T_b sıcaklığındaki, μ_w ise T_w sıcaklığındaki kinematik viskozite değerleridir.

$$T_b = \frac{T_{hava,g} + T_{hava,\xi}}{2} \quad (8.40)$$

$$T_w = \frac{1}{2} \left(\frac{T_{hava,g} + T_{hava,\xi}}{2} + \frac{T_{baca,g} + T_{baca,\xi}}{2} \right) \quad (8.41)$$

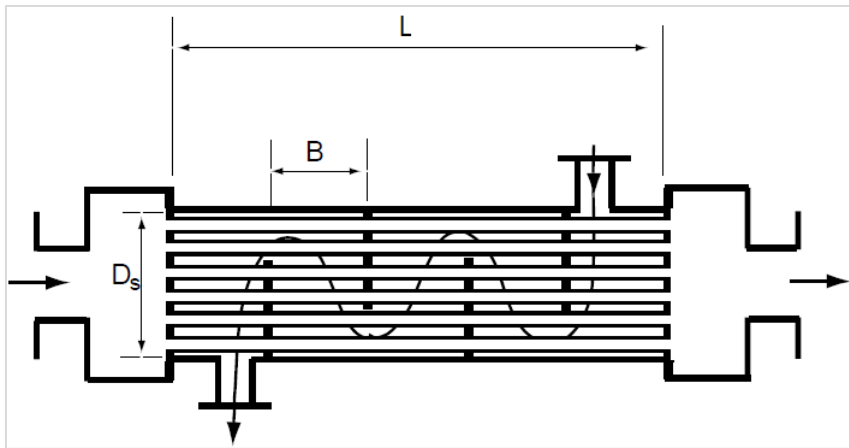
Gövde borulu ısı değiştiricilerde akışkanların hareketinde ve taşınımından kaynaklı basınç düşüşü yaşanmaktadır. Akışın gövde tarafındaki basınç düşüşü Eş. 8.42 yardımıyla hesap edilirken, sürtünme katsayısı da Eş. 8.43 yardımıyla hesaplanır. Diğer tarafta borulardaki basınç düşüşü ise Eş. 8.44'te ifade edildiği gibi hesaplanır.

$$\Delta p_G = \frac{f G_s^2 (N_b + 1) D_s}{2 \rho D_e \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{0,14}} \quad (8.42)$$

$$f = \exp (0,576 - 0,19 \ln Re) \quad (8.43)$$

$$\Delta p_B = \left(4f \frac{LN_P}{D_i} + 4N_P \right) \frac{\rho V_{ort}^2}{2} \quad (8.44)$$

Isı değiştiricinin çözümlemesinde transfer edilen ısı, logaritmik sıcaklık farkı ve ısı transfer katsayısının hesaplanmasından sonra, A_s elde edilir. Daha sonra ısı değiştiricinin gövdesinin çapı Eş. 8.45 yardımıyla hesap edilir (Şekil 8.6).



Şekil 8.6. Bir gövdeli bir boru geçişli ısı değiştiricinin boyutları

$$D_s = 0,637 \cdot \sqrt{\frac{CL}{CTP}} \cdot \left(\frac{A_o \cdot PR^2 \cdot D_o}{L} \right)^{0,5} \quad (8.45)$$

Eş. 8.45'te belirtilen $PR=P_T/d_o$, $A_o=A_s$ 'dir. CL, boru demeti kare düzeninde ise 1, üçgen düzeninde ise 0,87'dir. CTP ise boru sayısı hesaplama sabitidir. CTP, bir geçişli boru demeti için 0,93, iki geçişli boru demeti için 0,90, üç geçişli boru demeti için 0,85 ve daha fazla geçişli borular için 0,8'dir.

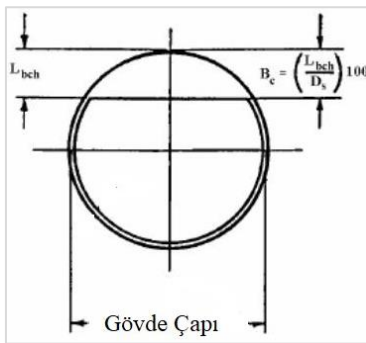
Eş. 8.17 ve 8.25 yardımıyla gövde borulu ısı değiştiricinin uzunluğu da hesap edilir. Ayrıca boru sayısı tasarım dışında hesap edilmek istendiği durumlarda Eş. 8.46 yardımıyla elde edilebilir.

$$N_t = 0,785 \cdot \left(\frac{CTP}{CL} \right) \cdot \frac{D_s^2}{PR^2 \cdot D_o^2} \quad (8.46)$$

Ara bölme sayısı tasarıma özgü olabileceği gibi Eş. 8.47 ya da Eş. 8.48 yardımıyla da hesaplanabilir. Ara bölmenin alanı ile ara bölme kesim alanı olarak yüzdesel olarak ifade edilir. Şekil 8.7'de görüldüğü gibi kesim alanı ise Eş. 8.49 yardımıyla ifade edilir.

$$0,4 \times D_s < B_f < 0,6 \times D_s \quad (8.47)$$

$$B_f = \frac{L}{N_B + 1} \quad (8.48)$$

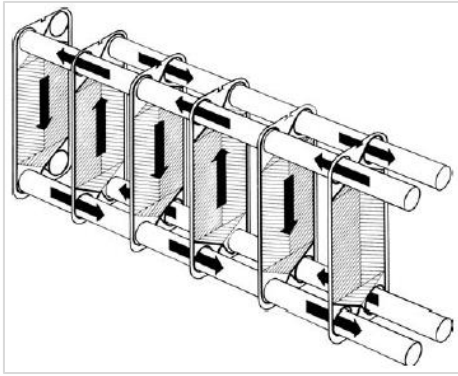


Şekil 8.7. Ara bölme kesit alanı [70]

$$B_c = \frac{L_{bch}}{D_s} \times 100 \quad (8.49)$$

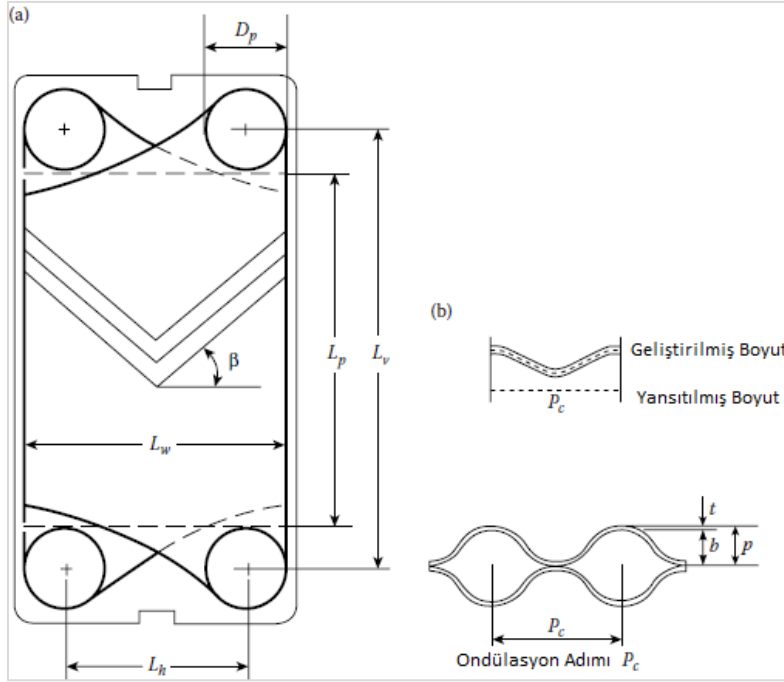
8.2.3. Plakalı ısı değıştirci analizi

Plakalı ısı değıştirci, ısı iletim yüzeyini artırmak üzere birbiri ardına dizilmiş ve üzerlerinde akışkan giriş/çıkış ağızları bulunan özel baskı kanallı metal plakalardan meydana gelmektedir (Şekil 8.8). Bu plakalar arasında yer alan özel kauçuk esaslı contalar, birinden diğerine ısı iletimi gerçekleştiren birincil ve ikincil devre akışkanlarının cihaz içerisinde dolaşacağı akış yolunu oluşturarak akışkanların birbirine karışmasını veya dışarıya çıkmasını engeller. Bu sayede, akışkanlar ısı değıştirci içinde birer plaka atlayarak dolaşırken, sıcak akışkandan soğuk akışkana, aradaki plaka üzerinden ısı iletimi gerçekleşir. Isı iletimi plakaları ve aralarındaki contalardan oluşan paket, biri sabit değeri hareketli iki baskı plakası arasında, gergi çubukları ile belirli bir toplam kalınlığa kadar sıkıştırılarak, ısı değıştircinin sızdırmazlığı sağlanır.



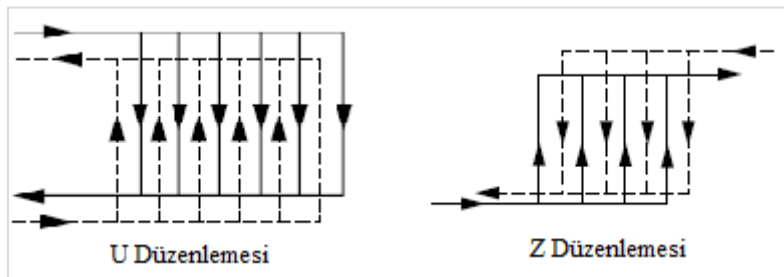
Şekil 8.8. Bir geçişli ve karşı akışlı plakalı ısı değıştircinin şematik gösterimi [70]

En yaygın olarak kullanılan plakalı eşanjör tipi v kanallı eşanjördür. V kanallı tipte, bitişik plakalar, akış kanalındaki akışkanlara dönen hareket sağlayacak şekilde monte edilir; oluklu desenler ise, v kanal açısı β olarak adlandırılan bir açığa sahiptir (Şekil 8.9). Kanal açısı, bitişik plakalar üzerinde ters çevrilerek plakalar birbirine kenetlendiğinde, kıvrımların çok sayıda noktada temas etmesini sağlar. Birçok destek noktası nedeniyle, plakalar genellikle 0,6 mm olan çok ince malzemeden yapılır. Kanal açısı yaklaşık 65° ve 25° arasında değışir ve plakanın basınç düşmesini ve ısı transfer özelliklerini belirler [70].



Şekil 8.9. (a) V kanallı plakanın boyutları; (b) geliştirilmiş ve yansıtılmış boyutlar [70]

Contalı plakalı ısı değiştiricide geçiş, akışın aynı yönde olduğu bir grup kanalı ifade etmektedir. Şekil 8.10, U ve Z düzenleme tiplerinin tek geçişli bir düzenlemesini göstermektedir. U düzenlemesindeki dört bağlantı noktasının tümü sabit kafa plakası üzerinde olacaktır, böylece herhangi bir dış boruya zarar vermeden temizleme veya onarım için eşanjörün sökülmesine izin vermektedir. Bu düzenlemede, akış dağılımı Z düzenlemesinden daha az düzenlidir. Tasarlanan sistemde ısı geri kazanımlı sistem tasarımı yapıldığı için Z düzenlemeli eşanjör seçimi yapılmıştır.



Şekil 8.10. Bir geçişli çapraz akışlı U ve Z düzenlemeleri [70]

Kanallar, orijinal düz alana kıyasla plakanın yüzey alanını artırır. Geliştirilen uzunluğun öngörülen uzunluğa göre artışını ifade etmek için, bir genişleme faktörü, Φ , tanımlanır.

Genişleme faktörü 1,15 ile 1,25 arasında değişmektedir. 1,17 değerinin tipik bir eşanjör için ortalama değer olduğu varsayılmaktadır [70].

$$\phi = \frac{\text{Geliştirilen Uzunluk}}{\text{Tasarlanan Uzunluk}} \quad (8.50)$$

Eş. 8.50'de verilen ϕ değeri, üretici tarafından belirtilen fiili etkin alanın, tasarlanan plaka alanına oranıdır:

$$\phi = \frac{A_1}{A_{1p}} \quad (8.51)$$

A_{1p} yaklaşık olarak Eş. 8.52 yardımıyla hesaplanır.

$$A_{1p} = L_p \cdot L_w \quad (8.52)$$

L_p, L_w değerleri ise yaklaşık olarak Eş. 8.53 ve 8.54 yardımıyla hesaplanır.

$$L_p \approx L_v - D_p \quad (8.53)$$

$$L_w \approx L_h + D_p \quad (8.54)$$

Akış kanalı, contalar arasında iki bitişik plakadan oluşan kanaldır. Oluklu bir yüzeyin en karmaşık kesiti olan, Şekil 8.12.b'de gösterilen ortalama kanal aralığı Eş. 8.55'deki gibi hesaplanır.

$$b = p - t \quad (8.55)$$

p , oluklu plakanın plaka aralığı veya dış derinliği aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$p = \frac{L}{N_t} \quad (8.56)$$

Kanalların hidrolik çapı ise Eş. 8.57'de gösterildiği hesap edilir ($b \ll L_w$).

$$D_h = \frac{4 b L_w}{2 (b + L_w \phi)} \approx \frac{2b}{\phi} \quad (8.57)$$

Sürekli akış sistemlerinde, kinetik ve potansiyel enerjideki değişimler ihmal edilebilir ve iş etkileşimi yoksa enerji dengesi Eş. 8.13'teki gibidir. Sistemde ısı üretimi yoksa ve sistemin ısı enerji değişimi yoksa giren enerji, çıkan enerjiye eşittir. Baca gazının ve havanın ısı denge denklemleri 8.14, 8.15 ve 8.16'da verilmiştir.

Sıcak ve soğuk akışkanlar arasındaki sıcaklık farkı, ısı değiştirici boyunca değiştiği için bir ΔT_{lm} ortalama sıcaklık farkının bulunması uygun olur. Soğuk ve sıcak akışkanlar arasında ΔT sıcaklık farkı, ısı değiştiricinin girişinde yüksektir ve çıkışa doğru üstel olarak azalır. Bu yüzden ısı değiştiricinin çözümlenmesinde logaritmik ortalama sıcaklık farkı yöntemi kullanılır (Eş. 8.18). Bu yöntem kullanılarak, ısı transferi Eş. 8.58'deki gibi hesaplanır.

$$\dot{Q} = U_f \times A_s \times \Delta T_{lm} \quad (8.58)$$

Çapraz akışlı ısı değiştiriciler için ΔT_1 değeri Eş. 8.19'daki gibi hesaplanırken; ΔT_2 değeri ise Eş. 8.20'deki gibi hesaplanır. Eş. 8.58'de belirtilen ısı transfer katsayısı ve ısı transferi yapılan alan, plakalı ısı değiştiriciler için temiz yüzeyler için Eş. 8.59, kirlenme koşulları için Eş. 8.60'daki gibi hesaplanır.

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{h_h} + \frac{1}{h_c} + \frac{t}{k_w} \quad (8.59)$$

$$\frac{1}{U_f} = \frac{1}{h_h} + \frac{1}{h_c} + \frac{t}{k_w} + R_{ft} + R_{fc} \quad (8.60)$$

Contalı plakalı ısı değiştiricileri ile ısı transferi artırılır. Isı transferi artışı, akış yönüne göre kanal eğim açısına bağlıdır. Isı transferi ve sürtünme faktörü eğim açısı ile artar. Öte yandan, bir chevron plakasının performansı ayrıca yüzey genişleme faktörüne, oluk profiline, kanal en boy oranı, sıcaklığa bağlı fiziksel özelliklere ve özellikle de değişken viskozite etkilerine bağlıdır. Akışın karakteristiği, Reynolds sayısı ile bağlantılıdır. Reynolds sayısı aşağıdaki gibi tanımlanır [70].

$$Re = \frac{G_c D_h}{\mu_f} \quad (8.61)$$

$$G_c = \frac{\dot{m}}{N_{cp} b L_w} \quad (8.62)$$

Burada N_{cp} , geçiş başına kanal sayısıdır ve Eş. 8.63'deki gibi hesaplanır.

$$N_{cp} = \frac{N_t - 1}{2N_p} \quad (8.63)$$

Reynolds sayısına bağlı olarak, kullanılan plakaların kanal açısı ile birlikte ısı transfer katsayısı ve basınç düşüşü hesaplanabilmesi için Çizelge 8.8'de verilen değerler kullanılır.

Çizelge 8.8. Plakalı ısı değiştirici hesabı için ısı transferi ve basınç kaybı sabitleri [70]

Kanal Açısı	Isı Transferi			Basınç Kaybı		
	Reynolds Sayısı	C_h	n	Reynolds Sayısı	K_p	m
≤ 30	≤ 10	0.718	0.349	< 10	50.000	1.000
	> 10	0.348	0.663	10–100	19.400	0.589
				> 100	2.990	0.183
45	< 10	0.718	0.349	< 15	47.000	1.000
	10–100	0.400	0.598	15–300	18.290	0.652
	> 100	0.300	0.663	> 300	1.441	0.206
50	< 20	0.630	0.333	< 20	34.000	1.000
	20–300	0.291	0.591	20–300	11.250	0.631
	> 300	0.130	0.732	> 300	0.772	0.161
60	< 20	0.562	0.326	< 40	24.000	1.000
	20–400	0.306	0.529	40–400	3.240	0.457
	> 400	0.108	0.703	> 400	0.760	0.215
≥ 65	< 20	0.562	0.326	50	24.000	1.000
	20–500	0.331	0.503	50–500	2.800	0.451
	> 500	0.087	0.718	> 500	0.639	0.213

Reynolds sayısı hesap edildikten Çizelge 8.6'da belirtilen sabitler kullanılarak Eş. 8.64 yardımıyla taşınım katsayısı hesaplanır [70].

$$\frac{hD_p}{k} = C_h \left(\frac{D_h G_c}{\mu} \right)^n \left(\frac{c_p \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_f}{\mu_w} \right)^{0.17} \quad (8.64)$$

Plakalı ısı değiştiricideki basınç kaybının hesaplanabilmesi için öncelikle sürtünme faktörü Eş. 8.65'deki gibi hesaplanır [70].

$$f = \frac{K_p}{Re^m} \quad (8.65)$$

Kanaldaki basınç kaybı Eş. 8.66 yardımıyla hesaplanırken plakadaki basınç kaybı Eş. 8.65 yardımıyla hesaplanır [70].

$$\Delta p_c = 4f \frac{L_v N_p}{D_h} \frac{G_c^2}{2\rho} \left(\frac{\mu_f}{\mu_w} \right)^{-0,17} \quad (8.66)$$

$$\Delta p_p = 1,4 N_p \frac{G_p^2}{2\rho} \quad (8.67)$$

$$G_p = \frac{4\dot{m}}{\pi D_p^2} \quad (8.68)$$

Isı plakalı ısı değiştiricideki toplam basınç kaybı ise Eş. 8.69'daki gibidir.

$$\Delta p_t = \Delta p_c + \Delta p_p \quad (8.69)$$

8.2.4. Akışkan yataklı kurutucu tasarımı

Akışkan yataklı kurutucularda ısı ve kütle transferi mekanizmaları aynı anda gerçekleşir. Akışkanlaştırılmış bir yatakta, uygun hızdaki havanın kömür tanecikleri ile temas ederek taneciklere uygulanan yer çekiminden kaynaklı kuvvet azaltılır ve parçacıkların yukarı doğru akan hava içerisinde asılı bir şekilde kalmasını sağlar. Akışkan yatakta taneciklerin askıda kalmasını sağlayacak akış hızına, minimum akışkanlaştırma hızı denir [72]. Minimum akışkanlaştırma hızı Eş. 8.71 yardımıyla hesaplanırken [72], Arşimet sayısı aşağıdaki gibi hesaplanır [73].

$$Ar = \frac{\rho_f d_p^3 (\rho_s - \rho_f) g}{\mu_f^2} \quad (8.70)$$

$$u_m = \frac{\mu_f}{\rho_f d_p} [(42.81^2 + 0.061 Ar)^{0.5} - 42.81] \quad (8.71)$$

Akışkan yatak tasarımı yapılırken, minimum akışkanlaştırma hızının yanında hesaba katılması gereken en önemli parametre gözeneklilik katsayısıdır. Gözeneklilik katsayısı Eş. 8.72'deki gibi hesaplanır [52].

$$\psi = 1 - \frac{V_m}{V_z} \quad (8.72)$$

Burada V_m kömür parçacıklarının yatak içerisindeki kapladığı hacimken, V_z toplam akışkan yatak hacmidir. Akışkan yataklı kurutucunun gözenekliliği, hava hızına bağlı

olduğu için 0,4 ila 1,0 aralığında değişebilmektedir. Ayrıca, endüstriyel akışkan yataklı kurutucular 0,55 ila 0,75 gözeneklilik aralığında çalışmaktadır [52].

Akışkan yataklı kurutucularda, kurutma havasının sıcaklığı azalırken, taşıdığı nem miktarı artar. Kurutma işlemi esnasında kömür tanecikleri ile hava arasında ısı ve kütle transferi gerçekleşirken, kömür taneciklerinin sıcaklığı artmaya başlar. Kurutucuda gerçekleşen türbülanslı akış için ısı transferi Eş. 8.73'teki gibi hesaplanır [47].

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.3} \quad (8.73)$$

Kurutma işleminde kütle transfer mekanizması difüzyonla gerçekleştirilir. Kütleli yayılımın esas mekanizması, yoğunluk gradyanının sonucunda oluşan moleküler yayılımdır. Kurutma uygulamalarında, aktarılan kütle genellikle su buharıdır. Kuru hava ve su buharı arasındaki gradyanın varlığı kütle transferine neden olur. Düzensiz moleküler hareketler nedeniyle, nemli hava karışımına konsantrasyonun azaldığı yönde su buharı yayılır. Kütle transferini hesaplamak için gerekli difüzyon katsayısı Eş. 8.74'deki gibi hesaplanır [47].

$$D = 1.87 \times 10^{-10} \frac{T^{2.072}}{P} \quad (8.74)$$

Kütle transferinde hız ve derişiklik sınır tabakalarında prandtl sayısı yerine schmidt sayısı kullanılır. Eş. 8.75 yardımıyla hesaplanan schmidt sayısı momentum yayılımının kütle yayılımına oranıdır [47].

$$Sc = \frac{\nu}{D} \quad (8.75)$$

Kütle transferi hesaplarken nusselt sayısı yerine sherwood sayısı kullanılır. Sherwood sayısı yüzeydeki boyutsuz derişiklik gradyanıdır ve taşınım ile kütle transferinin yayılım ile kütle transferinin oranıdır. Sherwood sayısı ve kütle aktarım katsayısı Eş. 8.76'daki gibi hesaplanır [47].

$$Sh = \frac{h_m D_h}{D} = 0.023Re^{0.8}Sc^{0.3} \quad (8.76)$$

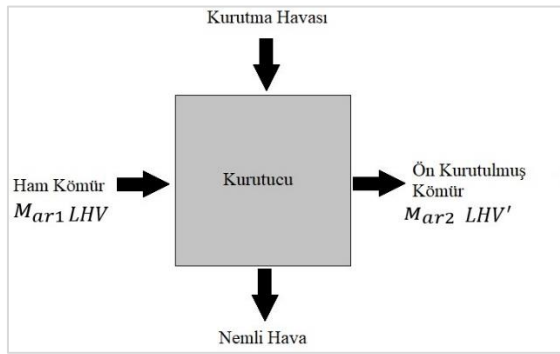
Toplam kütle transferi, konsantrasyon farkı ile hesaplanır. Hava ve su buharının ideal gaz gibi davrandığı varsayıldığında kömürden alınan toplam nem miktarı Eş. 8.77 yardımıyla hesaplanır [47].

$$\dot{m}_d = \frac{h_m A_d}{R_v} \left(\frac{P_{v,s}}{T_s} - \frac{P_{v,\infty}}{T_\infty} \right) \quad (8.77)$$

Akışkan yataklı kurutucunun yüksekliği Eş. 8.78 yardımıyla hesap edilir [52].

$$H = H_0 \frac{1-\psi_0}{1-\psi} \quad (8.78)$$

Burada H_0 kömürün hareket etmezken yataktaki yüksekliğini ifade ederken, ψ_0 ise kömür tanecikleri yine hareket etmezken gözenekliliği ifade etmektedir.



Şekil 8.11. Kömür ön kurutma prosesi

Kurutucuya giren kömürün nem içeriği ve alt ısı değeri Şekil 8.11'de gösterildiği gibi değişmektedir. Kömürün akışkan yataklı kurutucuda ortalama kalış süresi teorik olarak Eş. 8.79 yardımıyla elde edilir.

$$\tau = \frac{\rho_s A_d H (1-\psi) (M_{ar1} - \frac{(1-M_{ar1})M_{ar2}}{1-M_{ar2}})}{\dot{m}_d} \quad (8.79)$$

Kömür kurutucuya girdikten sonra sıcak havaya maruz kalarak kurumaya başlar. Sonuç olarak, kütle transferi kömürün nem içeriğinin azalmasına neden olurken havanın bünyesinde bulunan nem miktarının da artmasına neden olur. Kurutma havasının kömürdeki nemin bir kısmını aldıktan sonraki çıkış sıcaklığı psikometrik diyagram yardımıyla hesap edilir. Adyabatik nemlendirme işleminde kurutma havasının

başlangıçtaki kuru termometre sıcaklığı ve mutlak nemi bilindiği için alınan kömürden çekilen nem miktarı hesaplanarak çıkıştaki nemli havanın mutlak nemi Eş. 8.80 yardımıyla elde edilir [74]. Daha sonra mutlak nemi ve entalpisi bilinen nemli havanın çıkış sıcaklığı elde edilir.

$$w_2 = w_1 + \frac{\dot{m}_d}{\dot{m}_{hava}} \quad (8.80)$$

Nemli kömürden alınan nemin kütle akış hızını temsil eden ön kurutma derecesi Eş. 8.81'deki gibi tanımlanır.

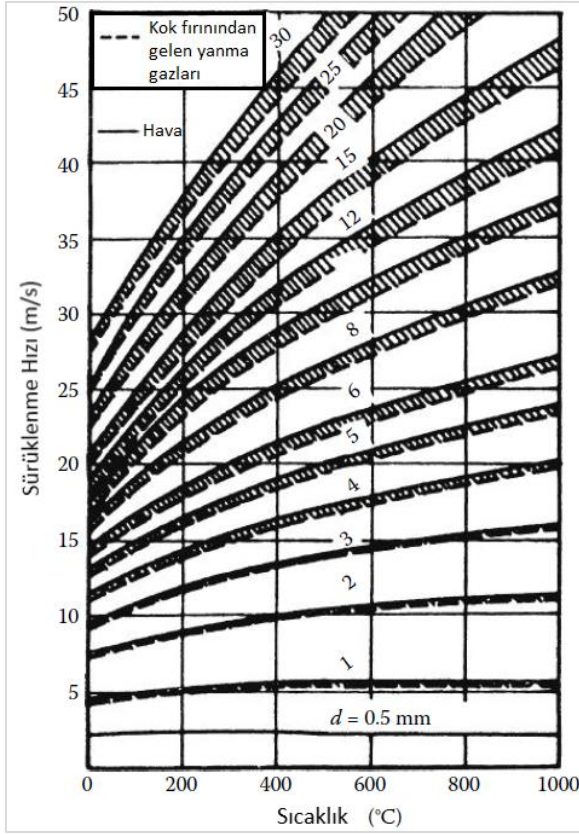
$$\mu = \frac{M_{ar1} - M_{ar2}}{M} \quad (8.81)$$

Akışkan yataklı kurutucudaki basınç düşüşü Eş. 8.82 yardımıyla hesaplanır.

$$\Delta p = H(1 - \psi)(\rho_s - \rho_f)g \quad (8.82)$$

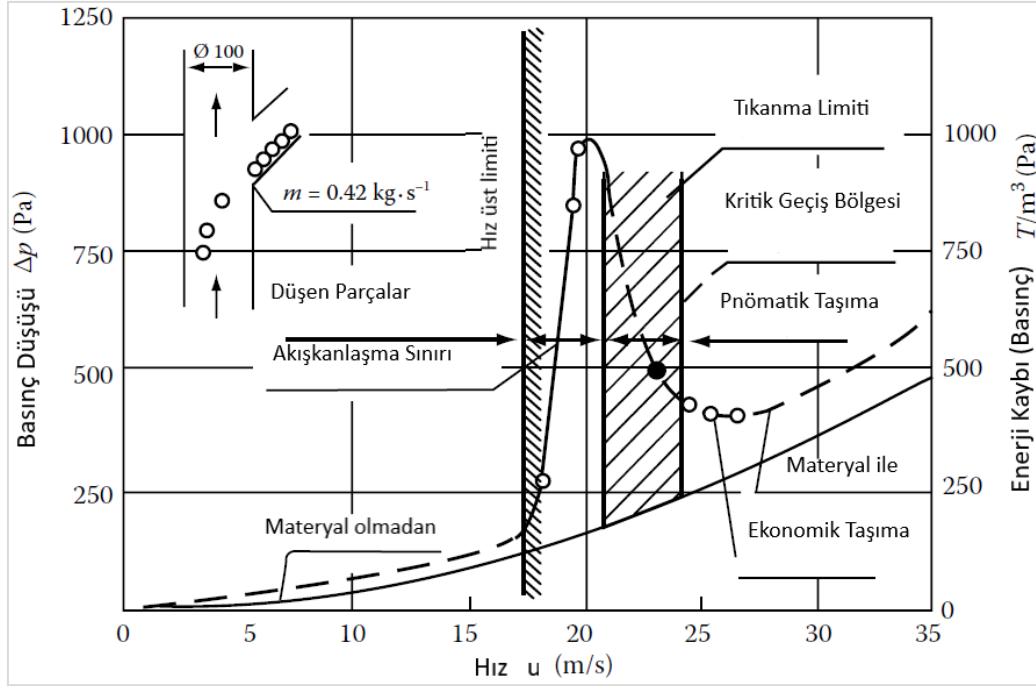
8.2.5. Pnömatik kurutucu tasarımı

Sıcak hava ile ince taneli kömürlerin karıştırılıp bir sistem içerisinde dolaştırılmasıyla malzemelerin kurutulması esasına dayanan pnömatik kurutucularda, kömür parçacıklarına minimum akışkanlaştırma hızından daha fazla hızda hava verildiğinde pnömatik hareket ile kömür taneleri ısıtılır ve kurutulur. Pnömatik kurutucuda kurutma işlemi, kömürün tane büyüklüğüne bağlı olarak ısıtma ortamı hızı ile koşullandırılır. Bu hız, Şekil 8.12'de gösterildiği gibi tane büyüklüğü ile birlikte artmaktadır [52].



Şekil 8.12. Kömür tanelerinin sürüklenme hızı [52]

Şekil 8.12'ye göre iri taneler ısıtma ortamında daha uzun süre kalır. Taneciklerin ısıtma ortamı ile temas yüzeyinin büyük olması hızlı kuruma sağlar. Kısa kuruma süresi, sadece ilk kuruma süresi yani yüzey neminin buharlaşması ile ilgilidir. Isıtma ortamı parametrelerinin bu süre üzerinde belirleyici bir etkisi vardır. Bir pnömatik kurutucunun basınç düşüşü özellikleri, Şekil 8.13'te gösterilmektedir.



Şekil 8.13. Kurutma ortamının basınç düşmesi [52]

Dikey tüpte, hava yukarı doğru akar. Hava akımının içine, küre şeklinde biçimlendirilmiş kömür taneleri beslenir. Düşük hava hızlarında küre şeklinde malzemeler aşağıya düşer; yüksek bir hızda, hava akımı tarafından tutulurlar. Malzeme tüpte toplanmaya başladığından dolayı, globüllerin tutulduğu anda basınç düşmesi hızla artar. Hızlı bir basınç düşüşü ile karakterize olan kritik bölge, pnömatik kurutucuların çalışma bölgesidir. Optimum akış hızını seçmek için tıkanma bölgesinde işlem yapılmamalıdır. Tıkanma bölgesi her kurutucuya özeldir. Burada, katı yükte hafif bir artış veya basınç düşmesinde hafif bir düşüş borunun tıkanmasına neden olur. Tıkanma bölgesi, kritik geçiş bölgesini pnömatik taşıma bölgesinden ayırır. Şekil 8.13, kömür taşımacılığını ifade etmese de, kurutulacak kömürleri taşırken davranış benzerdir. Pnömatik taşımalarda, ısı ve kütle değişimi çoğunlukla taşınım ile gerçekleşir. Kurutma ortamı ile bu ortamda kurutulmak istenen kömür parçacıkları arasındaki ısı değişimi Eş. 8.83 ile tanımlanabilir.

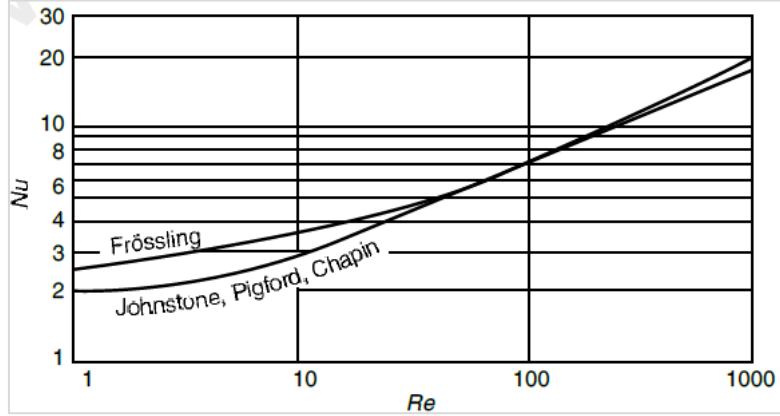
$$Nu = 2 + 0,55 Pr^{1/3} Re^{0,5} \quad (8.83)$$

Kurutucunun ilk 2 ila 3 m kurutma borusunda, kömür parçacıklarına ısı aktarımı hemen gerçekleşir, bu nedenle bu bölgedeki ısı aktarım katsayısı;

$$Nu_{max} = 0,95 \times 10^{-4} Re^{2,15}, 400 < Re < 1300 \quad (8.84)$$

$$Nu_{max} = 0,76 Re^{0,65}, 30 < Re < 400 \quad (8.85)$$

Şekil 8.14, 0 ile 100 °C'de hava ile taşınan parçacıklar arasındaki ısı transferi için Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 8.14. 0 ila 100 °C sıcaklıkta havadaki globüller tarafından ısı alımı

Gaz akışında havada asılı olan kömür partikülüne sağlanan ısı Eş. 8.86 yardımıyla hesaplanır [52].

$$\dot{Q} = h_c \pi d_p^2 \Delta T_{lm} \quad (8.86)$$

Ortalama logaritmik sıcaklık farkı ΔT_{lm} , Eş. 8.18, 8.19 ve 8.20 yardımıyla hesaplanır. Kömürdeki yüzey nemini buharlaştırmak için gerekli olan ısı miktarı ise Eş. 8.87 ile hesaplanabilir.

$$Q = \frac{\pi d_p^3}{6} \rho_s (M_{ar1} - M_{ar2}) h_{fg} \quad (8.87)$$

Kurutma işleminin süresi, Eş. 8.88'de belirtildiği gibi hesaplanır [52].

$$\tau = \frac{Q}{\dot{Q}} = \frac{d_p \rho_s}{6 h_c} \frac{M_{ar1} - M_{ar2}}{\Delta T_{lm}} h_{fg} \quad (8.88)$$

Düşük Reynolds sayıları için Nusselt sayısı aşağıdaki formülle elde edilir;

$$Nu = \frac{h_c d_p}{k} \cong 2 \quad (8.89)$$

Eş. 8.89'dan elde edilen değerin, Eş. 8.88'deki yerine koyulmasından sonra, kuruma süresi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\tau = h_{fg} \frac{d_p^2 \rho_s (M_{ar1} - M_{ar2})}{12k\Delta T_{lm}} \quad (8.90)$$

Uygulamada, nemli kömür parçacık çapı kurutulmuş kömürün çapından daha büyüktür ve parçacık çapı nemin azalmasıyla değişmeye devam eder, bu nedenle kömür parçacık çapına dayanarak kuruma süresi düzeltilmesi dikkate alınmalıdır.

Kurutma kanalının uzunluğu, yani etkili bir kurutma tüpü uzunluğu Eş. 8.91 ile hesaplanabilir [52].

$$L' = u\tau \quad (8.91)$$

Burada u hızı, kömür tanesinin kaldırma borusundan τ zamanında aktığı ortalama hızı ifade etmektedir ve Eş. 8.92'deki gibi elde edilir.

$$u = u_g - u_0 \quad (8.92)$$

Kurutma ortamının hızı yaklaşık olarak giriş hızının (sedimentasyon hızı) 1,1 ila 1,25 katı arasındadır.

$$u_g = (1,1 \sim 1,25)u_0 \quad (8.93)$$

Sedimentasyon hızının hesaplanabilmesi için, Arşimet sayısı Eş. 8.70'e göre hesaplandıktan sonra, reynolds sayısı Eş. 8.94 ve 8.95'e göre hesaplanır.

$$Re = \frac{Ar^{1/1,4}}{13,9} ; (Ar < 84.000) \quad (8.94)$$

$$Re = 1,71 \sqrt{Ar} ; (Ar > 84.000) \quad (8.95)$$

Reynolds sayısından, kömür partikülünün teorik sedimentasyon hızı Eş. 8.96 yardımıyla hesaplanır [52].

$$u_0 = \frac{Re v_g}{d_p} \quad (8.96)$$

Eş. 8.91'e göre hesaplanan tüp uzunluğu çok küçüktür, çünkü kaba taneler (0,2 ila 1,0 mm) ile, tanelerin terminal hızlarına ulaştığı başlangıç uzunluğunu dikkate almaz. Bu başlangıç uzunluğunun düzeltilmesi için Eş. 8.97 ile hesaplanan düzeltme uzunluğu hesaplanır [52].

$$L'' = k_L u_g d_p \quad (8.97)$$

Burada $k_L = 10^3 \text{ s/m}^3$ 'dür ve sabittir. Kaldırma tüpünün toplam uzunluğu ise Eş. 8.98 ile hesaplanır.

$$L_T = L' + L'' \quad (8.98)$$

Tasarımı yapılan pnömatik kurutucunun kaldırma borusunun çapı, Eş. 8.99 kullanılarak hesaplanır [52].

$$D_{pn} = \sqrt{\frac{\dot{V}_g}{0,785 u_g}} \quad (8.99)$$

Kurutma ortamının hacimsel gaz hızı ise, Eş. 8.100'deki gibi hesaplanabilir.

$$\dot{V}_g = \frac{\dot{m}}{\rho_g} \quad (8.100)$$

Pnömatik kurutucudaki kurutma havasının sıcaklığı, kurutucunda çıkarken Eş. 8.101 ile hesaplanır [53].

$$T_{hava,k} = 0,1875 * T_{hava,\zeta} + 35 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (8.101)$$

Kurutucudaki basınç düşüşü ise kurutma havasının hızına bağlı olarak Şekil 8.16'dan elde edilir.

8.2.6. Döner kurutucu tasarımı

Döner kurutucuda, dönen silindirin iç hacmi boyunca taşınan ve sürekli kurutucuya beslemesi yapılan nemli kömür parçacıkları ısıtılmış hava ile temas ettirilerek kurutulur. Tamburun dönmesi neticesinde kömür parçacıkları hem taşınmış hem de karıştırılmış olur.

Kömürün yüzeyinde bulunan nemin buharlaştırabilmesi için döner kurutucunun enerji ihtiyacını sıcak kurutma havası karşılamaktadır. Kurutma için gerekli olan enerji, kömürün ısıtılması ve yüzey neminin buharlaştırılması için gerekli olan enerjinin toplamıdır.

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_{\text{kömür}} \times c_{p,\text{kömür}} \times (T_{\text{kurutma}} - T_{\text{kömür}}) \quad (8.102)$$

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_{\text{kömür}} \times (M_{ar1} - M_{ar2}) \times h_{fg} \quad (8.103)$$

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 \quad (8.104)$$

Döner kurutucu tasarımı yapılırken, kurutma için kullanılacak havanın izin verilen kütle hızı dikkate alınmalıdır. Havanın izin verilen kütle hızı 2000 kg/m²h ile 25000 kg/m²h arasında değişmektedir [75]. Tambur kurutucunun kesit alanı ve tambur çapı Eş. 8.105 ve 8.106 yardımıyla hesaplanır [53].

$$A = \frac{G}{\dot{m}_{\text{hava}}} \quad (8.105)$$

$$D_T = \sqrt{\frac{4.A}{\pi}} \quad (8.106)$$

Hesap edilen tambur çapında, üretimin ve tasarımın kolaylaşması için düzeltme (yuvarlama) yapılır. Buna bağlı olarak tasarımda kullanılacak olan havanın izin verilen kütle hızı değeri de düzeltilir. Düzeltme yapılan çap ve kütle hızı değerine göre hacimsel ısı transferi katsayısı hesap edilir.

$$U_a = K \cdot \frac{G^n}{D_T} \quad (8.107)$$

K değeri orantı sabitidir ve 3,75 ile 5,25 aralığında bir değere sahiptir [53]. K değişkeni kurutulmuş kömürün fiziksel özelliklerine, iç kanatların sayısına, kanatların derinliğine ve dönme hızına bağlıdır.

Kurutma havası kurutucuya belli bir sıcaklıkta girmektedir. Yapılan deneysel ve istatistiksel çalışmalar neticesinde kurutma havasının tambur kurutucudan çıkış sıcaklığı Eş. 8.108 yardımıyla hesap edilir [53].

$$T_{hava,\zeta} = 0,05 T_{hava,g} + 64,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (8.108)$$

Kurutucu boyunca transfer edilen ısı miktarını bulmak için ortalama logaritmik sıcaklık farkı kullanılır. Döner kurutucular için ortalama logaritmik sıcaklık farkı Eş. 8.18 yardımıyla hesap edilirken, öncelikle kurutma havasının adyabatik doyma sıcaklığının bulunması gerekmektedir. Adyabatik doyma sıcaklığı da kurutma havasına dayalı ısı transfer ünite sayısına (NTU) bağlıdır ve Eş. 8.109 ile hesap edilir. N_t değeri, 1,5 ile 2,5 arasında olabilmektedir [75].

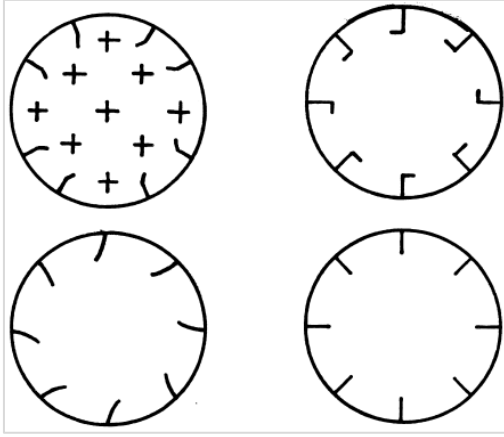
$$NTU = \ln \frac{T_{hava,g} - T_W}{T_{hava,\zeta} - T_W} \quad (8.109)$$

Ortalama sıcaklık farkı ve hacimsel ısı transfer katsayısı hesap edildikten birim uzunluktaki transfer edilen enerji miktarı hesap edilir. Isı transfer yüzey alanı ise Eş. 8.110 yardımıyla hesap edilir.

$$\dot{Q}_T = U \times A \times \Delta T_m \quad (8.110)$$

$$A = \frac{\pi D_T^2}{4} L \quad (8.111)$$

Eş. 8.104, 8.110 ve 8.111 ile döner kurutucunun boyu hesap edilir. L/D oranının tasarım kontrol parametresi olarak 5 ile 10 arasında olması gerekmektedir [52].



Şekil 8.15. Tambur kurutucu iç kanat örnekleri

Isı transferi için yüzey alanını artırmak, karışımı sağlamak için tamburun içine Şekil 8.15'teki iç kanatlar yerleştirilir. İç kanatların sayısı, tambur çapının feet cinsinden 2,4 ile 3 katı arasındadır. Ayrıca iç kanatların derinliği ise tambur çapının 1/12'si ile 1/8'i arasındadır. Tamburun dönme hızı 0,5 ile 1,0 m/s, eğimi ise 0° ile 5° arasında olmalıdır [53].

Kömür parçacıklarının tambur kurutucu içerisinde oyalanma süresi Eş. 8.112'deki gibi hesaplanır [53].

$$\tau = \frac{0,23 L}{S N_{rev}^{0,9} D_T} - \frac{2 B L G}{F} \quad (8.112)$$

$$B = 5 d_p^{-0,5} \quad (8.113)$$

Tamburun dönmesini sağlayacak motorun gücü (kW) Eş. 8.114 ile hesap edilir.

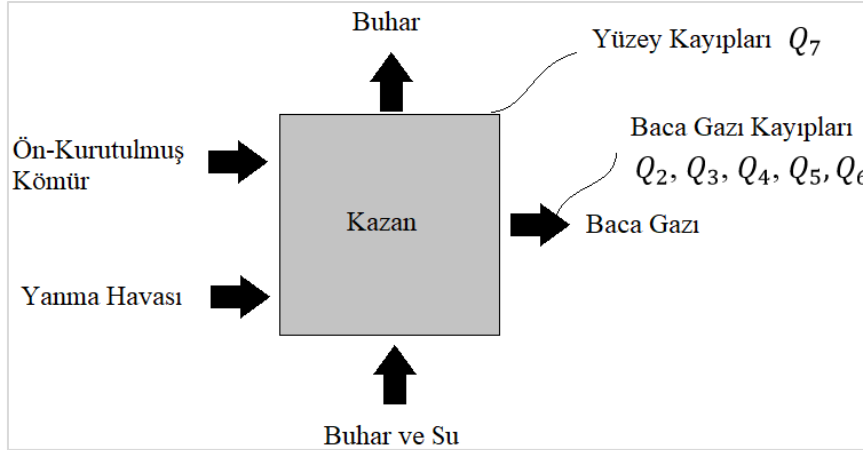
$$P_{rot} = 0,3 \frac{\pi D_T^2}{4} L \quad (8.114)$$

8.2.7. Kazan ünitesi analizi

Termik santraldeki kazanın enerji dengesi Şekil 8.16'da gösterilmektedir. Ön kurutma işlemine tabi tutulan kömür ve yanma için gerekli olan taze hava yanma odasına girmektedir. Yanma reaksiyonu neticesinde, ısıнын bir kısmı kazan besleme suyunu buhara

dönüştürürken geri kalan kısım ise kazanın kayıplarını oluşturmaktadır. Kazan verimliliği dolaylı yöntemle Eş. 8.115'te belirtildiği şekilde hesaplanır [76].

$$\dot{Q}_G = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 + \dot{Q}_5 + \dot{Q}_6 + \dot{Q}_7 \quad (8.115)$$



Şekil 8.16. Kazan enerji dengesi

Burada $\dot{Q}_G$ kazana giren ısı, $\dot{Q}_1$ kazandan çıkan ısı, $\dot{Q}_2$ kuru baca gazından kaynaklanan ısı kaybı, $\dot{Q}_3$ kömürdeki neme bağlı ısı kaybı, $\dot{Q}_4$ kömürdeki hidrojenin yanmasından kaynaklanan oluşan su nedeniyle ısı kaybı, $\dot{Q}_5$ eksik yanma nedeniyle oluşan ısı kaybı, $\dot{Q}_6$ yanma havasındaki nem nedeniyle oluşan ısı kaybı, $\dot{Q}_7$ yüzey ışıınımı, taşınım ve diğer çeşitli kayıplardan kaynaklanan ısı kaybıdır. Dolayısıyla kazan verimi Eş. 8.116'daki gibi ifade edilir.

$$\eta_b = [1 - (\dot{q}_2 + \dot{q}_3 + \dot{q}_4 + \dot{q}_5 + \dot{q}_6 + \dot{q}_7)] \times 100 \quad (8.116)$$

Ön kurutma işleminden sonra $\dot{q}_5$, $\dot{q}_6$, $\dot{q}_7$ değerlerinde oluşan değişiklikler çok ufaktır ve ihmal edilebilir boyuttadır. Kuru baca gazının kütle oranına bağlı olarak, kömürün alt ısı değeri ve yakıttaki hidrojenin kütle oranı, kömürün nem içeriği azaldığı için artacaktır, bu yüzden $\dot{q}_2$ ve $\dot{q}_4$ ısı kayıplarında ufak bir azalma gerçekleşecektir. Benzer şekilde, kömürün nem içeriği azaldığı için $\dot{q}_3$ ısı kaybında azalma gerçekleşecektir. Kuru baca gazından kaynaklanan ısı kaybı Eş. 8.117'deki gibi hesaplanabilir [77].

$$\dot{q}_2 = \frac{\dot{m}_{baca} C_{p_{baca}} (T_g - T_a)}{AID} \quad (8.117)$$

Tasarlanan sistemde, karşılaştırma yapabilmek için sistemlerin kömür besleme debisinin sabit olarak seçilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, nemin kütle ağırlığı azaldıkça kuru baca gazlarının kütle oranı artacaktır. Sonuç olarak da kuru baca gazından kaynaklanan ısı kaybında bir miktar azalma olacaktır. Yakıttaki nemden ve hidrojenin yanmasıyla oluşan sudan kaynaklanan ısı kayıpları Eş. 8.118 ve 8.119'daki gibi hesaplanır [76].

$$\dot{q}_3 = \frac{M_{ar}[C_{pw}(100-T_a)+C_{pv}(T_g-100)+h_{fg}]}{AID} \quad (8.118)$$

$$\dot{q}_4 = \frac{9w_H[C_{pw}(100-T_a)+C_{pv}(T_g-100)+h_{fg}]}{AID} \quad (8.119)$$

Kömürün nem içeriği azaldıkça yakıttaki neme bağlı ısı kayıpları azalacaktır. Sonuç olarak, kazan verimliliğindeki artış Eş. 8.120 ile elde edilmektedir.

$$\Delta\eta_b = (\dot{q}_2 - \dot{q}_2') + (\dot{q}_3 - \dot{q}_3') + (\dot{q}_4 - \dot{q}_4') \quad (8.120)$$

8.2.8. Buhar türbini ve jeneratör ünitesi analizi

Kazanda üretilen buhar türbine gönderilmektedir. Türbin verimliliğinde herhangi değişim gözlenmez, çünkü elde edilen buharın basıncı ve sıcaklığı aynıdır. Bu nedenle, buhar döngüsünün özgül ısı tüketim oranı sabit kalmaktadır. Bununla birlikte, kazanın toplam enerji girişi artacağından buhar debisi, sabit kömür beslemesine rağmen artacaktır. Kömür ön kurutmalı ve kurutmasız buhar kütlesi akış hızları Eş. 8.121 ve 8.122'deki gibi hesaplanır.

$$M_S = \frac{\dot{m}_{kömür} \cdot AID \cdot \eta_b}{d_0} \quad (8.121)$$

$$M_S' = \frac{\dot{m}_{kömür} \cdot AID' \cdot (\eta_b + \Delta\eta_b)}{d_0} \quad (8.122)$$

8.2.9. Santral ve kurutma sistemi bileşenleri enerji tüketimi

Tasarlanan sistemlerde, kazan besleme debisi aynı olduğundan dolayı tozlaştırıcı ve değirmenlerin enerji tüketiminde herhangi bir değişiklik olmayacaktır. Tasarlanan sistemlerde by-pass sistemindeki, ısı değiştiricilerdeki ve kurutuculardaki basınç kaybını

dengelemek için ekstra radyal fanlar kullanılmaktadır. Ayrıca ön kurutma sistemi dışında mevcut bulunan fanların enerji tüketimi artacaktır. Bunların haricinde, buhar debisi arttığından pompaların elektrik tüketimi artacaktır. Sisteme eklenecek yeni fanların güç tüketimi Eş. 8.123, mevcut fanların ise sıcaklığa bağlı olarak havanın veya baca gazının yoğunluğunun değişmesi nedeniyle tükettiği enerji miktarındaki değişim Eş. 8.124 yardımıyla hesaplanır [78].

$$P_{fan,yeni} = \frac{V \cdot \Delta P_t}{1000 \cdot \eta_f} \quad (8.123)$$

$$\Delta P_{fan} = \left(1 - \frac{T_{fan}'}{T_{fan}}\right) * P_{fan,mevcut} \quad (8.124)$$

Pompalardaki elektrik tüketim miktarındaki değişim Eş. 8.125 kullanılarak hesap edilir [79].

$$\Delta P_{pompa} = \left(\frac{M_S'}{M_S} - 1\right) \cdot P_{pompa} \quad (8.125)$$

Sonuç olarak da santralin iç tüketimindeki değişim yeni eklenen elektro-filtreler gibi kurutma sistemindeki bileşenlerin harcadığı güç ve mevcut bileşenlerdeki harcanan güçteki artışın toplamına eşittir ve Eş. 8.126'daki gibi hesaplanır.

$$\Delta P_0 = \sum P_{fan,yeni} + \sum \Delta P_{fan,mevcut} + \sum \Delta P_{pompa} + \sum P_{filtreler} \quad (8.126)$$

8.2.10. Termik santralde üretilen enerjideki değişim

Ön kurutma sistemi bulunmayan termik santralin verimi, sistemin enerji dengesi ile hesaplanır. Santrale verilen enerji miktarı, kazana beslenen kömürün debisine ve alt ısı değerine bağlıdır. Bu enerjinin bir kısmı elektrik enerjisine dönüştürülürken, diğer kısmı ise sistem kayıplarına ve santralin iç tüketimine harcanmaktadır. Ön kurutma sistemi bulunmayan bir termik santralin ürettiği enerji miktarı Eş. 8.127'deki gibi hesaplanır.

$$P_e = \dot{m}_{kömür} \cdot AID \cdot \eta_b \cdot \eta_i \quad (8.127)$$

Ön kurutma sistemli termik santralin verimliliği, kazanın verimliliği ve kömürün alt ısı değeri artacağı için artmaktadır. Ön kurutma sistemli termik santralin ürettiği enerji miktarı ise Eş. 8.128 yardımıyla elde edilir.

$$P_e' = \dot{m}_{\text{kömür}} \cdot AID' \cdot (\eta_b + \Delta\eta_b) \cdot \eta_i \quad (8.128)$$

Sonuç olarak da kömür ön kurutma sistemli termik santralin enerji üretimindeki net değişim ve santralin net verimliliği Eş. 8.129, 8.130 ve 8.131 yardımıyla hesap edilir.

$$P_{\text{net}} = (\dot{m}_{\text{kömür}} \cdot AID \cdot \eta_b \cdot \eta_i) - P_0 \quad (8.129)$$

$$\Delta P_{\text{net}} = \{[\dot{m}_{\text{kömür}} \cdot AID' \cdot (\eta_b + \Delta\eta_b) \cdot \eta_i] - \dot{m}_{\text{kömür}} \cdot AID \cdot \eta_b \cdot \eta_i\} - \Delta P_0 \quad (8.130)$$

$$\eta_{PP} = \frac{P_{\text{net}}}{\dot{m}_{\text{kömür}} \cdot AID} \quad (8.131)$$

8.2.11. Ekonomik analiz

Farklı sistemlerin ekonomik analizi yapabilmek için net bugünkü değer yöntemi kullanılır. Sistemin ömrü boyunca sağlayacağı nakit faydanın bugünkü değerinin, sistemin yatırım ve bakım giderleri gibi giderlerin bugünkü değeri arasındaki farka net bugünkü değer yöntemi denir. Bu yöntem yardımıyla sistemin ekonomik analizini yapabilmek için birleştirilmiş faiz oranı kullanılır [80].

$$i_e = (1 + i) * (1 + d) - 1 \quad (8.132)$$

Hesaplanan birleşik faiz oranı yardımıyla analizi gerçekleştirebilmek için fayda ve masraflar Eş. 8.133 yardımıyla bugünkü değeri hesaplanır ve toplam faydalarla, toplam masraflar arasındaki fark Eş. 8.134 yardımıyla hesap edilir [80].

$$NBD = \text{Fayda} - \text{Masraf} \quad (8.133)$$

$$NBD = \sum_0^N \frac{R_{in}}{(1+i_e)^n} - \sum_0^N \frac{R_{on}}{(1+i_e)^n} \quad (8.134)$$

Tasarlanan sistemde, yıllık ekstra elektrik satışından elde edilen gelir fayda olarak değerlendirilirken sistemin yatırım ve yıllık bakım maliyetleri masraf olarak kabul edilmektedir. Yıllık ek elektrik satışlarından elde edilen gelir Eş. 8.135 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\Delta I_e = P_{net} \cdot \Delta \eta_{net} \cdot N_{PP} \cdot c \cdot p_e \quad (8.135)$$

Eş. 8.134'da fayda ve maliyetin eşitlendiği durumlarda, n , amortisman süresini temsil etmektedir. Tasarlanan sistemde, amortisman süresinden sonra sistem, ömrü boyunca ekonomik fayda sağlayacaktır. Amortisman süresi Eş. 8.136 yardımıyla hesaplanır.

$$\sum_0^N \frac{R_{in}}{(1+i_e)^n} = \sum_0^N \frac{R_{on}}{(1+i_e)^n} \quad (8.136)$$

8.2.12. Sankey diyagramı

Sankey diyagramları, varlıkların akışlarını ve miktarlarını birbirine orantılı olarak görselleştirmek için kullanılan bir diyagram türüdür. Okların veya çizgilerin genişliği, varlıkların büyüklüklerini göstermek için kullanılırken; ok veya çizgi ne kadar büyükse, akış miktarı da o kadar büyük olmaktadır. Akış okları veya çizgileri bir sürecin her aşamasında birleşebilir ya da bölünebilmektedir. Bir Sankey diyagramında yönlendirilen akış her zaman en az iki süreç arasında çizilir. Böylece sadece akış değerlerini değil, aynı zamanda tanımlanan sistemin yapısı ve dağılımı hakkında da bilgi gösterilir [81].

Diyagramı farklı kategorilere bölmek veya sürecin bir durumundan diğerine geçişini göstermek için farklı renkler kullanılır. Sankey diyagramları genel olarak enerji, para veya farklı tipteki malzemelerin aktarımını görselleştirmek için kullanılan bir metottur.

Çalışmada, referans olarak alınan termik santralin Afşin-Elbistan ve Yatağan linyitleri kullanılarak elde edilen sonuçlar ve sistem enerji dengesine göre Sankey diyagramları oluşturulmuştur. Daha sonra ön kurutma sisteminin santrale eklendikten sonra sistemin enerji dengesini göstermek için her kömür için referans santrale göre yeni Sankey diyagramları oluşturulmuştur.

8.3. Tasarlanan Ön Kurutma Sistemleri

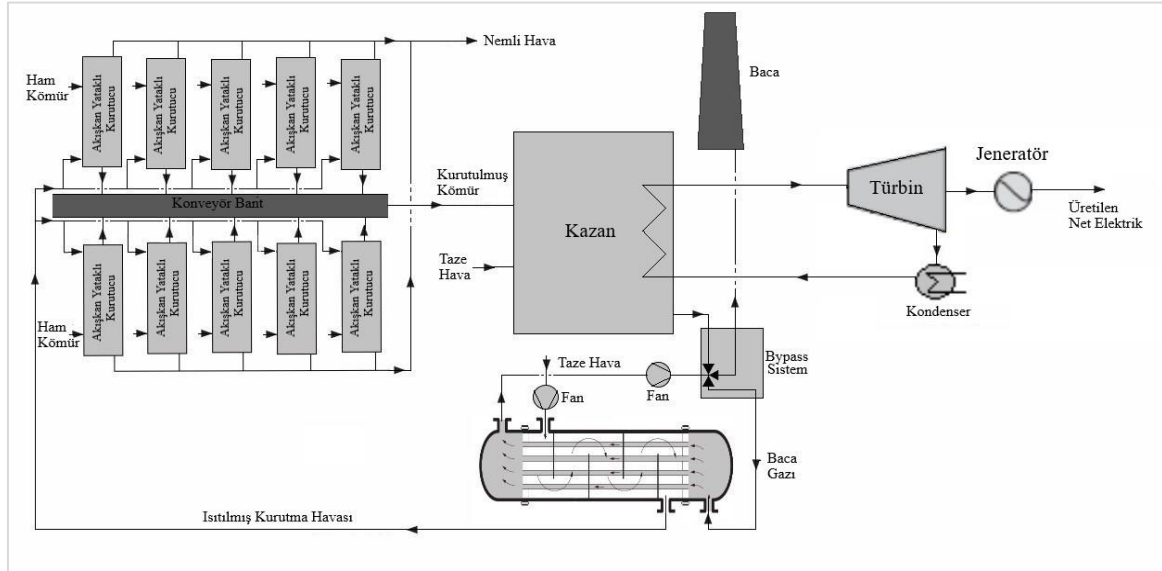
Tasarımı yapılan ön kurutma sistemlerinde kazan beslemesinin aynı kalabilmesi ve üretilen birliği kolaylaştırması açısından tek bir büyük kapasiteli kurutucu yerine küçük kapasiteli kurutuculardan oluşan birbirine paralel bağlı ve senkronize çalışabilen sistemler tasarlanmıştır. Tasarlanan tüm sistemlerde atık ısı kaynağı olarak kazandaki baca gazı kullanılmıştır. Baca gazının atık ısı kaynağı olarak kullanılmasının nedenleri arasında öncelikle buharla ön kurutma yapılmasında teorik analizde termodinamik olarak zorluklar olmasıdır. Bir diğer neden ise kondenser soğutma suyunun sıcaklığının baca gazına düşük olmasından dolayı sistemin verimli olmamasıdır. Yani kurutma işleminde iyi bir atık ısı kaynağı olan baca gazı ile ısıtılan havanın kullanılması teorik analiz için termodinamik kolaylık sağlayacaktır. Tasarlanan sistemler sayesinde kömürün ön kurutulması neticesinde nem oranının azalmasına bağlı olarak kömürün alt ısı değerinde ve kazan kayıplarında bir azalma olmasından dolayı kazan veriminde bir artış olacaktır. Bu da doğrudan sistemin toplam verimini artıracak ve daha fazla elektrik enerjisi üretilmesini sağlayacaktır.

8.3.1. Akışkan yataklı kurutucu ön kurutma sistemi

Akışkan yataklı ön kurutma sisteminde, 160 °C sıcaklıktaki baca gazı bypass sistemi ile bacaya verilmeden gövde borulu ısı değiştiriciden geçirilerek tekrar fan yardımıyla bacaya yönlendirilmektedir. Dış ortamdan alınan taze hava ise kurutma havası sıcaklığı olan 100 °C'ye kadar ısıtılmaktadır. Isı değiştiricilerde havanın sıcaklığı artırılıp nemi azaltılmaktadır. Kurutma işlemi için gerekli olan hava sıcaklığı ve akış hızı, ısı değiştiricinin fanları ve akış ayar valfleri yardımıyla düzenlenmektedir.

Elde edilen kurutma havası, dağıtıcılar yardımıyla kanallara ayrılarak küçük kapasiteli birbiri ile senkronize çalışan ve kazan sürekli beslemesini sağlayacak şekilde farklı çalışma periyotlarında çalışan 10 adet kurutucudan oluşan akışkan yataklı kurutucuları beslemektedir. Her akışkan yataklı kurutucuda kömür, akışkanlaştırılarak tasarlanan nem alma sınırları süresince oyalanır ve siklonlardan geçirilerek kazan besleme bunkerine gönderilmek üzere nem almaması için dış ortamda izole edilen konveyör banta aktarılır. Ayrıca kömürün ön-kurutma derecesi, kurutucuda oyalama süresinin değiştirilmesi ile düzenlenebilmektedir. Oyalama süresi uzadıkça, kurutma havası da daha fazla nem alabilecektir. Akışkan yataklı kurutuculardan çıkan nemli hava ise kolektörde toplanarak

elektro-filtrelerden oluşan sistemden geçirildikten sonra dış ortama verilmektedir. Şekil 8.1’de akışkan yataklı kurutuculardan oluşan ön kurutma sisteminin şeması gösterilmektedir.



Şekil 8.17. Akışkan yataklı kurutuculardan oluşan ön kurutma sistemi

8.3.2. Pnömatik kurutuculu ön kurutma sistemi

Tasarımı yapılan ikinci ön kurutma sisteminde akışkan yataklı kurutucudaki ile aynı şekilde kurutma havası gövde borulu ısı değiştiricide ısıtıldıktan sonra pnömatik kurutuculara kanallar yardımıyla dağıtılır. Sistemde 10 adet pnömatik kurutucu bulunmaktadır. Kurutuculara, bunkerde bulunan kömür yatak mesafesinden belli bir yükseklikten bırakılır. Burada kurutma havası ile temas eden kömür akışkan yatağın tersine kurutma odasında oyalanmak yerine kurutma havasıyla beraber siklona doğru taşınır. Kuruma işlemi kömürün sıcak havayla temas ederek taşınmasıyla gerçekleşir. Siklona gelen kömür hava karışımı burada ayrışır. Kömür siklonun alt kısmındaki kanaldan konveyör banta aktarılır ve ortamdaki izole edilmiş konveyör bant vasıtasıyla kazan besleme bunkerlerine gönderilir. Son olarak da ön kurutmuş kömür kazanda yakılarak enerji elde edilir. Çizelge 8.2’de pnömatik kurutuculardan oluşan ön kurutma sistemine sahip termik santralin basitleştirilmiş şeması bulunmaktadır.

9. ARAŞTIRMA BULGULARI

9.1. Referans Santral Sonuçları

Yapılan çalışmada Afşin-Elbistan ve Yatağan linyit analiz sonuçları ve Afşin-Elbistan B Termik Santrali referans değerleri kullanılarak santral parametreleri tekrar düzenlendiğinde, mevcut santralde Afşin-Elbistan linyiti yakıldığında Çizelge 9.1, Yatağan linyiti yakıldığında Çizelge 9.2 değerleri elde edilir.

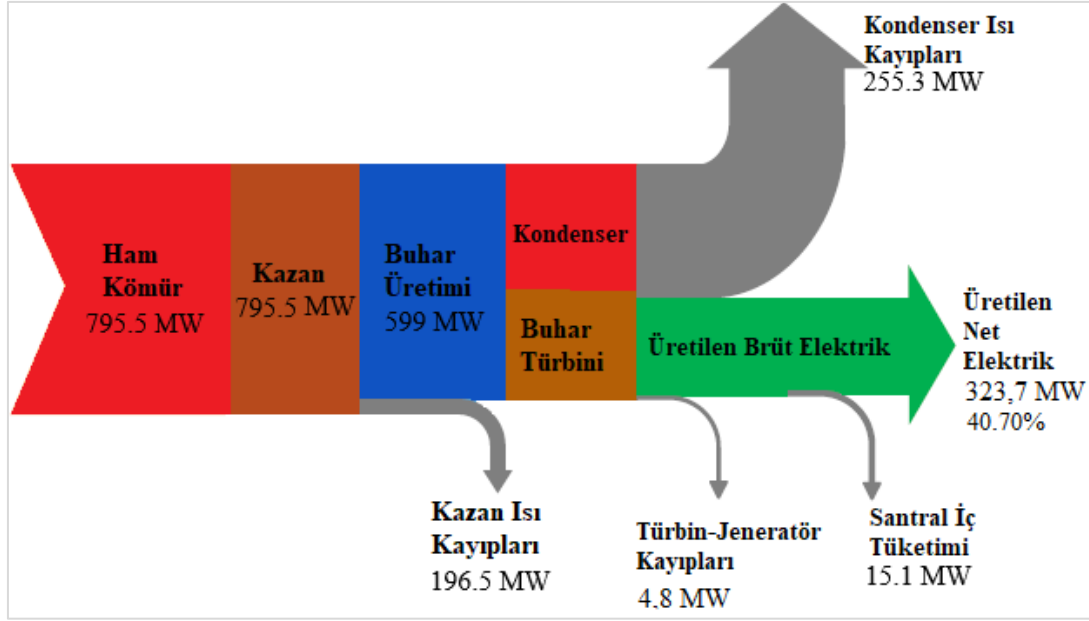
Çizelge 9.1. Afşin-Elbistan linyiti yakıldığında elde edilen santral değerleri

Parametre	Birim	Değer
Kazan Besleme Debisi	kg/s	192,3
Linyit Alt Isıl Değeri	kCal/kg	988
Giren Enerji	MW	795,5
Üretilen Toplam Elektrik	MW	338,8
Santral İç Tüketimi	MW	15,1
Üretilen Net Elektrik	MW	323,7
Net Verim	%	40,7

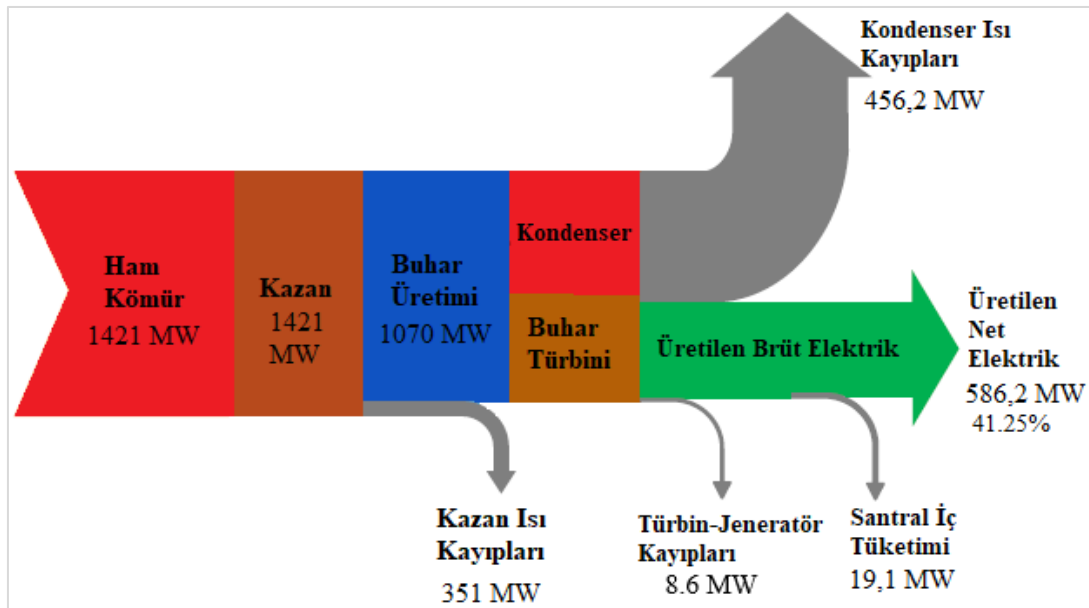
Çizelge 9.2. Yatağan linyiti yakıldığında elde edilen santral değerleri

Parametre	Birim	Değer
Kazan Besleme Debisi	kg/s	192,3
Linyit Alt Isıl Değeri	kCal/kg	1765
Giren Enerji	MW	1421
Üretilen Toplam Elektrik	MW	605,3
Santral İç Tüketimi	MW	19,1
Üretilen Net Elektrik	MW	586,2
Net Verim	%	41,25

Çizelge 9.1 ve 9.2 karşılaştırıldığında sistemlerin karşılaştırma yapılabilmesi için kazan başlangıç verimlerinin ve türbin-jeneratör verimlerinin aynı olduğu kabul edilmiştir. Verimlerin aynı olduğu kabul edilmesine rağmen baca gazı debisiyle beraber yoğunluğunun da farklı olması ve daha çok buhar üretilmesinden kaynaklı olarak pompaların daha çok çalışması nedeniyle santral iç tüketimi daha fazla olacaktır. Ancak iç tüketimdeki bu artış santraldeki üretilen elektrik enerjisi miktarıyla doğru orantılı olmayacağı için Yatağan linyiti kullanıldığında mevcut santralin verimi daha yüksek olacaktır. Çizelge 9.1 ve 9.2'ye göre hazırlanmış Sankey diyagramları Şekil 9.1 ve 9.2'de verilmiştir.



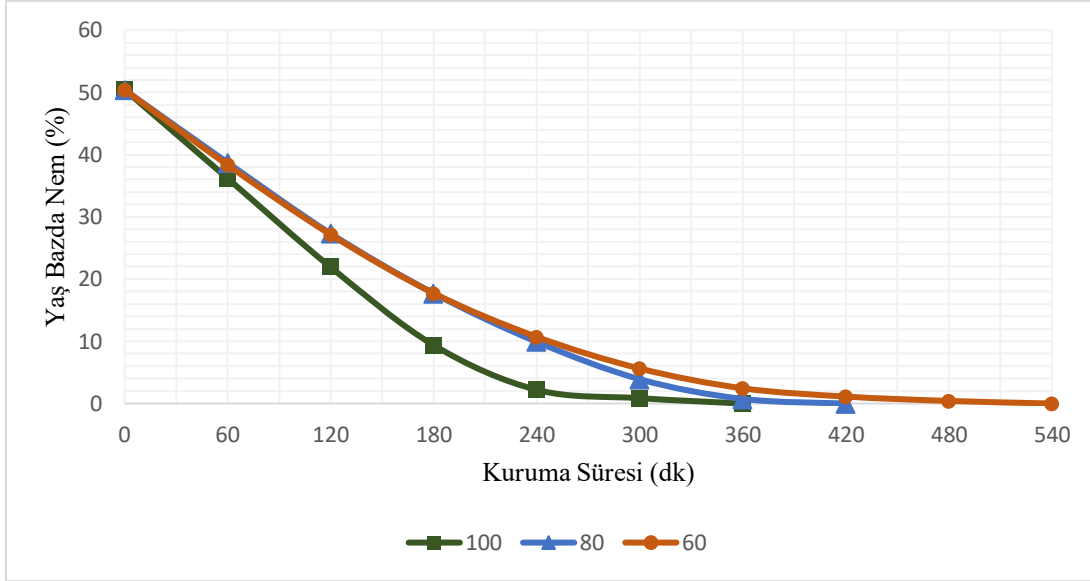
Şekil 9.1. Afşin-Elbistan linyit yakıtlı santralin Sankey diyagramı



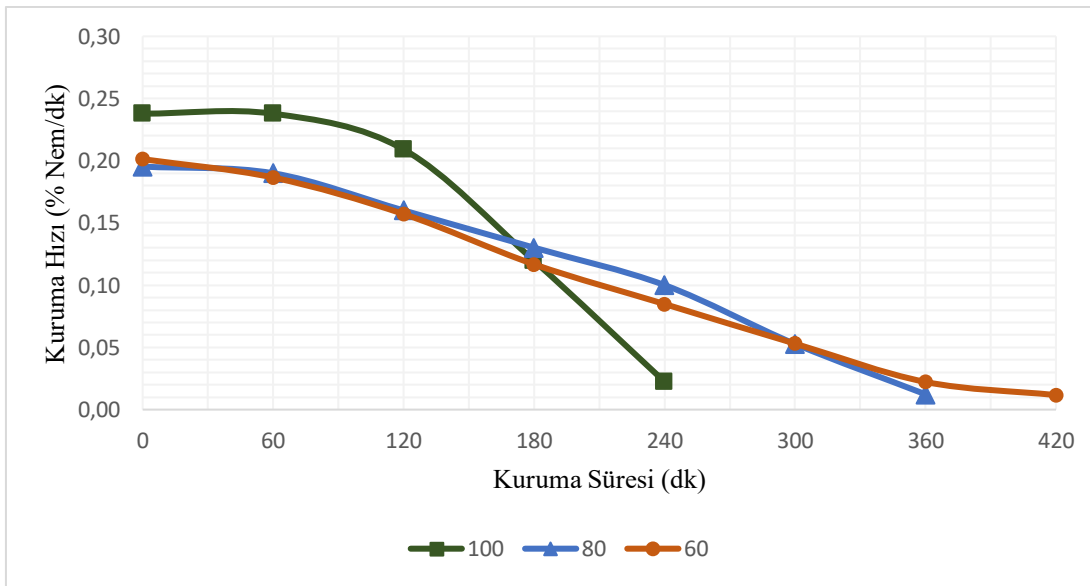
Şekil 9.2. Yatağan linyit yakıtlı santralin Sankey diyagramı

9.2. Kömür Kurutma Analizi Sonuçları

Sabit sıcaklıkta yapılan kurutma deneyleri neticesinde Afşin Elbistan ve Yatağan linyitlerinin sıcaklığa bağlı olarak kuruma eğrileri ve kuruma hızları elde edilmiştir. Şekil 9.3'te Afşin-Elbistan linyitinin sabit sıcaklıktaki zamana bağlı olarak yaş bazdaki nem oranı değişimini gösterirken Şekil 9.4 zamana bağlı kuruma hızının değişimini göstermektedir.



Şekil 9.3. Afşin-Elbistan linyitinin farklı sıcaklıklardaki nem içeriği



Şekil 9.4. Afşin-Elbistan linyitinin farklı sıcaklıklardaki zamana bağlı kuruma hızı

Şekil 9.3 incelendiğinde artan sıcaklıkla beraber kömürün daha hızlı kuruduğu görülmektedir. Kuruma karakteristikleri incelendiğinde ise 60 °C ve 80 °C sıcaklıklardaki kuruma karakteristiğinin yaklaşık aynı olduğu görülmektedir. Aynı karakteristik kuruma hızlarında da görülürken, 100 °C sıcaklıkta kuruma hızının önce arttığı daha sonra düşük sıcaklıklara göre daha çok azaldığı görülmektedir. Yapılan deneysel çalışma neticesinde sabit 100 °C sıcaklıkta kömürün ilk 60 dakikalık nem alma periyodunda ortalama 0,2378 % nem/dk hızında nemini bıraktığı sonucuna ulaşılmıştır. Aynı oran, 60 °C ve 80 °C sıcaklıklarda ortalama 0,20 % nem/dk hızındadır. Tasarlanan sistemlerde kurutma sıcaklığı

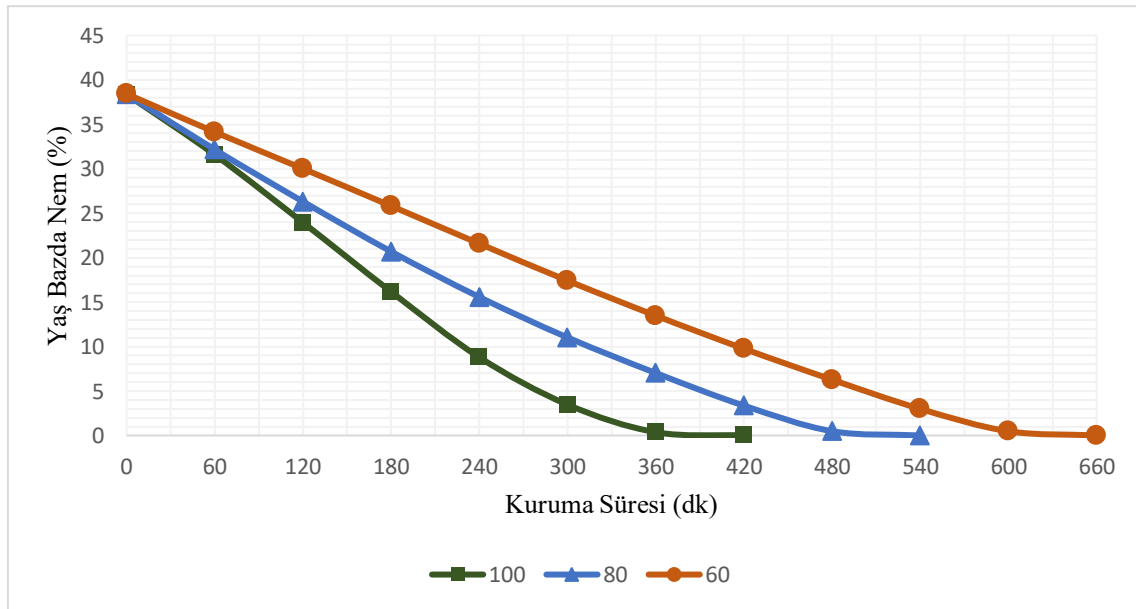
100 °C olacak şekilde ön kurutma sistemi tasarımları yapılmıştır. Kurutma sıcaklığında yapılan deneyler neticesinde Afşin Elbistan linyitinin 100 °C sıcaklıktaki zamana bağlı yaş bazdaki % olarak nem oranı Eş. 9.1’de gösterilirken, alınan nemin debisi deneysel olarak elde edilerek Eş. 9.2’de gösterilmiştir.

$$M_{ar} = 50,46 - 13,69 t \quad (9.1)$$

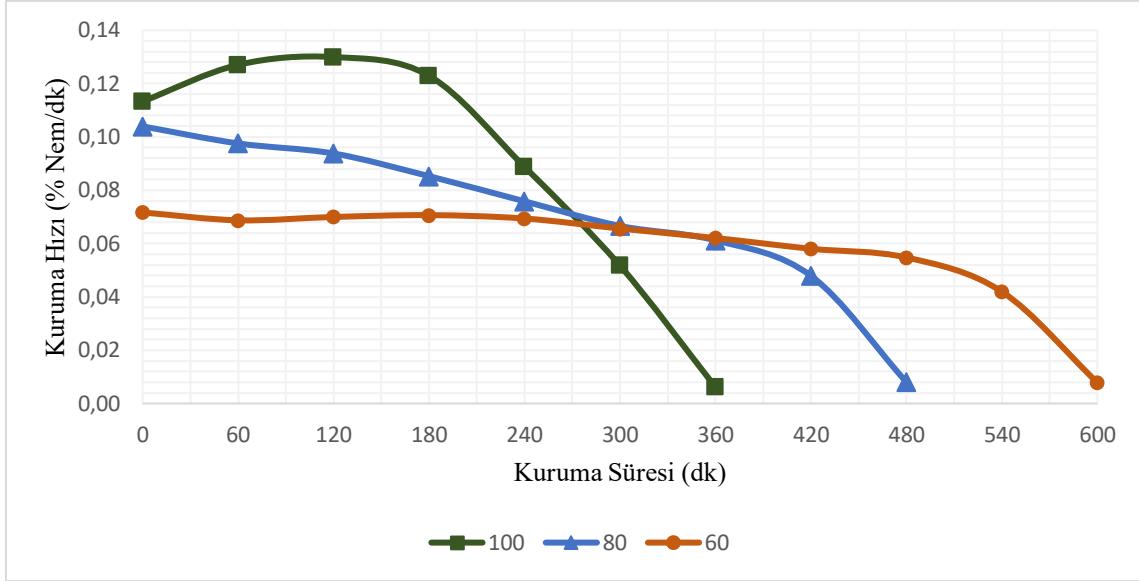
$$\dot{w} = -0,0182 t^2 + 0,0545 t + 0,2025 \quad (M_{ar}(\%)/dk) \quad (9.2)$$

Burada t değeri, saat cinsinden kuruma süresini göstermektedir. Eş. 9.1 kurutma deneyinde ilk 180 dakikalık periyotta kömürün nem oranındaki değişimin lineer olması nedeniyle elde edilmiştir ve $0 < t < 3$ ve $\%9 < M_{ar} < \%51$ sınır şartlarında geçerlidir.

Benzer şekilde yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilere göre Şekil 9.5’te Yatağan linyitinin sabit sıcaklıktaki zamana bağlı olarak yaş bazdaki nem oranı değişimini gösterirken, Şekil 9.6 zamana bağlı kuruma hızının değişimini göstermektedir.



Şekil 9.5. Yatağan linyitinin farklı sıcaklıklardaki zamana bağlı yaş bazda nem içeriği



Şekil 9.6. Yatağan linyitinin farklı sıcaklıklardaki zamana bağlı kuruma hızı

Şekil 9.5 incelendiğinde Yatağan linyitinin kuruma davranışının sıcaklığa bağlı olarak Afşin-Elbistan linyiti ile yaklaşık aynı olduğunu sıcaklıkla beraber kuruma süresinin azaldığı görülmektedir. Yatağan linyitinin kuruma hızı incelendiğinde ise 100 °C sıcaklıkta ilk 120 dakika boyunca arttığını ve daha sonra hızlı bir şekilde düşmeye başladığı görülmektedir. 80 °C sıcaklıkta ise 360 dakikalık periyotta sabit azalan bir hızda kuruduğunu daha sonra kuruma hızının yavaşladığı görülmektedir. 60 °C sıcaklıktaki kuruma hızı incelendiğinde ise ilk 240 dakikalık kuruma süresinde hızın yaklaşık aynı kaldığı görülmektedir. Kurutma sıcaklığında yapılan deneyler neticesinde Yatağan linyitinin 100 °C sıcaklıktaki zamana bağlı olarak nem değeri Eş. 9.3'te gösterilirken, alınan nemin debisi deneysel olarak elde edilerek Eş. 9.4'te gösterilmiştir.

$$M_{ar} = 38,39 - 7,40 t \quad (9.3)$$

$$\dot{w} = -0,0066 t^2 + 0,0341 t + 0,0861 \quad (M_{ar}(\%)/dk) \quad (9.4)$$

Burada t değeri, saat cinsinden kuruma süresini göstermektedir. Eş. 9.3 kurutma deneyinde ilk 240 dakikalık periyotta kömürün nem oranındaki değişimin lineer olması nedeniyle elde edilmiştir ve $0 < t < 4$ ve $\%8 < M_{ar} < \%40$ sınır şartlarında geçerlidir.

9.3. Ön Kurutma Sistem Tasarım Sonuçları

Tasarımı yapılan sistemlerin tasarım parametreleri göz önünde bulundurularak sistemin alabileceği maksimum ön kurutma derecesi hesaplanmıştır. Ayrıca yapılan hesaplamalarda referans santralin kazan besleme debisi göz önünde bulundurularak ön kurutma sisteminin santral verimine etkisi inceleneceği için ön kurutma yapılan sistemlerde de kazan besleme debisinin aynı değer olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Hem kazan besleme debisi hem de kurutma sistemleri tasarım kriterleri hesaba katılarak sistemlerin maksimum ön kurutma derecesi 0,14 olarak bulunmuştur. Ön kurutma derecesinin 0,14'ten büyük olması durumunda kazan besleme debisinin referans santralden daha az olacağı için karşılaştırma yapılması mümkün olmayacaktır. Ayrıca yine ön kurutma derecesi 0,14'ten büyük olması durumunda kurutma sistemleri tasarım kriterlerine uymayacağı ve birbirine paralel bağlı daha çok kurutucu kullanılacağı için sistemin etkili çalışmayacağı gibi nedenlerden ötürü sistem tasarımları 0,14 ön kurutma derecesine göre yapılmıştır. Yani Afşin-Elbistan linyiti kurutucu sisteme yaş bazda %50,46 nem ile girip %42,39 nem ile çıkmaktadır. Diğer tarafta Yatağan linyiti ise yaş bazda %38,39 nem ile girip %28,37 nem ile çıkmaktadır. Tasarımı yapılan sistemlerde kurutma için kullanılacak havanın debisi ve aktif şekilde paralel çalışan kurutucu sayısının devreden çıkarılması gibi ayarlamalarla sistem tasarlandığı maksimum ön kurutma derecesinden daha az ön kurutma derecelerinde de nem alma işlemi yapabilecektir. Ön kurutma derecelerine göre santral üzerindeki değişimler Bölüm 9.4'te irdelenecektir.

9.3.1. Akışkan yataklı kurutucu ön kurutma sistem değerleri

Tasarlanan sistemde kazan baca gazı bypass sistemi yardımıyla bacaya verilmeden gövde borulu ısı değiştiriciye yönlendirilir. 160 °C sıcaklıktaki baca gazı ile ortam sıcaklığındaki taze hava ısı değiştiriciye çapraz akışla girerler ve 100 °C sıcaklıkta çıkarlar. Daha sonra baca gazı bir fan yardımıyla bypass sistemine ve buradan da baca kükürt arıtma tesisine gönderilir. Tasarlanan sistemin şematik görünümü Şekil 8.1'de gösterilmiştir. Ayrıca bir fan yardımıyla kurutma sıcaklığına ısıtılan hava kanallara ayrılarak kurutuculara gönderilir. Çizelge 9.3'te santralde Afşin-Elbistan linyiti yakıldığındaki baca gazının ısı değiştiriciye giriş ve çıkış sıcaklık ortalamasındaki termodinamik özelliklerini göstermektedir. Çizelge 9.4'te ise santralde Yatağan linyiti yakıldığındaki baca gazının ısı

değiştiriciye giriş ve çıkış sıcaklık ortalamasındaki termodinamik özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 9.3. Afşin Elbistan linyiti yakıldığında oluşan baca gazının özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Özgül Kütle	kg/m ³	0,8597
Özgül Isı	J/kg.K	1221,11
Isıl İletkenlik	W/m.K	0,0301
Dinamik Viskozite	kg/m.s	2,126 x 10 ⁻⁵
Kinematik Viskozite	m ² /s	2,503 x 10 ⁻⁵
Prandtl Sayısı	-	0,7669

Çizelge 9.4. Yatağan linyiti yakıldığında oluşan baca gazının özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Özgül Kütle	kg/m ³	0,8706
Özgül Isı	J/kg.K	1185,43
Isıl İletkenlik	W/m.K	0,0306
Dinamik Viskozite	kg/m.s	2,178 x 10 ⁻⁵
Kinematik Viskozite	m ² /s	2,519 x 10 ⁻⁵
Prandtl Sayısı	-	0,7546

Baca gazı hesabı Eş. 8.11'e göre yapıldığında Afşin-Elbistan linyiti baca gazı debisi yaklaşık 494 kg/s olarak hesaplanırken, Yatağan linyiti baca gazı debisi yaklaşık 530 kg/s olarak hesap edilmiştir. 0,14 ön kurutma derecesinde nem alındığında, ön kurutulmuş Afşin-Elbistan linyiti yandığında baca gazı debisi 477 kg/s'ye düşerken, ön kurutulmuş Yatağan linyiti yakıldığında ise baca gazı debisi 511 kg/s'ye düşmektedir. Düşen baca gazı için ayrı ayrı ısı değiştirici tasarımı yapılmıştır ve güvenlik faktörü göz önünde bulundurularak tasarım parametrelerinden büyük olanı seçilmiştir. Çizelge 9.5'te 100 °C sıcaklıkta kurutma havası elde edebilmek için gerekli ısı değiştiricinin özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 9.5. Gövde borulu ısı değiştiricinin tasarım değerleri

Özellik	Açıklama	Birim	Değer
D_s	Gövde İç Çapı	m	3,16
L	Isı Değiştirici Uzunluğu	m	12,6
D_o	Boru Dış Çapı	mm	60,33
D_i	Boru İç Çapı	mm	49,25
N_t	Toplam Boru Sayısı	-	1000
N_p	Boru Geçiş Sayısı	-	1
N_B	Ara Bölme Sayısı	-	45
B_f	Ara Bölmeler Arası Uzaklık	m	0,25
B_C	Ara Bölme Kesme Oranı	%	25
C	Borular Arası Boşluk	cm	2,5
CL	Boru Demeti Düzeni	Kare	1
CTP	Boru Sayısı Hesaplama Sabiti	-	0,93
R_{ft}	Kirlenme Faktörü	m^2K/W	0,000176
k	Boruların Isıl İletkenlik Katsayısı	$W/m.K$	60

Isı değiştirici düzeltilmesi yapıldıktan sonra baca gazlarına göre gerekli taze hava miktarı ayrı ayrı hesap edilmiştir. Afşin-Elbistan linyitinin baca gazı ile ısınan havanın debisi yaklaşık 449 kg/s olarak bulunurken Yatağan linyiti baca gazı ile ısınan havanın debisi 465 kg/s olarak hesap edilmiştir. Fan gücü hesabı yapılırken daha yüksek olan debi ve basınç düşüşü kullanılarak gerekli olan maksimum fan gücü hesaplanmıştır. Tasarlanan ısı değiştiricide boru kısmından geçen baca gazının basınç düşüşü nedeniyle tekrar bypass sistemine gönderilebilmesi için 980 kW'lık bir radyal fan kullanılması gerekmektedir. Ayrıca gövde kısmında 100 °C sıcaklığa ısıtılan havanın kurutuculara gönderilmek üzere ısı değiştiriciden çıktıktan sonra kanallara gönderilebilmesi için 1260 kW'lık bir fan kullanılması gerekmektedir.

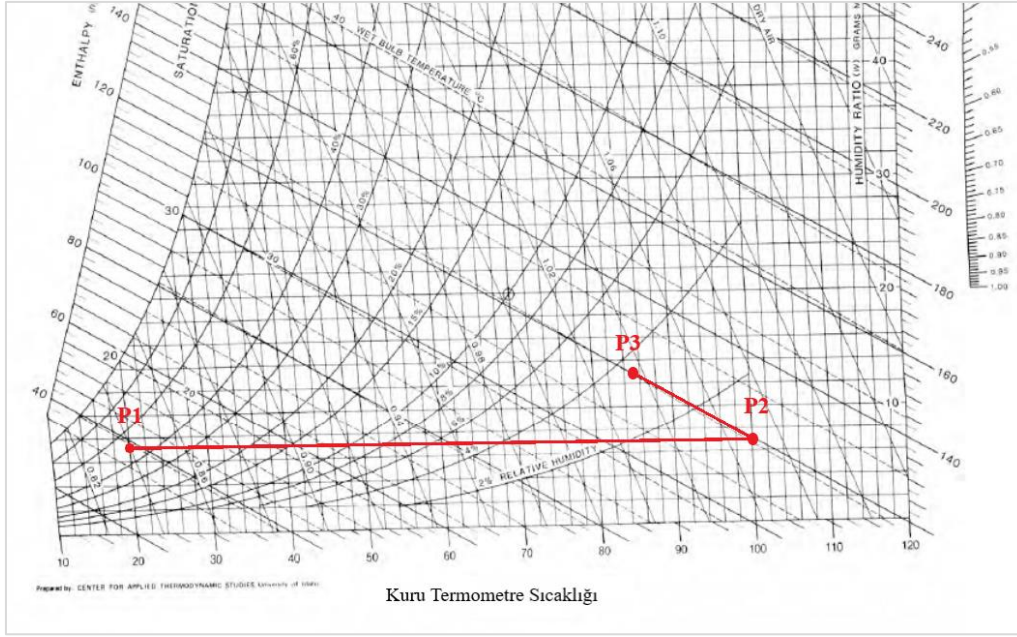
Ön kurutma sistemi tasarımında tek bir büyük kapasiteli akışkan yataklı kurutucu yerine daha düşük kapasiteli birbiri ile paralel bağlı ve senkronize çalışan kurutuculardan oluşan bir sistem tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan akışkan yataklı kurutuculardan oluşan sistemin değerleri Çizelge 9.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 9.6. Akışkan yataklı ön kurutucu sistem değerleri

Özellik	Açıklama	Birim	Değer
d_p	Kömür Maksimum Tane Boyutu	mm	6
u_m	Minimum Akışkanlaştırma Hızı	m/s	1,97
μ	Maksimum Ön Kurutma Derecesi	-	0,14
-	Kurutu Kesiti	Kare	-
A_d	Kurutucu Kesit Alanı	m ²	0,25
ψ	Kurutucu Gözenekliliği	-	0,55
H_0	Kömür Statik Yüksekliği	m	6,75
H	Kurutucu Yüksekliği	m	15
τ	Oyalama Süresi	s	104
$T_{hava,\zeta}$	Kurutucu Hava Giriş Sıcaklığı	°C	100
$T_{kurutucu,\zeta}$	Kurutucu Hava Çıkış Sıcaklığı	°C	85
Δp	Basınç Düşüşü	Pa	397
-	Toplam Kurutucu Sayısı	-	10
P_{fan}	Fan Gücü	kW	240

Akışkan yataklı kurutucularda kömür hava ile kurutulduktan sonra hava ile beraber siklona gönderilir burada kurutulmuş kömür konveyör bantlara aktarılarak kazan besleme bunkerine gönderilir. Siklonda ayrılan hava ise kanallar yardımıyla toplanarak ana kanaldaki fan yardımıyla elektro-filtrelerin bulunduğu filtrasyon sistemine gönderilir.

Kurutma havasına uygulanan işlemleri psikrometrik diyagram üzerinde görülmektedir. Şekil 9.7 kurutma havasının yüksek sıcaklık psikrometrik diyagramda hareketini göstermektedir. Diyagramdaki P1 noktası, dış ortam sıcaklığı 20 °C ve %50 bağıl nem de olan taze havayı göstermektedir. Taze hava belirtilen şartlarda ısı değiştiriciye girmekte ve duyulur ısıtma yapılarak nem miktarı değiştirilmeden kurutma için kullanılacak sıcaklık olan 100 °C'ye ısıtılmaktadır. P2 noktası da kurutma için ısıtılan havayı göstermektedir. Daha sonra kurutma havasının kuru termometre sıcaklığı, adyabatik nemlendirme işlemi ile 85 °C'ye düşmektedir. P3 noktası da kurutma da kullanılan havanın siklondan akışkan yataklı kurutucuyu terk ettiği sıcaklığı göstermektedir. Kurutma da kullanılan havanın çiillenme noktası sıcaklığı yaklaşık 29 °C'dir. Çizelge 9.7 ise kurutmada kullanılan havanın psikrometrik diyagramda gösterilen noktalardaki özelliklerini göstermektedir.



Şekil 9.7. Akışkan yataklı ön kurutuculu sistemin psikrometrik diyagramı

Çizelge 9.7. Psikrometrik diyagramda gösterilen noktaların özellikleri

Özellik	P1	P2	P3
Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)	20	100	85
Mutlak Nem	0,0073	0,0073	0,0134
Entalpi (kJ/kg)	38,6	120	120

9.3.2. Pnömatik kurutuculu ön kurutma sistem değerleri

Pnömatik kurutuculu ön kurutma sisteminde, kurutma işlemi gerekli hava Bölüm 9.3.1’de değerleri verilen gövde borulu ısı değiştirici ile aynı şekilde elde edilerek 100 °C sıcaklığa ısıtılır. Daha sonra hava, fan yardımıyla yine kanallara ayrılarak 10 adet kurutucudan oluşan sisteme gönderilir. Bölüm 9.3.1’de belirtilen sistemden farklı olarak akışkan yataklı kurutucu yerine pnömatik kurutucu kullanılır. Kömür akışkan yataklı kurutucuda akışkanlaştırılıp yatak içinde oyalanırken, hava sürekli sirkülasyon içerisinde. Pnömatik kurutucuda ise hesaplanan kurutucu boyunca kömür parçacıkları siklona kadar taşınır. Siklondan sonra kömür konveyör bantlarla kazana beslenirken, nemli hava ise filtre sistemine gönderilir. Çizelge 9.8’de pnömatik kurutuculardan oluşan sistemin değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 9.8. Pnömatik ön kurutuculu sistem değerleri

Özellik	Açıklama	Birim	Değer
d_p	Kömür Maksimum Tane Boyutu	mm	6
u_g	Sedimentasyon Hızı	m/s	15,4
μ	Maksimum Ön Kurutma Derecesi	-	0,14
-	Kurutu Kesiti	Daire	-
D_{pn}	Kurutucu Tüp Çapı	m	1,98
L_T	Kurutucu Tüp Uzunluğu	m	125
τ	Oyalama Süresi	s	24
$T_{hava,\chi}$	Kurutucu Hava Giriş Sıcaklığı	°C	100
$T_{kurutucu,\chi}$	Kurutucu Hava Çıkış Sıcaklığı	°C	53,75
Δp	Basınç Düşüşü	Pa	120
-	Toplam Kurutucu Sayısı	-	10
P_{fan}	Fan Gücü	kW	142

9.3.3. Döner kurutuculu ön kurutma sistemi değerleri

Döner kurutuculu ön kurutma sisteminde Bölüm 9.3.1’de anlatıldığı gibi baca gazı bypass sistemi ile ısı değiştiriciye gönderilir. Döner kurutuculu sistemde gövde borulu yerine plakalı ısı değiştirici kullanılarak tasarımı yapılmıştır. 160 °C sıcaklıktaki baca gazı plakalı ısı değiştiriciye girerek 100 °C sıcaklıkta çıkmaktadır. Benzer şekilde taze hava ısı değiştiriciye girdikten sonra kurutma sıcaklığı olan 100 °C’ye ısıtılır. Her baca gazı için ayrı ayrı ısı değiştirici tasarımı yapılmıştır ve tasarım parametrelerinden büyük olanı seçilmiştir. Çizelge 9.9, 100 °C sıcaklıkta kurutma havası elde edebilmek için gerekli ısı değiştiricinin özelliklerini göstermektedir. Kurutma havası, paralel şekilde çalışan kurutuculara kanallarla ayrılarak kömürle beslenen döner kurutucuya girmektedir. Döner kurutucuda tasarım kriterleri çerçevesinde ön kurutma derecesi 0,14 olabilmesi için birbirine seri bağlı iki kurutucu grubu bulunmaktadır. İlk döner kurutucuda grubunda kömürün neminin bir kısmı alındıktan sonra kömür ikinci gruba aktarılır. Bu arada ilk kurutucudan çıkan nemli hava yeniden ısıtılmak üzere ikinci bir plakalı ısı değiştiriciye gönderilir. Yeniden duyulur ısıtma yapıldıktan sonra ikinci döner kurutucuya gelerek kurutma işlemine devam edilir. İkinci döner kurutucuda sonra kömürler toplanarak kazana beslenir, nemli havada kanallar yardımıyla toplanır ve filtre sistemine gönderilir.

Çizelge 9.9. Plakalı ısı değiştiricinin tasarım değerleri

Özellik	Açıklama	Birim	Değer
D_p	Akışkan geçiş çapları	m	0,3
L_v	Plaka Boyu	m	1,5
L_w	Plaka Genişliği	m	1
p	Plaka Aralığı	mm	7
t	Plaka Kalınlığı	mm	0,6
ϕ	Genişleme Faktörü	-	1,17
N_t	Plaka Sayısı	-	250
L	Isı Değiştirici Uzunluğu	m	1,75
β	Kanal Açısı	°	45
R_{ft}	Kirlenme Faktörü	m ² K/W	0,000017
k	Boruların Isıl İletkenlik Katsayısı	W/m.K	17,5
Δp	Baca Gazı Basınç Düşüşü	Pa	525
P_{fan}	Baca Gazı Fan Gücü	kW	355
Δp	Hava Tarafı Basınç Düşüşü	Pa	356
P_{fan}	Hava Tarafı Fan Gücü	kW	178

100 °C sıcaklıkta kurutma havası 178 kW’lık fan ile kanallara ayrılarak döner kurutuculara gönderilir. Baca gazı ise 355 kW gücünde fan yardımıyla bypass sistemine ve oradan da baca gazı arıtma tesisine gönderilir. Çizelge 9.10, sistemde kullanılan kurutucuların özelliklerini göstermektedir. Kurutma havası ilk döner kurutucuya 100 °C sıcaklıkta girdikten sonra 69 °C sıcaklıkta çıkmaktadır. Daha sonra bu hava ikinci ısı değiştiriciye gönderilmektedir. Birinci ısı değiştiriciden 100 °C sıcaklıkta çıkan baca gazı ikinci ısı değiştiriciye gönderilerek kurut termometre sıcaklığı azalan havayı tekrar ısıtır. Baca gazı ikinci ısı değiştiriciden yaklaşık 87 °C sıcaklıkta çıkarak bypass sistemine gönderilirken 86,87 °C sıcaklığa ısıtılan hava da ikinci grup döner kurutuculara nem alma işlemi için gönderilir. 86,87 °C sıcaklığındaki hava ikinci grup döner kurutuculardan da 68,84 °C sıcaklıkta çıkarak ana kanalda toplanır ve fan yardımıyla filtre sistemine gönderilir. Çizelge 9.11’de ikinci ısı değiştiricinin özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 9.10. Döner kurutucuların özellikleri

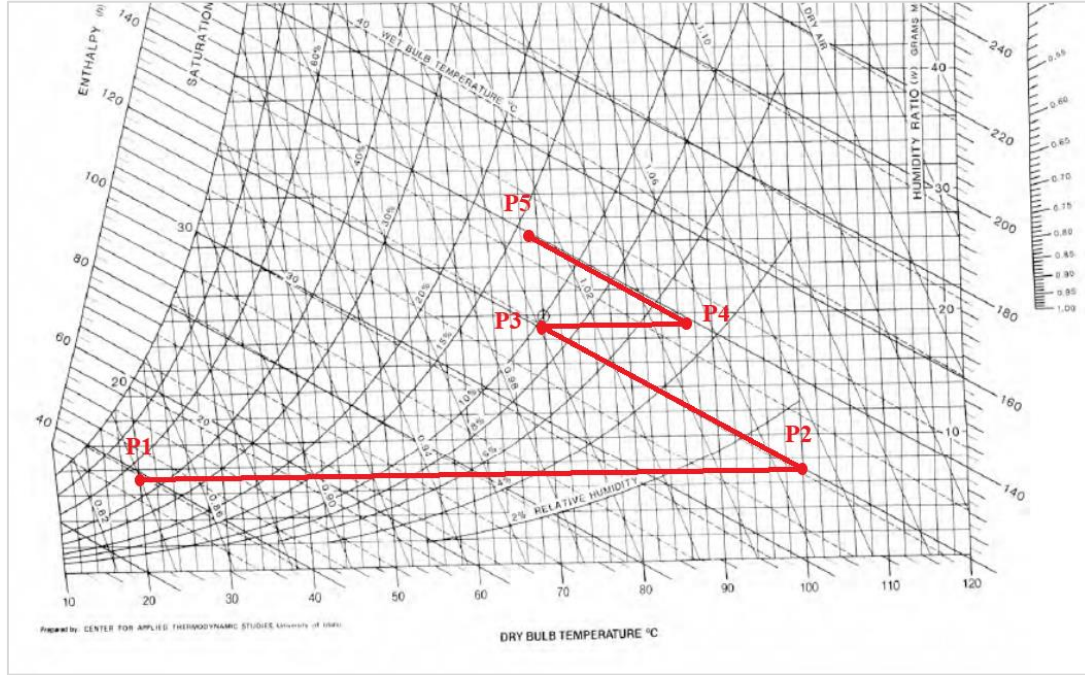
Özellik	Açıklama	Birim	Değer
d_p	Kömür Maksimum Tane Boyutu	mm	6
D_T	Tambur Çapı	m	3,5
L	Tambur Boyu	m	35
N_{rev}	Dönme Hızı	rpm	17
S	Tamburun Eğimi	°	5
NTU	Isı Transferi Ünite Sayısı	-	1,5
K	Orantı Sabiti	-	5,25
τ	Bir Kurutucudaki Oyalama Süresi	s	436
-	İç Kanat Sayısı	-	34
-	İç Kanat Derinliği	cm	43,75
P_{rot}	Bir Tambur için Gerekli Motor Gücü	kW	100
Δp	Basınç Düşüşü	Pa	110
-	Seri Bağlı Kurutucu Sayısı	-	2
-	Paralel Bağlı Kurutucu Sayısı	-	15
-	Toplam Kurutucu Sayısı	-	30
P_{fan}	Paralel Bağlı Grup Toplam Fan Gücü	kW	63

Çizelge 9.11. Isı geri kazanım plakalı ısı değiştiricinin tasarım değerleri

Özellik	Açıklama	Birim	Değer
D_p	Akışkan geçiş çapları	m	0,3
L_v	Plaka Boyu	m	2,5
L_w	Plaka Genişliği	m	1,5
p	Plaka Aralığı	mm	7
t	Plaka Kalınlığı	mm	0,6
ϕ	Genişleme Faktörü	-	1,17
N_t	Plaka Sayısı	-	250
L	Isı Değiştirici Uzunluğu	m	3,62
β	Kanal Açısı	°	45
R_{ft}	Kirlenme Faktörü	m^2K/W	0,000017
k	Boruların Isıl İletkenlik Katsayısı	$W/m.K$	17,5
Δp	Baca Gazı Basınç Düşüşü	Pa	373
P_{fan}	Baca Gazı Fan Gücü	kW	231
Δp	Hava Tarafı Basınç Düşüşü	Pa	290
P_{fan}	Hava Tarafı Fan Gücü	kW	154

Havanın kurutma işlemleri esnasındaki izlediği yolda Şekil 9.8'deki psikrometrik diyagramda gösterilmiştir. P1 noktasındaki taze hava baca gazıyla beraber birinci ısı değiştiricide duyulur ısıtma yapılarak P2 noktasına getirilmektedir. Döner kurutucuda P2 noktasından adyabatik nemlendirme işlemi yapılarak P3 noktasından döner kurutucudan

çıkmaktadır. Isı geri kazanım yapılması için hava ikinci bir ısı değıştiriciye gönderilerek P3 noktasından P4 noktasına tekrar duyulur ısıtma yapılarak ilkine seri bağı olan diğerk döner kurutucuya gönderilir. Bu döner kurutucuda adyabatik nemlendirme işlemi yapılarak hava P5 noktasına getirilir ve bu şekilde filtre sistemine gönderilir.



Şekil 9.8. Döner kurutucu sistemdeki havanın psikrometrik diyagramı

9.4. Ön Kurutma Sistemlerinin Termik Santral Üzerindeki Sonuçları

Tasarlanan ön kurutma sistemleri ham linyitin nem muhtevasını azaltacağı için linyit numunelerinin alt ısı değerlerinde artış olacaktır. Bu artışla beraber karşılaştırma yapabilme açısında referans santral ve ön kurutma sistemi bulunan santralin kazan besleme debisinin aynı olduğu düşünöldüğünde kazana daha çok enerji girişı olacaktır. Ayrıca nem muhtevasındaki azalma sayesinde kazanın ısı kayıplarında bir miktar azalma olacağı için kazan veriminde de artış gerçekleşecektir. Türbin-jeneratör sisteminde herhangi bir değışiklik olmayacağı için kazanın ürettiğı buhar debisi artacaktır. Artan buhar debisi sistemdeki pompa ve fanların daha çok enerji tüketmesine neden olurken, santralin ürettiğı toplam enerji miktarı da artacaktır. Sonuç olarak da kazanın veriminde bir miktar artış gözlenirken, ürettiğı elektrik miktarı artacağı için santral karlılığında da artış gözlenecektir. Çizelge 9.12’de kömür numunelerinin ön kurutma derecelerine göre yaş bazdaki nem değerlerini gösterilmektedir.

Çizelge 9.12. Kömür numunelerinin ön kurutma derecelerindeki nem muhtevaları

Ön Kurutma Derecesi (μ)	Yaş Bazda Nem Muhtevası (%) (M_{ar})	
	Afşin-Elbistan	Yatağan
0,00	50,46	38,39
0,02	49,45	37,13
0,04	48,39	35,82
0,06	47,29	34,45
0,08	46,15	33,03
0,10	44,95	31,54
0,12	43,70	29,98
0,14	42,39	28,37

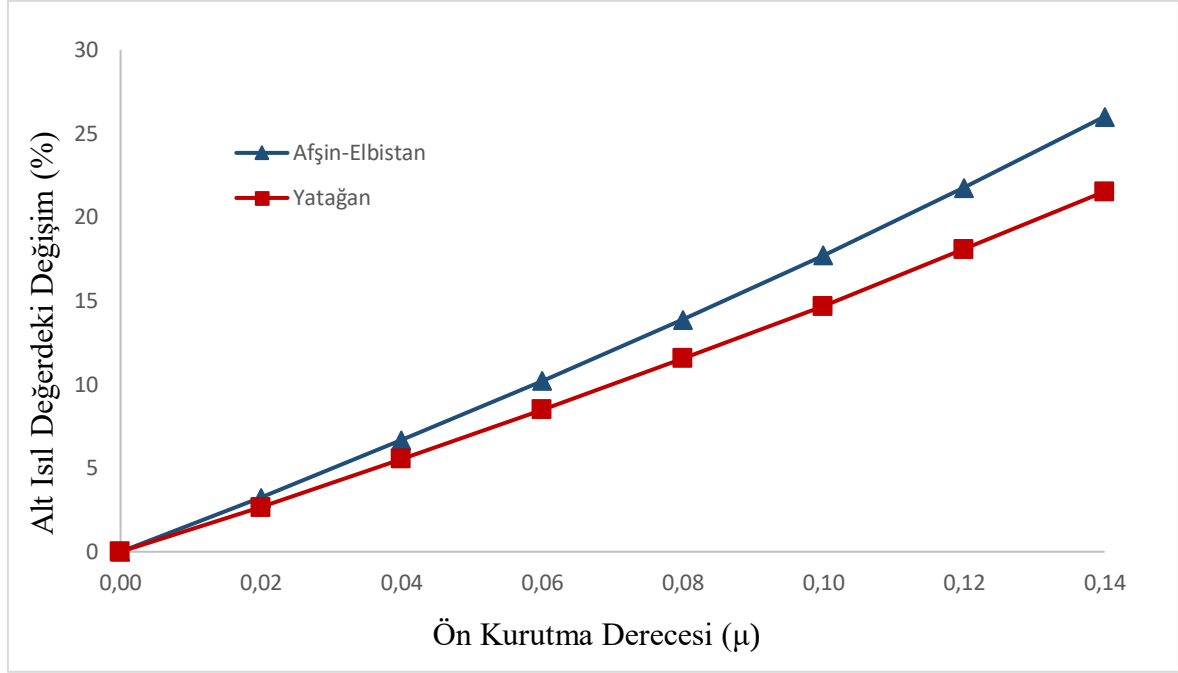
9.4.1. Kömür numunelerinin alt ısı değerlerindeki değişim

Ön kurutma işlemi yapılması sonucunda kömürün nem muhtevası azaldığı için alt ısı değerinde artış gerçekleşecektir. Afşin-Elbistan linyitinin başlangıç nem içeriği %50,46'dan %42,39'a düşürüldüğünde, alt ısı değeri 988 kCal/kg'dan 1245 kCal/kg'a yükselmektedir. Benzer şekilde, Yatağan linyitinin başlangıç nemi %38,39'dan %28,37'ye düşürülürken, alt ısı değeri 1765 kCal / kg'dan 2145 kCal/kg'a yükselmektedir. Çizelge 9.13'te ön kurutma derecesine göre kömürlerin alt ısı değerleri görülmektedir.

Çizelge 9.13. Kömür numunelerinin alt ısı değerleri (kCal/kg)

Ön Kurutma Derecesi (μ)	Alt Isıl Değer (kCal/kg)	
	Afşin-Elbistan	Yatağan
0,00	988	1765
0,02	1020	1812
0,04	1054	1863
0,06	1089	1915
0,08	1125	1969
0,10	1163	2024
0,12	1203	2084
0,14	1245	2145

Kömürler farklı başlangıç nem içeriğine ve alt ısı değere sahip olduğundan karşılaştırma, ön kurutma derecesine göre ve alt ısı değerindeki değişime göre yapılmıştır. Şekil 9.9'da kömür numunelerinin ön kurutma derecelerine göre alt ısı değerindeki değişim oranı görülmektedir.



Şekil 9.9. Kömür numunelerinin alt ısı değerlerindeki değişim

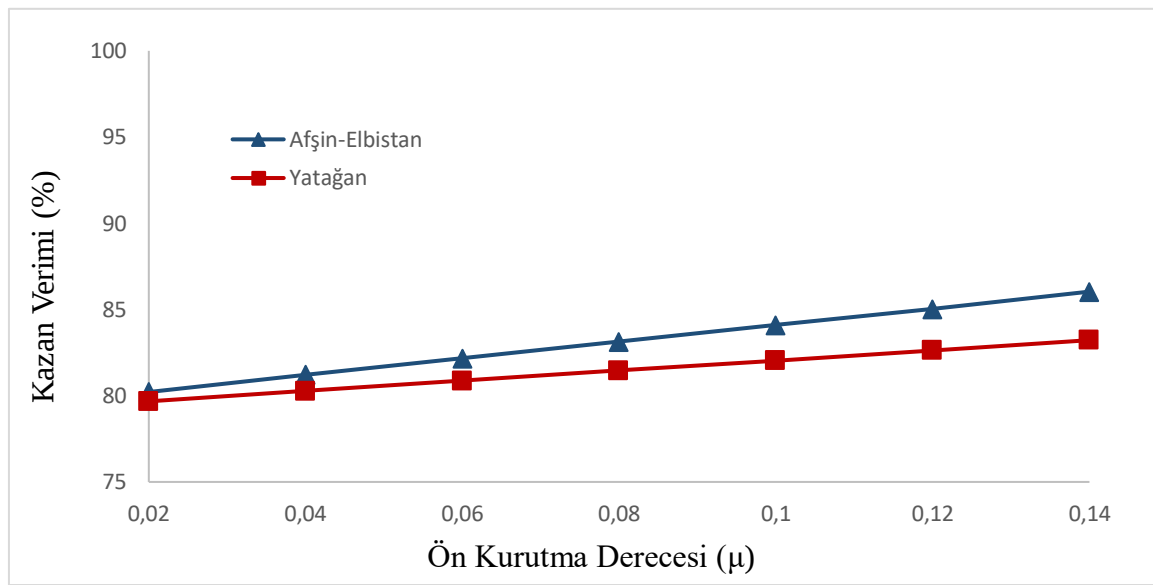
Şekil 9.9 incelendiğinde ön kurutma derecesi arttıkça alt ısı değerinde doğrusal bir artış gözlenmektedir. Sonuç olarak da başlangıçtaki nem içeriği ne kadar yüksek olursa, alt ısı değerindeki artış da o kadar yüksek olacaktır.

9.4.2. Kazan verimindeki değişim

Kömürün nem içeriğini ve baca gazı sıcaklığını azaltmak, kazanın verimliliğini artıran önemli bir faktördür. Ayrıca kömürün neminin alınması neticesinde yanma verimi de artacak bunun yanında kazan kayıpları azalacaktır. Kazanın kayıpları arasında kuru baca gazından kaynaklı ısı kaybı incelendiğinde baca gazındaki kuru gazların kütsel yüzdesi artmasına rağmen düşen baca gazı sıcaklığına bağlı olarak baca gazının özgül ısısındaki azalma ve kömürün alt ısı değerindeki artış kuru baca gazı kaynaklı ısı kaybında düşüş olacaktır. Kömürün bünyesindeki hidrojenin yanmasıyla oluşan su buharı kaynaklı ısı kaybında, artan hidrojen kütseline rağmen baca gazı sıcaklığının azalmasına ve alt ısı değerindeki artışa bağlı olarak az miktarda bir düşüş gözlenecektir. Diğer tarafta ise kömürün nem içeriğindeki azalmaya bağlı olarak neme bağlı ısı kaybında kayda değer bir düşüş oluşacaktır. Isı kayıplarındaki bu azalışlar, kazan veriminde artış sağlayacaktır. Çizelge 9.14 ön kurutma derecelerine göre kazan verimini göstermektedir. Şekil 9.10, kazan verimindeki artışı göstermektedir.

Çizelge 9.14. Ön kurutma derecesine göre kazan verimindeki artış

Ön Kurutma Derecesi (μ)	Kazan Verimi (%)	
	Afşin-Elbistan	Yatağan
0,02	80,21	79,67
0,04	81,22	80,27
0,06	82,17	80,86
0,08	83,13	81,46
0,10	84,09	82,04
0,12	85,03	82,63
0,14	86,04	83,22



Şekil 9.10. Kazan verimindeki değişim

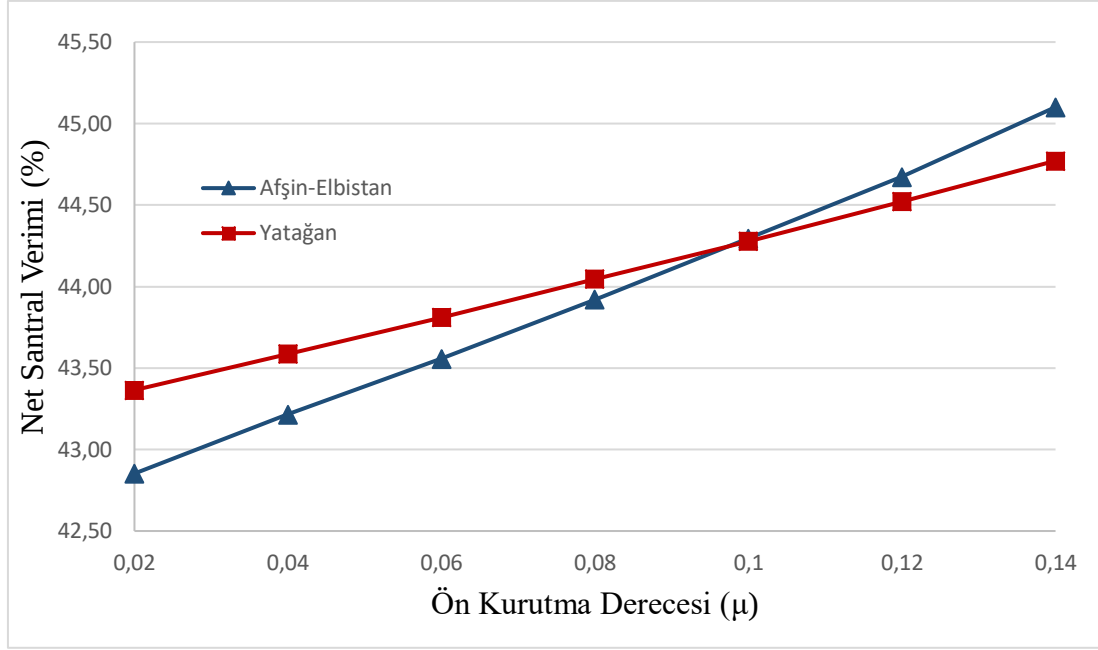
9.4.3. Akışkan yataklı ön kurutma sisteminin santral verimine etkisi

Tasarımı yapılan sistem sonucunda kazana beslenen kömürün alt ısı değerindeki artış ve nem değerinin ve baca gazı sıcaklığının azalmasına bağlı olarak kazan verimindeki artış santralde üretilen buhar miktarını ve termik santralin ürettiği elektrik miktarını artıracaktır. Ön kurutma sistemi bileşenlerinin santral sistemine eklenerek çalışması ve mevcut santral bileşenlerinin daha fazla çalışmasına bağlı olarak tüketilen elektriğin artmasına neden olacaktır. Sonuç olarak da santralin ürettiği net elektrik miktarı arttığı için santralin net verimi de artacaktır. Çizelge 9.15'te ön kurutma derecesine göre santralin net verimindeki artış görülmektedir.

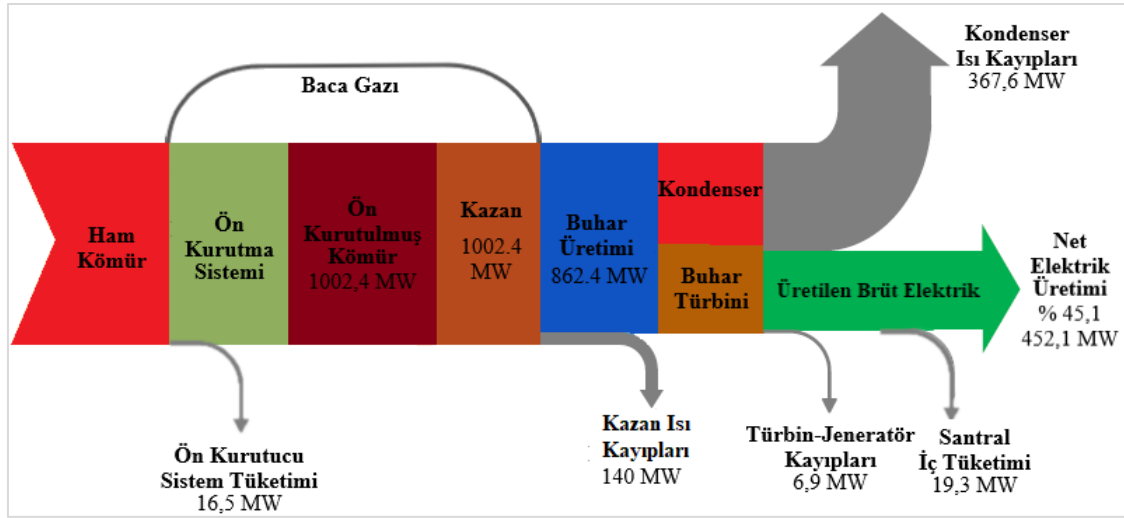
Çizelge 9.15. Akışkan yataklı ön-kurutma sistemli santralin net verimi

Ön Kurutma Derecesi (μ)	Net Santral Verimi (%)	
	Afşin-Elbistan	Yatağan
0,02	42,85	43,36
0,04	43,22	43,59
0,06	43,56	43,81
0,08	43,92	44,05
0,10	44,29	44,28
0,12	44,67	44,52
0,14	45,10	44,77

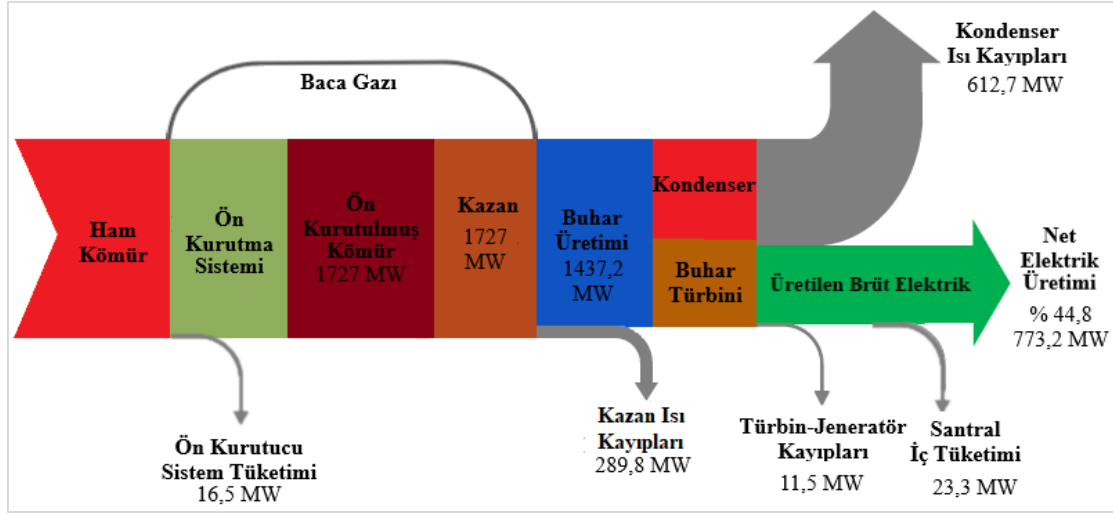
Ön kurutma sistemi olmayan santralin net verimliliği, Afşin-Elbistan linyiti kullanıldığında %40,70 ve Yatağan linyiti kullanıldığında %41,25'tir. Çizelge 9.15'te görüldüğü gibi, ön kurutma sisteminde ön kurutma derecesi 0,14 olduğunda, Afşin-Elbistan linyiti kullanıldığında santralin net verimliliği %45,10'a çıkarken Yatağan linyiti kullanıldığında net verimlilik %44,77'ye yükselmektedir. Her iki kömürde de ön kurutma derecesi aynı olmasına rağmen Afşin-Elbistan linyiti kurutulduğunda tesisteki verimlilik artışı daha yüksektir. Bunun nedeni, Afşin-Elbistan linyitinin nem içeriğinin daha yüksek olmasına bağlı olarak alt ısı değerindeki artış oranının daha yüksek olmasıdır. Ayrıca kazan verimliliğindeki artış da daha yüksektir. Bu nedenle, Afşin-Elbistan linyiti kullanılan ön-kurutma sistemli elektrik santralinin net verimlilik artışı Yatağan linyitinden daha yüksektir. Şekil 9.11'de ön kurutma derecelerine bağlı olarak santralin net verimindeki artış görülmektedir. Ayrıca Şekil 9.12 ve 9.13, ön kurutma derecesi 0,14 olarak tasarlanan sistemlerin Sankey diyagramlarını göstermektedir.



Şekil 9.11. Akışkan yataklı ön-kurutma sistemli santralin net verimindeki artış



Şekil 9.12. Afşin-Elbistan linyitli, akışkan yataklı kurutma sistemi diyagramı ($\mu=0,14$)



Şekil 9.13. Yatağan linyitli, akışkan yataklı kurutma sistemi diyagramı ($\mu=0,14$)

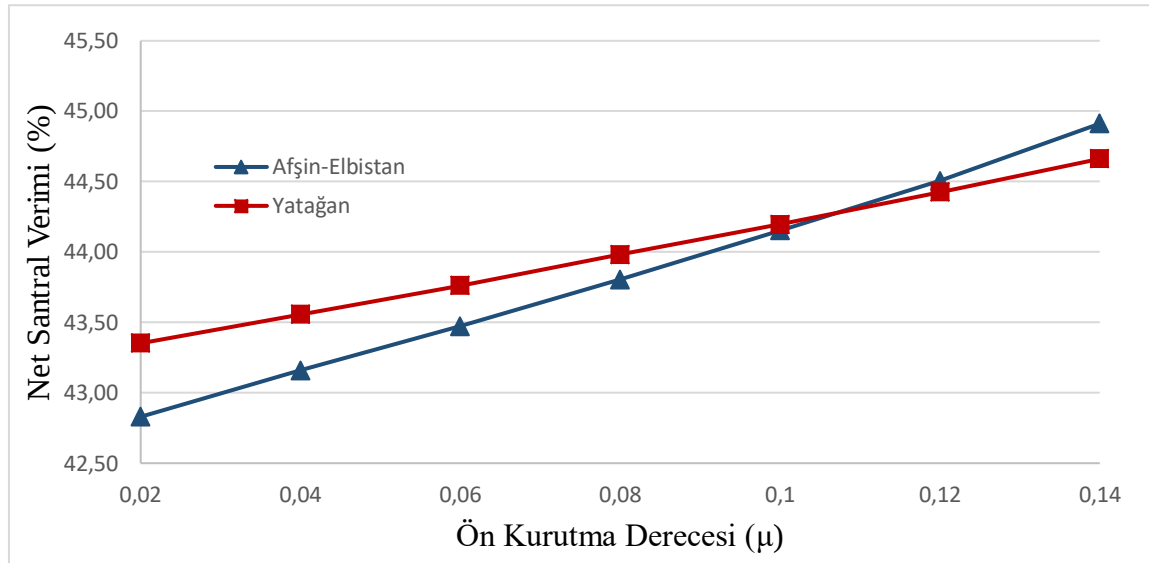
9.4.4. Pnömatik ön kurutma sisteminin santral verimine etkisi

Pnömatik kurutuculardan oluşan sistem akışkan yataklı sistemler benzer bir tasarım göstermektedir. Diğer sistemden tek farkı ise kurutulacak kömürün akışkan yatakta oyalanması yerine pnömatik taşımayla kömürün kurutulmasıdır. Benzer şekilde kazana beslenen kömürün alt ısı değerindeki artış ve nem değerinin ve baca gazı sıcaklığının azalmasına bağlı olarak kazan verimindeki artış santralde üretilen buhar miktarını ve termik santralin ürettiği elektrik miktarını artıracaktır. Ön kurutma sistemi bileşenlerinin santral sistemine eklenerek çalışması ve mevcut santral bileşenlerinin daha fazla çalışmasına bağlı olarak tüketilen elektriğin artmasına neden olacaktır. Akışkan yatağa göre yeni fanlar daha az enerji harcarken, kurutucularda daha fazla enerji harcanmaktadır. Sonuç santralin net verimliliğindeki artış Çizelge 9.16'da ön kurutma derecesine göre gösterilmektedir.

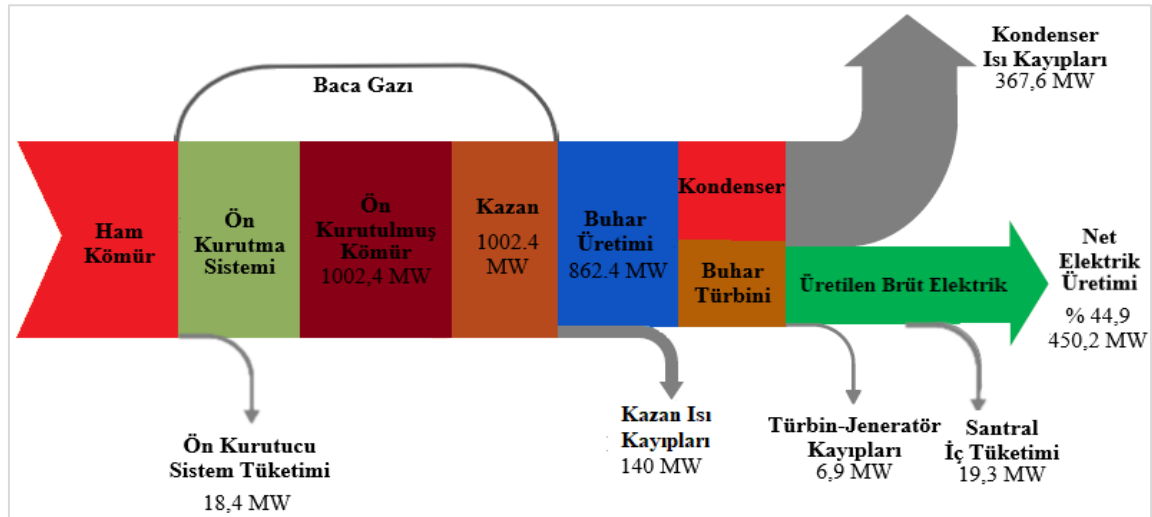
Çizelge 9.16. Pnömatik ön-kurutma sistemli santralin net verimi

Ön Kurutma Derecesi (μ)	Net Santral Verimi (%)	
	Afşin-Elbistan	Yatağan
0,02	42,83	43,35
0,04	43,16	43,56
0,06	43,47	43,76
0,08	43,80	43,98
0,10	44,15	44,20
0,12	44,51	44,43
0,14	44,91	44,66

Çizelge 9.16'da görüldüğü gibi, ön kurutma sisteminde ön kurutma derecesi 0,14 olduğunda, Afşin-Elbistan linyiti kullanıldığında santralin net verimliliği %44,91'e çıkarken Yatağan linyiti kullanıldığında net verimlilik %44,66'ya yükselmektedir. Şekil 9.14'te ön kurutma derecelerine bağlı olarak santralin net verimindeki artış görülmektedir. Ayrıca Şekil 9.15 ve 9.16, ön kurutma derecesi 0,14 olarak tasarlanan sistemlerin Sankey diyagramlarını göstermektedir.

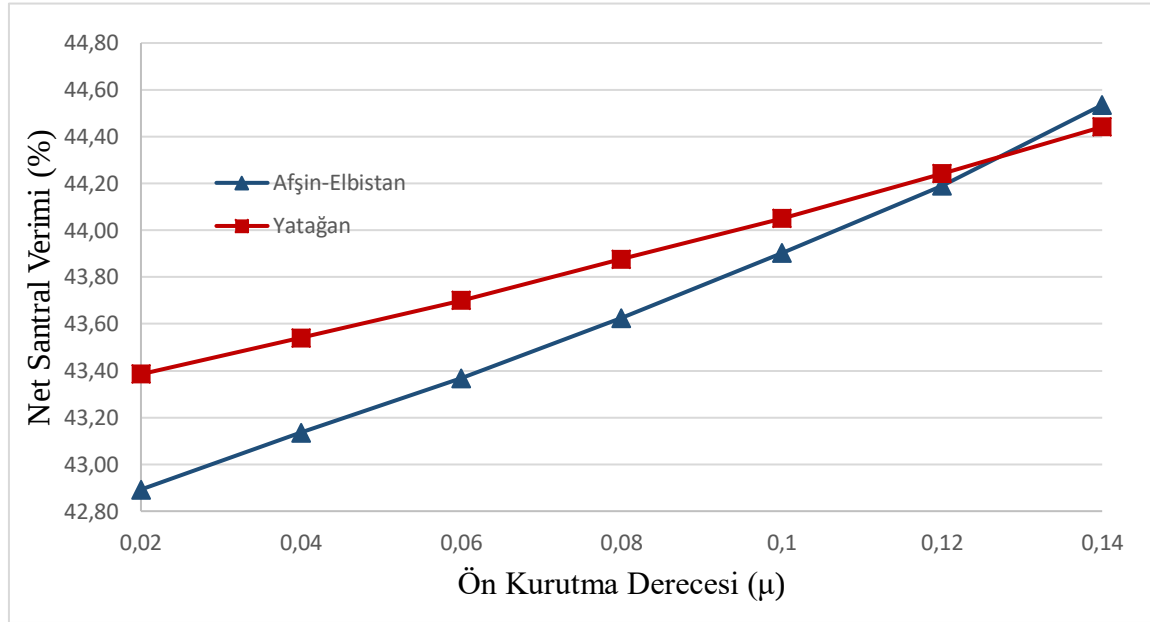


Şekil 9.14. Pnömatik ön-kurutma sistemli santralin net verimindeki artış

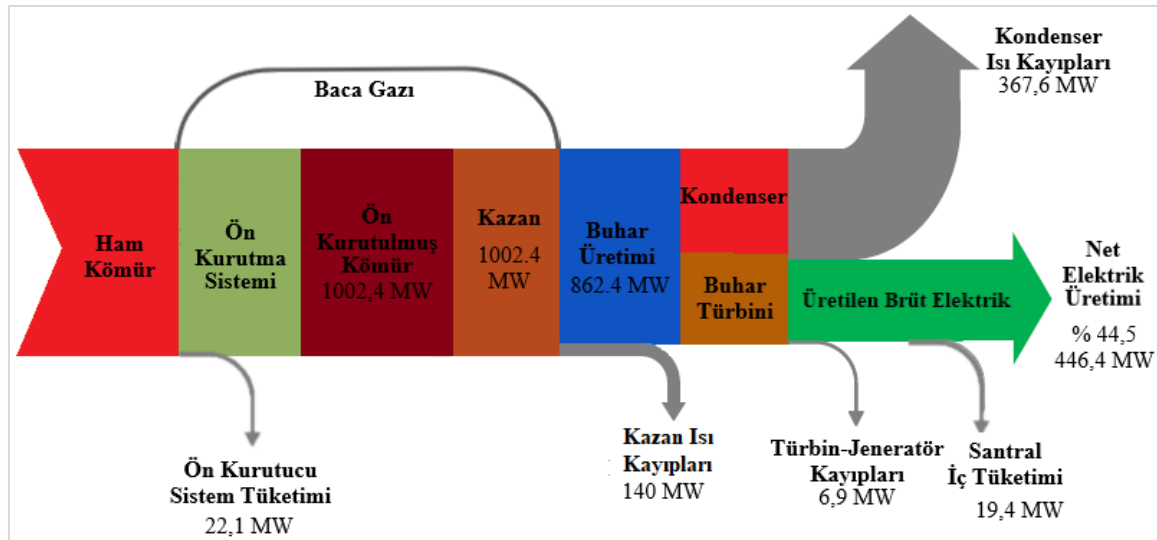


Şekil 9.15. Afşin-Elbistan linyitli, pnömatik kurutma sistemi diyagramı ($\mu=0,14$)

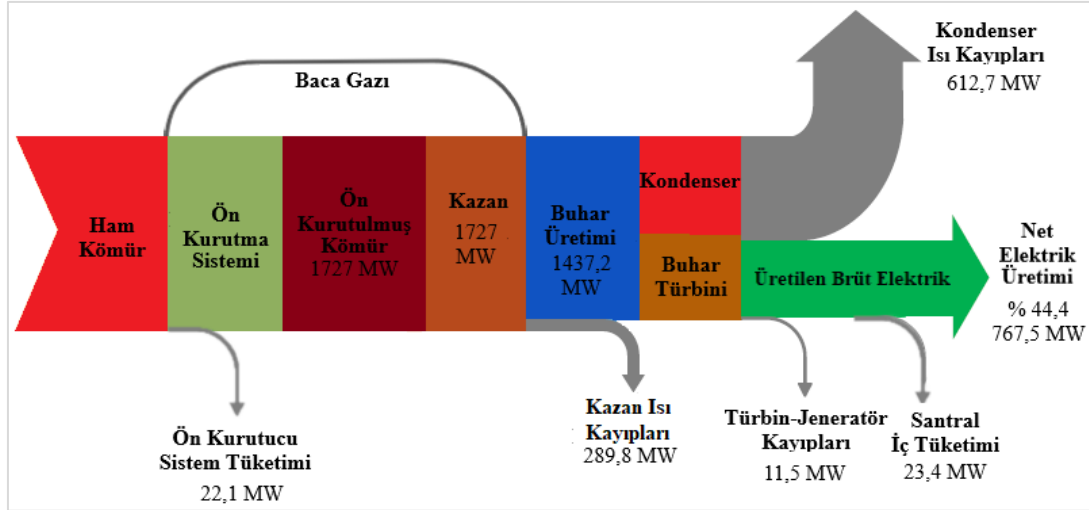
9.17’de ön kurutma derecelerine bağlı olarak santralin net verimindeki artış görülmektedir. Ayrıca Şekil 9.18 ve 9.19, ön kurutma derecesi 0,14 olarak tasarlanan sistemlerin Sankey diyagramlarını göstermektedir.



Şekil 9.17. Döner kurutuculu ön-kurutma sistemli santralin net verimindeki artış



Şekil 9.18. Afşin-Elbistan linyitli, döner kurutma sistemi diyagramı ($\mu=0,14$)



Şekil 9.19. Yatağan linyitli, döner kurutma sistemi diyagramı ($\mu=0,14$)

9.5. Ekonomik Analiz Sonuçları

Santraldeki net elektrik üretim artışı, tasarlanan sistem ve teorik analiz yardımıyla hesaplanmıştır. Artan net elektrik üretimi, yıllık ekstra gelir sağlamaktadır. Sistemlerin amortisman süreleri, sistemin yatırım maliyetleri ve yıllık bakım-operasyon giderleri göz önünde bulundurularak hesaplanmaktadır. Akışkan yataklı ön kurutma sisteminin ekonomik analizde kullanılan değerler ve parametreler Çizelge 9.18’de verilirken pnömatik sistemli santralin akışkan yataklı sistemden farklı olan değerleri ve parametreleri Çizelge 9.19’da verilmiştir.

Çizelge 9.18. Akışkan yataklı ön kurutma sistemi parametreleri

Parametre	Birim	Değer
Akışkan Yataklı Kurutucuların ve Siklonların Yatırım Maliyeti [5]	Milyon TL	24,4
Isı değiştirici Yatırım Maliyeti [5]	Milyon TL	4,2
Fanların ve Aksesuarlarının Yatırım Maliyeti	Milyon TL	2,34
Kanallar [13], Filtre Sistemleri ve Diğer Bileşenlerin Yatırım Maliyeti	Milyon TL	2,62
Arsa Maliyeti	Milyon TL	2,25
Yıllık Bakım ve Operasyon Giderlerindeki Değişim [13]	Milyon TL	1,31
Yıllık Çalışma Saati* [83]	Saat/Yıl	3739
Kapasite Faktörü	%	80
Elektrik Satış Ücreti [82]	TL/kWh	0,285
Faiz Oranı	%	15
Enflasyon Oranı	%	10
Sistem Ömrü	Yıl	30

*Santralin 2005-2014 yılları arasındaki yıllık çalışma saatinin ortalaması alınmıştır.

Çizelge 9.19. Pnömatik ön kurutma sistemi parametreleri

Parametre	Birim	Değer
Pnömatik Kurutucuların ve Siklonların Yatırım Maliyeti	Milyon TL	27,2
Fanların ve Aksesuarlarının Yatırım Maliyeti	Milyon TL	2,22
Yıllık Bakım ve Operasyon Giderlerindeki Değişim [13]	Milyon TL	1,42

Döner kurutuculardan oluşan sistemde 2 adet ısı değiştirici ve toplam 30 adet kurutucu bulunmaktadır. Çizelge 9.20’de akışkan yataklı kurutucudan farklı olan ekonomik analiz değer ve parametreleri verilmektedir. Çizelge 9.20’de verilmeyen değerler, Çizelge 9.18’de belirtilen değerler ile aynıdır.

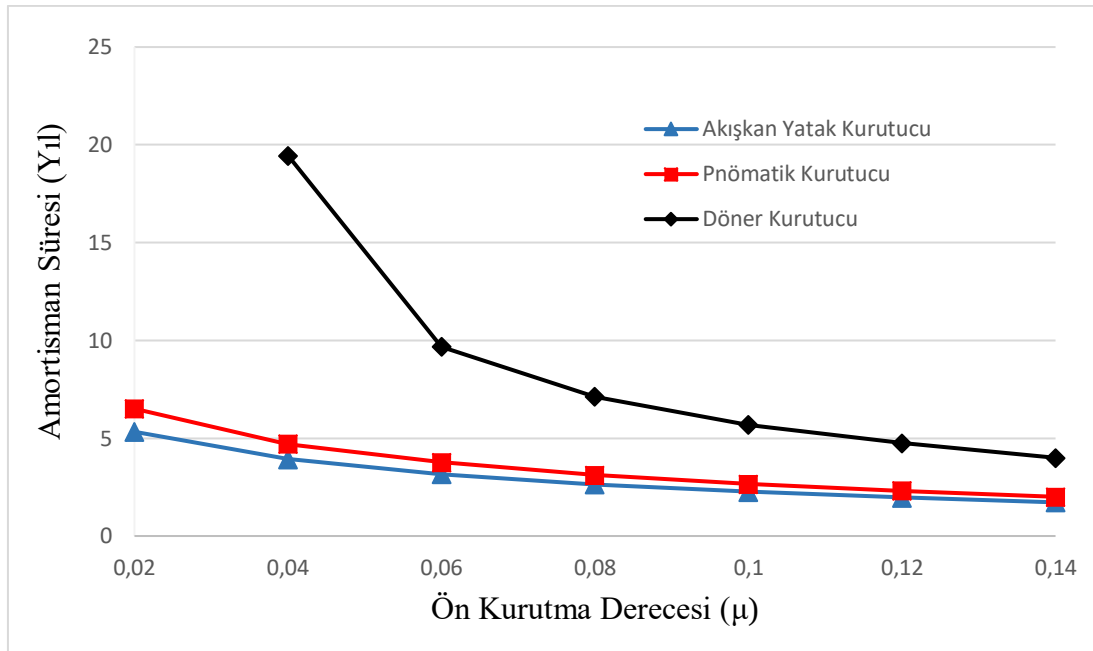
Çizelge 9.20. Döner kurutuculu ön kurutma sistemi parametreler

Parametre	Birim	Değer
Döner Kurutucuların Yatırım Maliyeti	Milyon TL	39,4
Isı değıştiricilerin Yatırım Maliyeti	Milyon TL	5,6
Fanların ve Aksesuarlarının Yatırım Maliyeti	Milyon TL	1,08
Kanallar [13], Filtre Sistemleri ve Diğer Bileşenlerin Yatırım Maliyeti	Milyon TL	3,96
Arsa Maliyeti	Milyon TL	6,75
Yıllık Bakım ve Operasyon Giderlerindeki Değişim [13]	Milyon TL	1,70
Sistem Ömrü	Yıl	25

Yapılan ekonomik analiz neticesinde Afşin-Elbistan linyiti yakıt olarak kullanan ve tasarımı yapılan 3 sistem için de hesaplanan amortisman süreleri Şekil 9.20’de verilirken, yıllık elde edilen ekstra gelir ise Çizelge 9.21’de verilmiştir.

Çizelge 9.21. Afşin- Elbistan linyiti için sistem türlerine göre yıllık ekstra gelir

Ön Kurutma Derecesi (μ)	Yıllık Ekstra Gelir (Milyon TL)		
	Akışkan Yataklı Kurutucu	Pnömatik Kurutucu	Döner Kurutucu
0,02	14,60	14,44	14,87
0,04	17,05	16,67	16,52
0,06	19,38	18,79	18,09
0,08	21,83	21,05	19,83
0,10	24,38	23,41	21,72
0,12	26,94	25,80	23,66
0,14	29,84	28,56	26,01

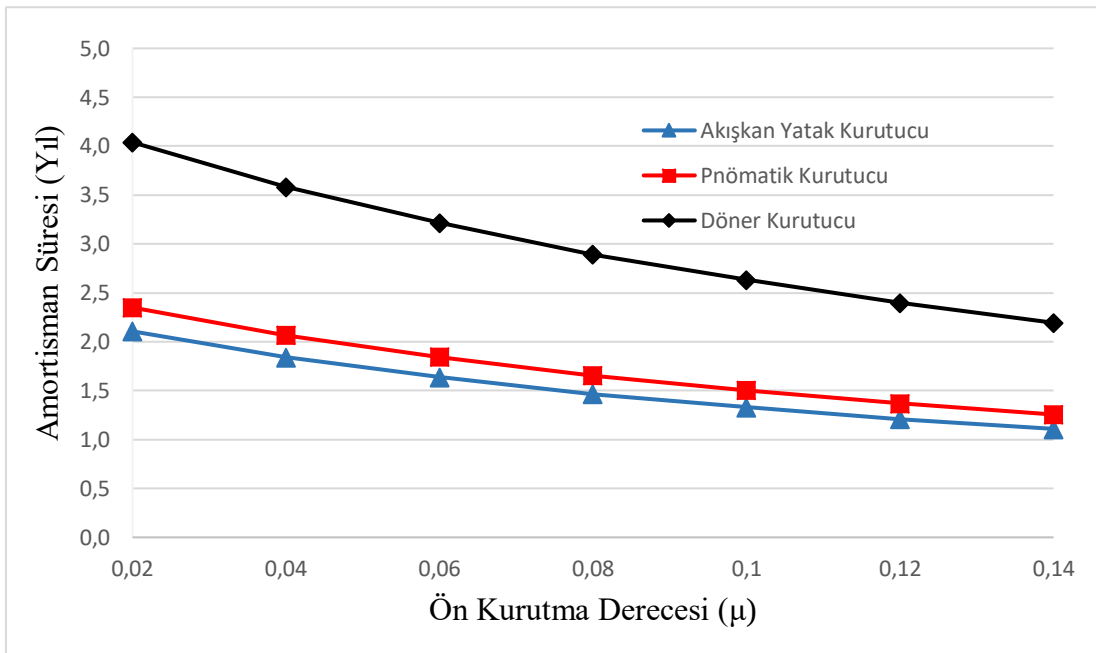


Şekil 9.20. Afşin Elbistan linyiti için ön kurutma sistemlerinin amortisman süreleri

Çizelge 9.21 ve Şekil 9.20 incelendiğinden döner kurutuculardan oluşan sistemin santral net verimi üzerine etkisi diğer ön kurutucu tiplerinden daha az olması nedeniyle sistemin yıllık ekstra gelir getirisi de daha azdır. Bu yüzden sistemin ön kurutma derecesine göre amortisman süreleri incelendiğinde diğer sistemlere göre kendini daha geç amorti ettiği görülmektedir. Ayrıca döner kurutucu sisteminde ön kurutma derecesi 0,02 olduğunda sistem ömrü içerisinde kendini amorti edemediği için grafik 0,04 değerinden başlamıştır. Ön kurutma derecesi 0,14 olduğunda, akışkan yataklı ön kurutma sisteminin kendini amorti etme süresi 1,72 yıl iken pnömatik kurutuculardan oluşan ön kurutma sistemin amortisman süresi 2,01 yıldır. Aynı ön kurutma derecesi için döner kurutuculardan oluşan sistemin amortisman süresi ise 4 yıldır. Döner kurutuculardan oluşan sistemde daha fazla kurutucu, bileşen, motor vb. parçalar olması nedeniyle yatırım maliyeti daha fazladır, bu yüzden de amortisman süreleri daha fazladır. Ön kurutma derecelerine göre amortisman süreleri belirtilmiştir. Belirtilen amortisman sürelerinden sonra sistemlerin ekonomik faydası lineer olarak artacaktır. Yatağan linyiti kullanıldığında elde edilen amortisman süreleri ise Şekil 9.21’de, yıllık ekstra gelir ise Çizelge 9.22’de verilmiştir.

Çizelge 9.22. Yatağan linyiti için sistem türlerine göre yıllık ekstra gelir

Ön Kurutma Derecesi (μ)	Yıllık Ekstra Gelir (Milyon TL)		
	Akışkan Yataklı Kurutucu	Pnömatik Kurutucu	Döner Kurutucu
0,02	25,61	25,45	25,86
0,04	28,31	27,93	27,74
0,06	31,02	30,42	29,68
0,08	33,88	33,08	31,81
0,10	36,67	35,68	33,92
0,12	39,63	38,46	36,24
0,14	42,65	41,32	38,65



Şekil 9.21. Yatağan linyiti için ön kurutma sistemlerinin amortisman süreleri

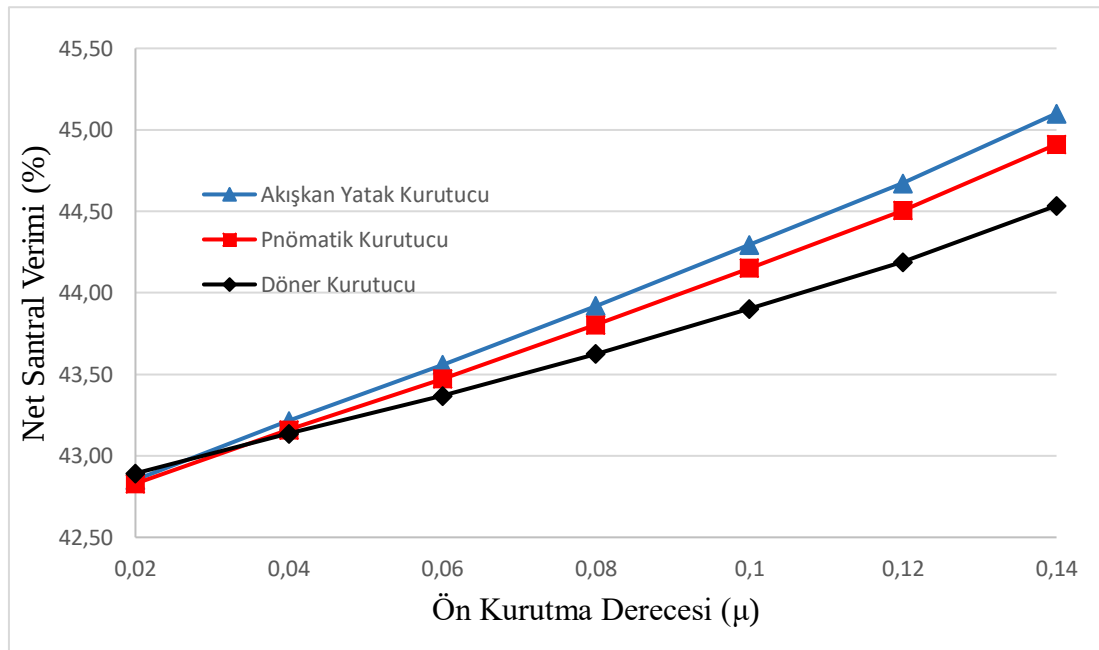
Çizelge 9.22 ve Şekil 9.21 incelendiğinde Afşin Elbistan linyitine göre daha fazla yıllık ekstra gelir getirdiği ve sistemlerin kendini daha çabuk amorti ettiği görülmektedir. Bunun nedeni Yatağan linyitinin alt ısı değerinin Afşin-Elbistan linyitine göre fazla olması ve verim artışıyla beraber üretilen ekstra elektrik miktarının daha fazla olmasıdır. Santrale daha fazla ısı güç girdiğinde benzer net verimlilik artışında daha fazla elektrik üretilecektir. Yıllık ekstra elde edilen gelir miktarı da daha fazla olacağı için amortisman süreleri de kısalmaktadır. Ön kurutma derecesi 0,14 olduğunda, sırasıyla akışkan yataklı ön kurutma sisteminin amortisman süresi 1,11 yıl, pnömatik kurutuculu ön kurutma sistemininki 1,26 yıl ve döner kurutuculardan oluşan sisteminki ise 2,19 yıldır. Tasarlanan

sistemler amortisman sürelerinden sonra ekonomik fayları artacak ve sistem her yıl ekstra gelir elde edecektir.

9.6. Tasarlanan Ön Kurutma Sistemlerinin Karşılaştırılması

9.6.1. Afşin-Elbistan linyitinin kuruma analizi

Afşin-Elbistan linyitinin kurutulması için 3 farklı sistem tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan sistemlerde akışkan yataklı kurutucunun kapasitesinin küçük olması ve gözenekliliğin yüksek olmasından dolayı hızlı bir kuruma performansı sergilerken, santral üzerine etkisi de enerji tüketiminin daha az olması nedeniyle daha fazladır. Pnömatik kurutuculardan oluşan sistem de performans olarak akışkan yataklı kurutucularla benzerlik gösterirken, iç tüketiminin ve yatırım maliyetinin daha fazla olması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Döner kurutuculardan oluşan sistem incelendiğinde ise aynı ön kurutma derecesinde daha fazla kurutucu olması, iç tüketiminin ve yatırım maliyetlerinin yüksek olması diğer sistemlere göre daha düşük bir performans göstermesine neden olmaktadır. Şekil 9.22’de kurutucu tiplerine göre santral net verimindeki değişim görülmektedir.



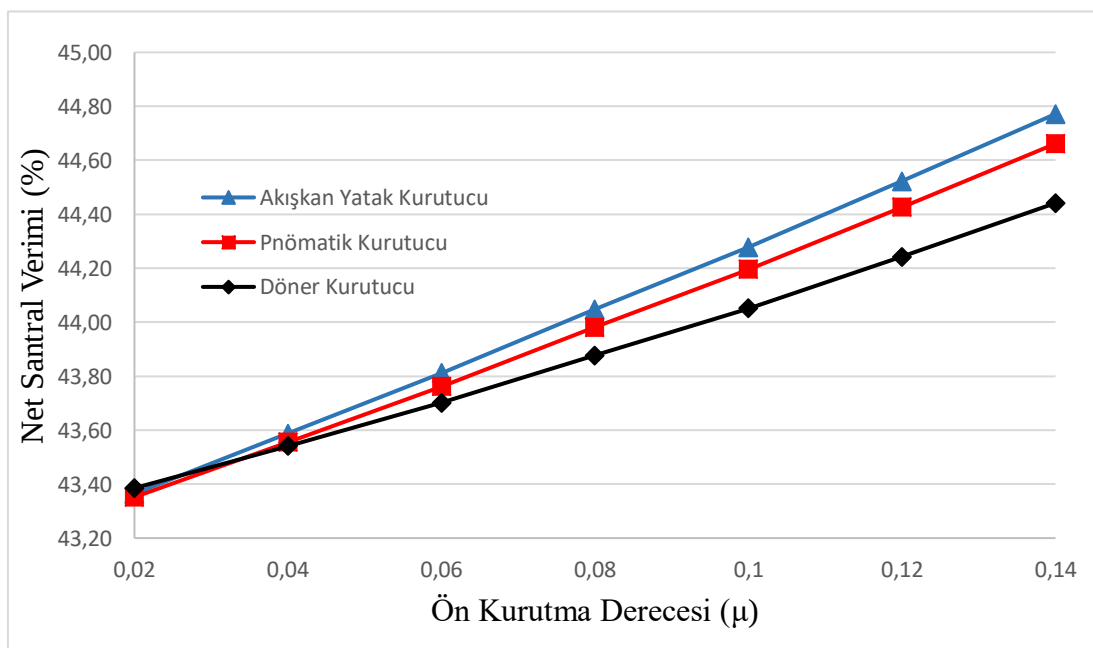
Şekil 9.22. Afşin Elbistan linyiti için sistemlerin santral verimine etkileri

Şekil 9.22’de görüldüğü gibi akışkan yataklı kurutucunun santral verimini %45,1’e kadar çıkarırken, pnömatik kurutucu ise %44,91’e kadar çıkarabilmektedir. Döner kurutuculu

sistem ise verimi %44,54'e kadar çıkarabilmektedir. Kurutucuların ön kurutma derecesi 0,14 olduğunda kurutma süreleri sırasıyla akışkan yatak için 104 saniye, pnömatik için 24 saniye ve döner kutucu için 872 saniyedir. Akışkan yataklı kurutucu ve döner kurutucuda nemli kömür kurutucu içerisinde oyalanarak kurutulduğu için istenilen ön kurutma derecesi için kurutucu içerisinde bekleme süreleri fazladır. Pnömatik kurutucu da ise sistem daha farklıdır. Nemli kömür parçacıkları kurutucu boyunca taşınarak kurutulduğu ve havanın kömür parçacıklarını taşıyabilmesi için hızının diğer kurutuculara göre fazla olmasından dolayı kuruma süresi daha kısadır. Kurutma fırınında kömürün aynı yaş bazdaki nem oranına düşmesi ise yaklaşık olarak 2136 saniye sürmektedir. Kuruma fırınında hava sirkülasyonu olmaması ve havanın kömür taneleriyle homojen temas etmemesi gibi nedenlerden dolayı kurutma süresi kurutuculara göre çok daha yavaştır.

9.6.2. Yatağan linyitinin kuruma analizi

Tasarlanan sistemlerde Yatağan linyitinin kurutulması sonucunda elde edilen değerler Afşin-Elbistan linyitinin kurutulması ile benzerlik göstermektedir. Akışkan yataklı ön kurutma sistemi santral net verimini %44,77'ye çıkarmaktadır. Pnömatik kurutma verimi %44,66'ya çıkarırken, döner kurutuculardan oluşan sistem santral net verimini %44,44'e çıkarmaktadır. Şekil 9.23'de Yatağan linyiti için kurutucu tiplerine göre santral net verimindeki değişim görülmektedir.



Şekil 9.23. Yatağan linyiti için sistemlerin santral verimine etkileri

Tasarlanan kurutucu sistemlerde kuruma süreleri ön kurutma derecesi 0,14 için Afşin-Elbistan linyitindeki değerlerle aynıdır. Kurutma deneyinde ise fırında belirtilen nem oranına kuruması için yaklaşık 4875 saniyedir.

9.6.3. Sonuçların literatürle karşılaştırılması

Literatürde aynı alanda yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda büyük kapasiteli bir kurutucu kullanılarak sistemler tasarlanmıştır. Ayrıca kömürden nem alındıktan sonra kazan debisinin düşüşü hesap edilerek sonuçlar elde edilerek değerlendirilmiştir. Tez çalışmasında ise önerilen sistemlerde tek bir büyük kapasiteli kurutucu yerine birbiri ile paralel çalışan küçük kapasiteli kurutuculardan oluşan sistemler önerilmiştir. Küçük kapasiteli kurutucuların her biri kömürün istenilen nem içeriğine düşmesini sağlarken toplam kurutucu sayısı ise kazan beslemesinin ön kurutma yapılmayan santralle aynı kalmasını sağlamaktadır. Bu sayede kazan verimindeki artış da literatürdeki değerlerden daha fazla olacağı sonucuna ulaşılabacaktır.

Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde baca gazının atık ısısı ile başlangıç nemi %32,24 olan kömüre ön kurutma yapılan bir çalışmada, ön kurutma derecesi 0,10 olduğunda, santralin net verimliliği %40,4'ten %41,3'e yükselmektedir [4]. Yapılan kurutma sayesinde santral veriminde %0,9'luk bir artış gerçekleşmiştir. Benzer başlangıç nemine sahip olan Yatağan linyitinin ön kurutma işlemi neticesinde, ön kurutma derecesi 0,10 olduğunda, akışkan yatakta santral verimi %41,25'ten %44,28'e yükselmiştir. Yani santralin net veriminde %3,03'lük bir artış gerçekleşmiştir. Aynı ön kurutma derecesi için pnömatik kurutucuda santral verimi %44,20'ye yükselerek %2,95'lik bir artış gerçekleşmiştir. Döner kurutuculardan oluşan sistemde ise santral verimi 44,05'e yükselerek %2,8'lik bir artış gerçekleşmiştir. Yapılan çalışmada, literatürde tespit edilen verim artışının yaklaşık 3 katı bir verim artışı gerçekleşmiştir.

Literatürde tasarlanan bir başka sistemde, akışkan yataklı kurutucunun kullanıldığı bir sistemde, tesisin net verimliliğinde %1,3'lük bir artış gözlenerek, santral verimi %37,6'dan %38,9'a yükselmiştir [5]. Tasarlanan sistemdeki verim artışının 0,09 ön kurutma derecesinde elde edildiği hesaplanmıştır. Aynı ön kurutma derecesinde yapılan analizde Afşin-Elbistan linyiti kurutulduğunda santral verimi %44,11'e yükselerek %3,41'lik bir

verim artışı gerçekleşmiştir. Benzer şekilde Yatağan linyiti aynı ön kurutma derecesinde santral verimi %44,16'ya yükselerek %2,91'lik bir verim artışı gerçekleşmiştir.

Bir başka çalışmada akışkan yataklı ön kurutucuda santraldeki farklı atık ısı türleri kullanılmıştır. Referans santralin verimi %39,57'dir. Akışkan yatakta ön kurutma derecesi 0,14 olduğunda atık buhar kullanıldığı santral verimi %41,08'e yükselirken, taze buhar kullanıldığında %41,66'ya ve besleme suyu kullanıldığında %40,9'a yükselmektedir [7]. Santralde en büyük verim artışı %2,09 olmuştur. Yapılan çalışmada ise 0,14 ön kurutma derecesinde Afşin-Elbistan linyiti için %4,4 verim artışı olurken Yatağan linyiti için bu oran %3,52'dir.

Yapılan deneysel bir çalışmada 0,05 m çapında ve 4 m uzunluğundaki bir pnömatik kurutucuda 70 °C sıcaklıkta saniyede 30 gram nem alındığı ve kurutucu çıkışında yağ bazda nem oranının %24,34'ten 20,54'e düştüğü sonucu elde edilmiştir [19]. Deney düzeneği ile yapılan tasarım arasında hacimsel olarak ölçeklendirme yapıldığında tasarlanan sistemde saniyede 14,7 kg/s nem alınabileceği görülmektedir. Bu debideki nem alma oranı ile kömür debisine göre hesaplama yapıldığında elde edilen oran 0,08 ön kurutma derecesine eşittir. Deneysel çalışmadaki nem alma oranı incelendiğinde, nem alma için gerekli enerji miktarı teorik analizde kullanılan kömürlere uygulandığında Afşin-Elbistan linyitinin nem içeriğinin %47,96'ya, Yatağan linyitinin nem içeriğinin ise %35,29'a düşeceği sonucu elde edilmiştir. Teorik çalışmada ise 0,08 ön kurutma derecesinde Afşin-Elbistan linyitinin nem içeriğinin %46,15, Yatağan linyitinin nem içeriğinin ise %33,03 olması gerekliliği sonucu elde edilmiştir. Deneysel çalışma 70 °C sıcaklıkta yapıldığı için 0,08 ön kurutma derecesinde kömürün kurutucuda çıkış değerleri ile tasarlanan sistemdeki 100 °C sıcaklıktaki kurutucuda çıkış değerleri benzerlik göstermektedir. Sonuçlar da tasarlanan kurutucunun doğru sonuç verebileceğini göstermektedir.

Literatürdeki bir başka çalışmada küçük kapasiteli kurutucuların performansları incelenmiştir. Yapılan çalışmada verimi %43,07 olan bir santral referans alınarak kurutucuların performansları incelenmiştir. 0,1 ön kurutma derecesinde döner kurutucunun santral verimini %0,14 artırdığı, pnömatik kurutucunun %0,2 artırdığı ve akışkan yataklı kurutucunun %0,31 artırdığı sonucuna ulaşılmıştır [8]. Kurutucuların santral verimini artırmadaki verdiği katkılar yapılan çalışmayla karşılaştırıldığında paralellik

göstermektedir. Yapılan çalışmada da santral verimini en çok akışkan yataklı kurutucu, daha sonra pnömatik kurutucu ve en sonda da döner kurutuculardan oluşan sistemin santral verimini artırdığı sonucu elde edilmiştir.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Düşük kaliteli kömürler, dünyadaki toplam kömür rezervlerinin yaklaşık %45'ini oluşturmaktadır ve %30'dan %66'ya kadar değişen yüksek nem içeriğine rağmen birçok ülkede en çok tercih edilen fosil yakıt olmaktadır. Türkiye'de de benzer bir durum görülmektedir. Türkiye linyit rezervinin ortalama nem değeri yaklaşık %28,3 ve alt ısı değeri ise 2446 kcal/kg'dır. Linyitin rezervindeki yüksek nem oranı ve düşük alt ısı değeri göz önünde bulundurulduğunda, mevcut linyitlerin kurutulması önem arz etmektedir. Kömürdeki nem miktarının azaltılması, alt ısı değeri artışıyla yanma verimliliğini ve sistem emniyetini artırırken, emisyonların ve nakliye maliyetlerinin azaltılmasını sağlamaktadır. Eğer nemli bir kömürün %35 olan başlangıç nemi %25'e kurutulursa, kömür üreticilerinin depolama, taşıma ve nakliye maliyetlerinin 0,19 \$/Gj düşebileceğini, ayrıca lojistik maliyetlerindeki tasarrufun da 600 MW'lık bir santral için yılda 7 milyon dolar olacağı raporlanmıştır [84].

Kömürün neminin azaltılması için çok sayıda kurutma yöntemi bulunmaktadır. Vakum, akışkan yatak, döner, pnömatik, mikrodalga ve kızgın buharla kurutma gibi metotlar kömür kurutmada kullanılan metotlar arasındadır. Her yöntemin, literatürde her zaman açıkça belirtilmeyen bazı artıları ve eksileri bulunmaktadır. Buna ek olarak, düşük kaliteli kömürler için sadece düşük maliyetli kurutma sistemleri kullanılması yerine sürdürülebilirliği olan sistemlerin kullanılması gerekmektedir.

Kömürü kurutmanın getireceği faydaların yanında oluşturduğu risklerde bulunmaktadır. Kurutulmuş yani sadece bünye nemi bulunan düşük kaliteli kömürlerin kendiliğinden yanma olasılığı yüksektir. Bu olasılık, bir yüzey olayı olduğu için parçacık boyutu ne kadar küçükse risk daha da artmaktadır. Yani, kömür parçacıkları ne kadar ince taneli olursa, kendiliğinden yanma eğilimi o kadar büyük olmaktadır [85]. Bu yüzden yapılan çalışmada, tane boyutu ortalama 6 mm olacak şekilde hesaplamalar yapılmıştır.

Kurutma işleminde oluşabilecek risklerden bir diğeri de uçucu madde kaybıdır. Kurutmada çok yüksek sıcaklıkların kullanılması, kurutma işlemi sonucunda uçucu madde kaybına yol açmakta, bu da kömürün kalorifik değerini azaltırken kendiliğinden tutuşma riskini de artırmaktadır. Düşük sıcaklıktaki hava veya düşük vakum kullanımı ve dolaylı kurutma, kendiliğinden yanma olasılığını ve uçucu madde kaybını azaltabilmekte, bu durumda

kurutma oranı da düşmektedir [85]. Belirtilen risklerden dolayı kömürün tutuşma ihtimali ve uçucu madde kaybına karşı çalışmada 100 °C sıcaklıkta kurutma işleminin yapılması tasarlanmıştır. Ayrıca risklerin azaltılması için kurutma işlemi direk baca gazıyla yapılmak yerine ısı değiştiricide taze hava ısıtılıp kurutmada kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasında teorik analizde kullanılacak kömürler için literatür değerleri yerine deneysel metotlarla elde edilmiş gerçek değerler kullanılmıştır. Kömür numuneleri ilgili deney standartlarına göre test edilmiş ve farklı düşük sıcaklıklarda kuruma karakteristikleri elde edilerek sonuçlar analizde kullanılmıştır.

Ön kurutma işleminin yapılabilmesi amacıyla akışkan yataklı kurutucu, pnömatik kurutucu ve döner kurutuculardan oluşan sistemler tasarlanmıştır. Genel olarak tek bir kurutucu hedeflenen kurutma değerine ulaşmayı sağlayamayacağı için düşük kaliteli kömürler için çok kademeli kurutma sistemleri önerilmektedir [85]. Bu yüzden tasarlanan sistemlerde hem kazan beslemesinin aynı kalabilmesi hem de istenilen ön kurutma değerine ulaşabilmek için birbiri ile paralel çalışan aynı tip kurutuculardan oluşan kurutma sistemleri tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemlerde, baca gazındaki atık ısı kullanılmıştır. Kazandan çıkan yanma gazları tasarımı yapılan ısı değiştiriciye gönderilirken, kurutucuda kullanılacak temiz havanın ısıtılması sağlanmıştır. Daha sonra paralel şekilde çalışan kurutma sistemlerine giren nemli kömür, ön kurutma işlemine tabi tutularak yanma işlemi için kazana besleme bunkerine gönderilmiştir. Çalışmada tasarlanan farklı kurutma sistemlerinin santralin net verimine etkisi incelenmiş ve ekonomik analizleri yapılmıştır.

Yapılan analizler göstermektedir ki, ön kurutma derecesi ne kadar artırılsa kömür numunelerinin alt ısı değeri de paralel bir şekilde artmaktadır. 0,14 ön kurutma derecesi için, Afşin-Elbistan linyitinin başlangıç nem içeriği %50,46'dan %42,39'a düşürüldüğünde, alt ısı değeri 988 kCal/kg'dan 1245 kCal/kg'a yükselmektedir. Benzer şekilde, Yatağan linyitinin başlangıç nemi %38,39'dan %28,37'ye düşürülürken, alt ısı değeri 1765 kCal / kg'dan 2145 kCal/kg'a yükselmektedir.

Ayrıca baca gazının atık ısının kullanılması, kömürdeki nem içeriğinin azaltılması gibi etkenler yanma verimini artırarak kazan veriminde iyileşme sağlamaktadır. Ön kurutma derecesi 0,14 olduğunda kazan verimi Afşin-Elbistan linyiti için %86,04'e yükselirken, Yatağan linyiti için %83,22'ye yükselmektedir.

Kömürün alt ısı değerindeki artış, yanma ve kazan verimindeki artışla beraber santral veriminin artırılmasını sağlamaktadır. Afşin Elbistan linyiti için ön kurutma derecesi 0,14 olduğunda akışkan yataklı kurutma sistemi santral verimini %40,7'den %45,1'e çıkarmaktadır. Bu da santral veriminde %10,81'lik bir artış sağlamaktadır. Aynı ön kurutma derecesi için pnömatik kurutuculardan oluşan sistem santral verimini %44,9'a yükseltirken, döner kurutuculardan oluşan sistem verimi %44,5'e yükseltmektedir. Yatağan linyitinin ön kurutma derecesi 0,14 olduğunda ise akışkan yataklı sistemde santral verimi %44,8'e, pnömatik kurutuculardan oluşan sistemde %44,7'ye ve döner kurutuculardan oluşan sistemde %44,4'e yükselmektedir.

Önerilen sistemlerin ekonomik analizleri incelendiğinde ise ön kurutma yapılan termik santrallerin, ön kurutma yapılmayanlara göre çok daha ekonomik olduğu görülmektedir. Afşin-Elbistan linyiti için 0,14 ön kurutma derecesinde akışkan yataklı kurutucuda yıllık 29,84 milyon TL ekstra gelir elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca benzer bir şekilde pnömatik kurutucu için yıllık ekstra 28,56 milyon TL, döner kurutuculardan oluşan sistemle beraber yıllık 26,01 milyon TL ekstra gelir sağlanabileceği sonucu elde edilmiştir. Döner kurutuculardan oluşan sistemin ön kurutma derecesi 0,02 olduğunda yatırım maliyeti ve bakım giderlerinin amorti edemediği görülmektedir. Ancak ön kurutma derecesi 0,14 olduğunda ise sistemin kendini 4 yılda amorti etmektedir. Akışkan yataklı kurutuculardan ve pnömatik kurutuculardan oluşan sistemler ise artan ön kurutma derecesi ile beraber amortisman süreleri azalmaktadır. 0,14 ön kurutma derecesi için akışkan yataklı sistemin amortisman süresi 1,72 yıl iken pnömatik kurutuculardan oluşan sistemin süresi 2,01 yıldır. Benzer bir şekilde Yatağan linyiti için ön kurutma derecesi 0,14 olduğunda akışkan yataklı sistem yıllık 42,65 milyon TL, pnömatik sistem 41,32 milyon TL, döner kurutuculu sistem 38,65 milyon TL ekstra gelir sağlamaktadır. Sistemlerin amortisman süreleri incelendiğinde, ön kurutma derecesi 0,14 olduğunda sırasıyla akışkan yataklı ön kurutma sisteminin amortisman süresi 1,11 yıl, pnömatik kurutuculu ön kurutma sistemininki 1,26 yıl ve döner kurutuculardan oluşan sisteminki ise 2,19 yıldır.

Kömürün kurutulması ile ilgili olarak literatürde çok fazla çalışma bulunmaması, yapılan çalışmaların termik santral üzerine etkilerinin incelenmemesi, ayrıca kurutucu tasarımlarının nasıl yapılacağı ve kurutucu parametrelerinin kurutma kinematiğine etkilerinin incelendiği çalışmaların bulunmaması, yapılan çalışmalarda kurutucuların özelliklerinin tam olarak belirtilmemesi gibi nedenlerden ötürü elde edilen sonuçlar tam

anlamıyla literatür verileriyle karşılaştırılamamıştır. Karşılaştırma yapılan literatür sonuçlarıyla yapılan çalışmadaki sonuçlar karşılaştırıldığında ise arada farkların bulunmasının bazı nedenleri bulunmaktadır. Bunun nedenleri arasında tek bir küçük kapasiteli kurutucu yerine paralel şekilde çalışan küçük kapasiteli birçok kurutucunun bulunması, bu sayede de kazan beslemesinin azalmaması gibi etkenler olduğu söylenebilmektedir. Ayrıca yapılan çalışmaların tamamında ön kurutmadan dolayı kazan besleme debisi azaldığı için santral verimindeki artış da göreceli olarak daha düşük olduğu görülmektedir.

Tasarlanan sistemler kendi içerisinde karşılaştırıldığında her kurutma sisteminin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Akışkan yataklı kurutucuların iyi karıştırma sayesinde yoğun ve hızlı kurutma gibi özellikleri birer avantajken, yüksek basınç düşüşü ve çabuk yıpranma gibi özellikleri dezavantajdır. Pnömatik kurutma sistemlerinin avantajının başında ise basit yapısı gelmektedir. Kurutma tüpünün uzun olması ve buna bağlı olarak çabuk yıpranması da dezavantajdır. Döner kurutucuların en büyük avantajı, parçalanma ile birlikte kurutmayken yüksek bakım maliyetleri ve sık arıza vermesi dezavantajdır. Ayrıca sistemlerin ekonomik açıdan maliyetleri incelendiğinde ise akışkan yataklı kurutucuların daha sağlam olması gerekliliği nedeniyle ilk yatırım maliyetleri kurutucu başına pnömatik ve döner kurutuculardan fazladır. Pnömatik kurutucular ise uzun kurutma tüpü mesafelerinden dolayı döner kurutucuların maliyetlerine göre daha az ekonomiktir. Döner kurutucuların kurutucu başına maliyetleri en düşük kurutucu olmasına rağmen, kurutma veriminin düşük olması bir diğer dezavantajdır.

Yapılan çalışma neticesinde aşağıdaki sonuçlar çıkarılmaktadır:

- Kömürün yüksek nem içeriği kömürle çalışan termik santralin verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden kömürden ne kadar çok nem alınırsa, kömürün alt ısı değerinde ve kazanın veriminde artış gözlenir. Sonuç olarak da santral net veriminde %3,19-4,4 oranında artış gözlenecektir.
- Kömürün nem içeriğinin ve baca gazı çıkış sıcaklığının düşürülmesinin bir sonucu olarak kazan verimliliğinde iyileşme gözlenir. Ön kurutma işleminde kömürün başlangıç nem içeriği ne kadar fazla olursa, kazan verimliliğindeki artış da o kadar fazla olur. Ön kurutma derecesi 0,14'te, tasarlanan sistemler sonucunda Afşin-Elbistan

linyitinin kurutulmasında kazan verimindeki artış Yatağan linyitinin kurutulmasından %2,82 daha fazladır.

- Kömür ön kurutma derecesi ile enerji verimliliği artışı incelendiğinde, daha yüksek başlangıç nem içeriğine sahip kömürün kurutulmasının santral verimine etkisi daha fazladır.
- Küçük kapasiteli kurutucuların kullanılması ile oluşturulan sistemlerin santral verimine etkisi, büyük kapasiteli tek kurutucu sistemlerden daha fazladır.
- Ekonomik değerlendirmenin bir sonucu olarak, ön-kurutma sistemine sahip termik santral, ön kurutma sistemi olmayan santralden çok daha fazla ekonomik performansa sahiptir. Ayrıca, ön kurutma derecesi arttığında, sistemin ekonomik verimliliği de artar.
- Artan ön kurutma derecesi sonucunda sistemlerin amortisman süreleri kısalmaktadır. Amortisman sürelerinden sonraki sistem ömürleri boyunca tasarlanan sistemler ekonomik fayda sağlayacaklardır.
- Enerji tüketimi olarak verimli, uygun maliyetli ve güvenli bir kurutma işlemi, santral verimliliğinin artmasını ve daha yüksek geri dönüşler sağlamaktadır.
- Ön kurutma işlemi, baca gazındaki su buharı miktarıyla birlikte baca gazı miktarının da azalmasını sağlar, böylece sistem arızalarını önler ve sistem bakım maliyetlerini azaltır.
- Birim enerji maliyetleri ve enerjide yabancı kaynak bağımlılığı düşünüldüğünde, tasarlanan sistemi uygulamaya koymak önem arz etmektedir.
- Yapılan çalışma, atık ısı kullanımıyla kömürün kurutulması ile ilgili benzer çalışmalar için bir rehber olacağı ve literatürdeki boşluğun doldurulması için bir başlangıç olacağı düşünülmektedir.

Yapılan tez çalışması neticesinde aşağıdakiler önerilmektedir:

- Yapılan deneyler neticesinde kömürlerin, küçük parçalara ayrıldığında (1-2 mm) tutuştuğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu yüzden kurutmanın daha büyük parçacıklar üzerinde yapılmasının tutuşma riskini azaltabileceği düşünülmektedir.
- Yapılan deneylerde küçük kömür parçacıklarının 110 °C’de tutuştuğu tespit edilmiştir. Kurutma işlemlerinin 110 °C sıcaklığın altında yapılması önerilmektedir.

- Yapılan çalışma neticesinde getireceği ekonomik faydalar göz önünde bulundurulduğunda kömüre, kazan beslemesinden önce ön-kurutma yapılması önem arz etmektedir.
- Nem muhtevasının yüksek olması nedeniyle yumuşak kömür sınıfında yer alan linyitlerin büyük miktarlarda ön kurutma yapılabilmesi için önerilen sistemler arasından akışkan yataklı kurutuculardan oluşan sistemin kullanılması önerilmektedir.
- Önerilen diğer sistemlerdeki kurutucuların daha fazla bakım gerektirmesi, yatırım maliyetlerini yüksek olması ve akışkan yataklı kurutucular kadar hızlı kurutma yapamamaları gibi nedenlerden dolayı büyük kapasiteli kurutmalar için pnömatik ve döner kurutucular önerilmemektedir.
- Kömürün nem içeriği ne kadar fazla azalırsa, termik santraldeki yanma ve kazan verimindeki artışa bağlı olarak santral verimi artacaktır. Bu yüzden daha fazla kömürün ön-kurutulması için atık ısı kaynaklarına ek olarak yenilebilir enerji kaynaklarından faydalanılması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Ademiluyi, F. T., Abowei, M. F. N., Puyate, Y. T., and Achinewhu, S. C. (2010). Effects of Drying Parameters on Heat Transfer during Drying of Fermented Ground Cassava in a Rotary Dryer. *Drying Technology*, 28(4), 550–561.
2. Agarwal, P.K., Mitchell, W.J. and La Nauze, R.D. (1988). Transport phenomena in multiparticle systems - III. Active particle mass transfer in fluidized beds of inert particles. *Chemical Engineering Science*, 43(9), 2511-2521.
3. Aktaş, M., Khanlari, A., Amini, A. and Şevik, S. (2017). Performance analysis of heat pump and infrared–heat pump drying of grated carrot using energy-exergy methodology. *Energy Conversion and Management*, 132, 327–338.
4. Amirabedin, E. (2011). *Düşük Kaliteli Yerli Linyitlerle Çalıştırılan Bir Termik Santralin Tasarımı ve Enerji-Çevresel Performansının İyileştirilmesine Yönelik Ekserji Analizleri ve İrdelemeler*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7.
5. ASTM International. (2004). 4239: Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion Methods, ASTM, USA, 1-7.
6. ASTM International. (2012). 3174: Standard Test Methods for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal, ASTM, USA, 1-4.
7. ASTM International. (2013). 3172: Proximate Analysis of Coal and Coke, ASTM, USA, 1-2.
8. ASTM International. (2013). 5865: Standard Test Methods for Gross Calorific Value Analysis of Coal and Coke, ASTM, USA, 1-19.
9. ASTM International. (2016). 5373: Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke, ASTM, USA, 1-10.
10. ASTM International. (2017). 3173: Standard Test Methods for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke, ASTM, USA, 1-3.
11. ASTM International. (2017). 3302: Standard Test Method for Total Moisture in Coal, ASTM, USA, 1-10.
12. ASTM International. (2018). 3175: Standard Test Methods for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke, ASTM, USA, 1-18.
13. Atsonios, K., Violidakis, I., Agraniotis, M., Grammelis, P., Nikolopoulos, N. and Kakaras, E. (2015). Thermodynamic analysis and comparison of retrofitting pre-drying concepts at existing lignite power plants. *Applied Thermal Engineering*, 74, 165-173.

14. Banooni, S., Hajidavalloo, E., and Dorfeshan, M. (2018). Experimental and numerical study of the effects of pre-drying of S-PVC using a pneumatic dryer. *Powder Technology*, 338, 220–232.
15. Bizzy, I., Sipahutar, R., Ibrahim, E. and Faizal, M. (2019). Experimental Study of Low-rank Coal from South Sumatra used in Humidifier and Flash Dryer. *Journal of Physics: Conference Series*, 1167, 012003.
16. British Petroleum (2019). Statistical Review of World Energy 2018.
17. Bustamante, C. A., Hill, A. F., Rodríguez, D. F., Giraldo, M. and Flórez, W. F. (2014). Modeling and Simulation of a Co-Current Rotary Dryer Under Steady Conditions. *Drying Technology*, 32(4), 469–475.
18. Celen, P. (2019). *Düşük Kaliteli Tek Kömür Tanesinin Buhar ve Hava ile Kurutulmasının Deneysel İncelenmesi ve Modellenmesi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-123.
19. Çengel Y. A. and Tanyıldızı, V. (2011). *Isı ve Kütle Transferi: Pratik Bir Yaklaşım*. İzmir: Güven Kitabevi.
20. Dinçol, Ş. (2016). *Soma Termik Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 30-40.
21. Ege, A. (2012). *Afşin-Elbistan B Kömür Santralinin Ekserji ve Termoekonomik Analizi ve Optimizasyonu*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 46-55.
22. İnternet: EİGM. (2019). *EİGM Denge Tabloları*, 2018 Yılı Sonu Denge Tablosu. URL: <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları>, Son Erişim Tarihi: 26.02.2020.
23. Elektrik Üretim A.Ş. (2011). *Afşin Elbistan B Termik Santrali Tanıtım Kataloğu*, EÜAŞ, Ankara, 1-25.
24. Elektrik Üretim Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü (2019). *Lisans Sahibi Sadece Yerli Kömür Yakıtlı Elektrik Üretim Santrallerini İşleten Özel Şirketlerden Elektrik Enerjisi Satın Alımı*, Ankara.
25. İnternet: Enerji Atlası (2017). URL: <https://www.enerjiatlası.com/komur/afsin-elbistan-b-termik-santrali.html>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2020.
26. European Co-operation for Accreditation (1999). EA 04-2 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, 7-22.
27. Gwak, I. S., Gwak, Y. R., Kim, Y. B. and Lee, S. H. (2018). Drying characteristics of low rank coals in a pressurized flash drying system. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 57, 154–159.
28. Harimi, M., Sapuan, S., Ahmad, M. and Abas, F. (2008). Numerical study of heat loss from boiler using different ratios of fibre-to-shell from palm oil wastes. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 67, 440-444.

29. Hosseinabadi, H. Z., Layeghi, M., Doosthosseini, K., Berthold, D. and Shahhosseini, S. (2014). Simulation of Wood Particle Motion Through a Concurrent Triple-Pass Rotary Dryer. *Drying Technology*, 32(12), 1409–1422.
30. Hu, S., Man, C., Gao, X., Zhang, J., Xu, X. and Che, D. (2013). Energy Analysis of Low-Rank Coal Pre-Drying Power Generation Systems. *Drying Technology*, 31(11), 1194–1205.
31. İnternet: Ifu Hamburg. (2020). Manual of e-Sankey, Hamburg, Germany. URL: <https://www.ifu.com/en/e-sankey> , Son Erişim Tarihi: 16.02.2020.
32. Jangam, S. V., Karthikeyan, M. and Mujumdar, A. S. (2011). A Critical Assessment of Industrial Coal Drying Technologies: Role of Energy, Emissions, Risk and Sustainability. *Drying Technology*, 29(4), 395–407.
33. Kakaç S., Liu, H. and Pramuanjaroenkij, A. (2012). *Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design*. Boca Raton: CRC Press.
34. Karthikeyan, M., Zhonghua, W. and Mujumdar, A. S. (2009). Low-Rank Coal Drying Technologies-Current Status and New Developments. *Drying Technology*, 27(3), 403-415.
35. Kızıl, H. (2011). *Akışkan Yatakta Kömür Kurutulmasının Deneysel Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 17-65.
36. Korn, O. (2001). Cyclone Dryer: A Pneumatic Dryer With Increased Solid Residence Time. *Drying Technology*, 19(8), 1925-1937.
37. Kurtuluş, O. (2007). *Akışkan Yatakta Kurutma Prosesinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 31.
38. Liu, M., Qin, Y., Yan, H., Han, X. and Chong, D. (2015). Energy and water conservation at lignite-fired power plants using drying and water recovery technologies. *Energy Conversion and Management*, 105, 118-126.
39. Liu, M., Wang, S., Liu, R. and Yan, J. (2019). Energy, Exergy and Economic Analyses on Heat Pump Drying of Lignite. *Drying Technology*, 37(13), 1688-1703.
40. Liu, M., Wu, D., Xiao, F. and Yan, J. (2015). A novel lignite-fired power plant integrated with a vacuum dryer: System design and thermodynamic analysis. *Energy*, 82, 968-975.
41. Liu, M., Yan, J., Bai, B., Chong, D., Guo, X. and Xiao, F. (2011). Theoretical Study and Case Analysis for a Predried Lignite-Fired Power System. *Drying Technology*, 29(10), 1219-1229.
42. Liu, M., Yan, J., Chong, D., Liu, J. and Wang, J. (2013). Thermodynamic analysis of pre-drying methods for pre-dried lignite-fired power plant. *Energy*, 49, 107-118.
43. Lucarelli, B. (2008). Benefits of drying Indonesian low rank coals. *Cleaner Coal Workshop*, Ha Long City, Vietnam.

44. Moon, S.H., Ryu, I.S., Lee, S.J. and Ohm, T.I. (2014). Optimization of drying of low-grade coal with high moisture content using a disc dryer. *Fuel Processing Technology*, 124, 267-274.
45. MTA (2010). Türkiye Linyit Envanteri, MTA, Ankara, 1-371.
46. MTA (2019). 2018 Yılı Sektör Raporu, MTA, Ankara, 44-223.
47. Mujumdar, A. S. (2015). *Handbook of industrial drying*. Boca Raton (Fla.): CRC Press.
48. Özdemir, M.B. and Yatarkalkmaz, M.M. (2015). Energy, Exergy and Economic Analysis of Different Types of Collectors. *Gazi Journal of Engineering Sciences*, 1(2), 235-251.
49. Pelegrina, A. and Crapiste, G. (2001). Modelling the pneumatic drying of food particles. *Journal of Food Engineering*, 48(4), 301-310.
50. Perry, R.H., Green, D.W. and Maloney, J.O. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 7th ed., McGraw-Hill, New York, 12-64.
51. Precoppe, M., Tran, T., Chapuis, A., Müller, J. and Abass, A. (2016). Improved energy performance of small-scale pneumatic dryers used for processing cassava in Africa. *Biosystems Engineering*, 151, 510-519.
52. Renaud, M., Thibault, J. and Alvarez, P. I. (2001). Influence Of Solids Moisture Content On The Average Residence Time In A Rotary Dryer. *Drying Technology*, 19(9), 2131–2150.
53. Ross, D., Doguparthy, S., Huynh, D. and McIntosh, M. (2005). Pressurised flash drying of Yallourn lignite. *Fuel*, 84(1), 47–52.
54. Sai, P. S. T. (2013). Drying of Solids in a Rotary Dryer. *Drying Technology*, 31(2), 213-223.
55. Sevin, L. (2014). *Bir Termik Santralin Enerji Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-19.
56. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2016). Mavi Kitap-Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı, İlgili ve İlişkili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, ETKB, Ankara, 12-71.
57. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2019). Kömür Nedir? URL: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur>, Son Erişim Tarihi: 25.02.2020.
58. Terhan, M. (2015). *Doğalgaz Yakıtlı Bir Kazanda Baca Gazından Enerji Geri Kazanımı ve Yoğuşma Olayının Enerji, Ekserji ve Ekonomik Yönden İncelenmesi*, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 24.
59. Thibault, J., Alvarez, P. I., Blasco, R. and Vega, R. (2010). Modeling the Mean Residence Time in a Rotary Dryer for Various Types of Solids. *Drying Technology*, 28(10), 1136–1141.

60. TMMOB Makine Mühendisleri Odası. (2017). Türkiye’de Termik Santraller 2017, *MMO*, Ankara, 11-40.
61. TUBITAK. (2013). Metrology, *UME*, İstanbul, 84-96.
62. Türk Standardları Enstitüsü. (1986). TS 4744: Kahverengi Kömürler ve Linyitler – Numune Alma Prensipleri – Rutubet Tayini ve Genel Analizler için Numune Hazırlama, *TSE*, Ankara, 3-10.
63. Türk Standardları Enstitüsü. (1999). TS 5788: Linyit–Isıtmada Kullanılan, *TSE*, Ankara, 1-8.
64. Türk Standardları Enstitüsü. (2008). TS EN 11760: Kömürler–Sınıflandırma, *TSE*, Ankara, 1-13.
65. Türk Standardları Enstitüsü. (2016). TS ISO 579: Kömür–Toplam Nem Tayini, *TSE*, Ankara, 7-9.
66. Türk Standardları Enstitüsü. (2017). TS EN 304: Kazanlar-Sıvı yakıt püskürtme brülörlü deney kuralları, *TSE*, Ankara, 1-52.
67. Türk Standardları Enstitüsü. (2018). Ölçüm Belirsizliğinin Hesaplanması, *TSE*, Ankara, 2-17.
68. İnternet: Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (2019). Türkiye Elektrik Sistemi Kuruluş ve Kaynaklara Göre Kurulu Güç URL: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>, Son Erişim Tarihi: 22.02.2020.
69. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu. (2017). Kömür Sektör Raporu (Linyit) 2016, *TKİ*, Ankara, 5-39.
70. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu. (2019). 2018 Kömür (Linyit) Sektör Raporu, *TKİ*, Ankara, 14-104.
71. İnternet: Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu. (2020). *Kömürle İlgili Terimler*. URL: http://www.tki.gov.tr/Dosyalar/Dosya/Komur_Terimleri.pdf, Son Erişim Tarihi: 29.02.2020.
72. Türkiye Taş Kömürü Kurumu. (2019). 2018 Yılı Taşkömürü Sektör Raporu, *TTK*, Ankara, 1-47.
73. Uluslararası Enerji Ajansı. (2019). World Energy Outlook 2018.
74. Van’t Land, C. M. (2012). *Drying in the process industry*. Hoboken, NJ: J. Wiley and Sons.
75. Xu, C., Bai, P., Xin, T., Hu, Y., Xu, G. and Yang, Y. (2017). A novel solar energy integrated low-rank coal fired power generation using coal pre-drying and an absorption heat pump. *Applied Energy*. 200, 170-179.

76. Xu, C., Li, X., Xu, G., Xin, T., Yang, Y., Liu, W. and Wang, M. (2018). Energy, exergy and economic analyses of a novel solar-lignite hybrid power generation process using lignite pre-drying. *Energy Conversion and Management*, 170, 19-33.
77. Xu, C., Xin, T., Xu, G., Li, X., Liu, W. and Yang, Y. (2017). Thermodynamic analysis of a novel solar-hybrid system for low-rank coal upgrading and power generation. *Energy*, 141, 1737-1749.
78. Xu, C., Xu, G., Yang, Y., Zhao, S., Zhang, K. and Zhang, D. (2015). An improved configuration of low-temperature pre-drying using waste heat integrated in an air-cooled lignite fired power plant. *Applied Thermal Engineering*, 90, 312–321.
79. Xu, C., Xu, G., Zhao, S., Dong, W., Zhou, L. and Yang, Y. (2016). A theoretical investigation of energy efficiency improvement by coal pre-drying in coal fired power plants. *Energy Conversion and Management*. 122, 580-588.
80. Xu, C., Xu, G., Zhu, M., Dong, W., Zhang, Y., Yang, Y. and Zhang, D. (2016). Thermodynamic analysis and economic evaluation of a 1000 MW bituminous coal fired power plant incorporating low-temperature pre-drying (LTPD). *Applied Thermal Engineering*, 96, 613–622.
81. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Coşkun, S. ve Yamankaradeniz, N. (2012). *İklimlendirme esasları ve uygulamaları*. Bursa: Dora Yayın Dağıtım.
82. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2017). Endüstriyel Sistemlerde Optimizasyon; Fan Sistemleri, *YEGM*, Ankara.
83. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2017). Endüstriyel Sistemlerde Optimizasyon; Pompa Sistemleri, *YEGM*, Ankara.
84. Yoğurtçu, H. (2016). Investigation of Drying Characteristics of Parboiled Wheat Kernel in a Halogen Lamp Dryer and Its Modelling. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 2(1), 34-39.
85. Zhang, K. and You, C. (2010). Experimental and Numerical Investigation of Convective Drying of Single Coarse Lignite Particles. *Energy and Fuels*, 24(12), 6428–6436.

EKLER

EK-1. Türkiye linyit rezervi

Çizelge E1.1. Türkiye linyit rezervi (2009 itibariyle)

Saha Adı	Türkiye Linyit Envanteri								HUKUKİ DURUM
	(1000 Ton)				Analizler				
	Görünür Rezerv	Muhtemel Rezerv	Mümkün Rezerv	Toplam Rezerv	Nem	Kül	Kükürt	AID	
					%	%	%	Kcal/kg	
Adana-Tufanbeyli-Pınarlar	323329		-	323329	41	28	2,1	1298	TKİ
Adana-Tufanbeyli-Yamanlar	101220	-	-	101220	40,53	26,87	-	1940	Ö
Adıyaman- Gölbaşı	51325	-	-	51325	49,72	21,34	1,16	1385	Ö
Afyon- Dumlupınar	2806	-	-	2806	38,66	14,79	3,39	2820	Ö
Amasya-Merzifon-Yeniçeltek	2736	17055	-	19791	10,25	40,52	1,25	3500	Ö
Amasya- Suluova-Armutlu	-	769	-	769	9,96	32,83	-	3587	Ö
Amasya- Suluova-Oğulbaşı	-	3483	-	3483	14,53	10,31	1,81	5574	Ö
Ankara-Beypazarı (A) Sektörü	139021	-	-	139021	21,71	34,35	4,04	2557	EÜAŞ
Ankara-Beypazarı Alt Damar	63479	-	-	63479	14,83	48,7	3,39	1988	EÜAŞ
Ankara-Beypazarı (B) Sektörü	142000	-	-	142000	26,44	25,36	2,79	2839	EÜAŞ
Ankara-Şereflikoçhisar	1037	-	-	1037	10	36,11	5,2	3000	Ö
Ankara-Gölbaşı-Bahçeköy	19542	-	11290	30832	35,36	28,69	1,46	2004	Ö
Ankara-Gölbaşı-Karagedik	17975	-	-	17975	36,83	22,63	1,64	2232	Ö
Afyon-Dinar-Kazanpınar	23383	5829	-	29212	41,06	23,34	1,19	1470	MTA
Aydın-Nazilli-Gireniz	-	812	-	812	15,25	20,16	2,75	4020	Ö
Aydın-Şahinali	2065	-	-	2065	20,46	27,24	0,98	3120	Ö
Aydın-Söke	1455	1000	-	2455	16	22	3,16	3800	Ö
Aydın-Dalama-Kuloğulları	-	2939	-	2939	20	8	2	3260	TKİ
Balıkesir-Dursunbey-Çakırca	34684	-	-	34684	16,7	39,8	1,67	2700	Ö
Balıkesir-Balya-Mancılık	1024	4569	-	5593	5	45,65	-	3500	TKİ
Bingöl-Karlıova-Halifan	88662	-	-	88662	47	24	0,6	1460	TKİ
Bingöl-Karlıova-Karabalçık	-	15000	-	15000	-	-	-	1200	TKİ
Bolu-Mengen-Salıpazarı	23589	39736	14690	78015	10,09	20,98	9	4755	Ö
Bolu-Merkeşler	9051	12236	-	21287	9	28	6,91	4100	Ö
Bolu-Göynük-Himmetoğlu	37247	1000	-	38247	23	31	1,8	2340	TKİ
Burdur-Tefenni-Başpınar	-	5000	10000	15000	53	10,73	2,5	1754	Ö
Bursa-Keles-Harmaanalın	26954	-	-	26954	34	26	1,5	1900	TKİ
Bursa-Keles-Davutlar	17557	19945	1560	39062	31	26	4,2	2100	TKİ

EK-1. (devam) Türkiye linyit rezervi

Çizelge E1.1. (devam) Türkiye linyit rezervi (2009 itibariyle)

Bursa-M.Kemalpaşa-Devecikonağı	-	7609	7806	15415	11,64	27,05	3,71	3840	Ö
Bursa-Orhaneli-G.Pınar-Çiyili	33096	-	-	33096	24	24	2	2500	TKİ
Bursa-Orhaneli-Merkez	1500	-	-	1500	27	24		2686	TKİ
Bursa-Orhaneli-Harmancık	289	-	-	289	37	11	1	3190	TKİ
Çanakkale-Çan--Çavuşköy	82924	-	-	82924	23	25	4,2	3000	TKİ
Çanakkale-Yenice-Örencik	2825	-	-	2825	26	16	4	3678	Ö
Çanakkale-Karlıköy	-	5596	-	5596	28,4	21,3	4,85	2960	Ö
Çanakkale-Yenice-Çırpılar	39200	-	-	39200	21,61	52,62	1,09	1278	Ö
Çankırı-Orta	123165	-	-	123165	48,47	28,59	0,71	868	Ö
Çorum-Alpagut-Dodurga	12647	2465	-	15112	23	23	1,6	3150	TKİ
Çorum-Osmancık-Ayva	6575	7430	-	14005	23	46	1,4	1470	TKİ
Çorum-Narlı	-	-	2500	2500	31,3	42,55	0,76	976	Ö
Çorum-Osmancık-Evlik	2565	-	-	2565	32,14	28	-	1750	Ö
Denizli-Çivril-Tokça	502	-	-	502	20,42	43,11	4,54	1878	Ö
Denizli-Kale-Kurbalık	-	-	8184	8184	25,57	31,6	-	2280	Ö
Edirne-Merkez-Demirhanlı	10300	-	-	10300	40	34	2,6	3000	Ö
Edirne-Meriç-Küçükdoğanlı	-	-	5755	5755	38	20	2	2500	Ö
Edirne-Meriç-Karayusuflu	-	-	1000	1000	32,63	30,45	-	2005	Ö
Edirne-Uzunköprü-Harmanlı	-	-	13556	13556	19,2	23,29	0,71	3500	Ö
Erzincan-Rehahiye-Alakilise	750	250	2450	3450	31,61	26,97	1,33	2200	Ö
Erzincan-Kemaliye-Başpınar	405	258	392	1055	17,07	35,73	4,07	2754	Ö
Erzincan-Deliktaş-Çilhoroz	-	-	1980	1980	14,97	24,35	-	3856	Ö
Erzurum-Horasan-Aliçeyrek	59000	-	-	59000	34,53	34,12	1,3	1484	Ö
Erzurum-Aşkale-Kükürtlü	753	2499	-	3252	5,66	36,44	3,74	4500	Ö
Erzurum-Oltu-Balkaya	1277	2094	-	3371	11,76	40,89	1,94	2500	Ö
Erzurum-Hınıs-Zırnak	-	-	33000	33000	28,59	30,39	1,6	2304	Ö
Erzurum-İspir-Karahan	3717	1558	-	5275	35	19	0,2	2570	Ö
Erzurum-Pasinler-Pekçik	-	4145	-	4145	21	45	0,5	971	Ö
Erzurum-Oltu-Sütkans	1086	722	2620	4428	8	44	1,1	3100	Ö
Eskişehir-Mihalıççık-Koyunağılı	57430	-	-	57430	25,73	30,9	2,51	2539	Ö
Eskişehir-Alpu-Çavlım	-	275000	-	275000	34	32		2050	MTA
İçel-Namrun	4747	-	-	4747	19,67	35,74	3,29	2832	Ö

EK-1. (devam) Türkiye linyit rezervi

Çizelge E1.1. (devam) Türkiye linyit rezervi (2009 itibariyle)

Isparta-Yalvaç-Yarıkkaya	-	4500	3600	8100	25	22,61	2,41	2800	Ö
Isparta-Eğridir-Akbelenli	-	278	-	278	21,23	42,14	-	1600	Ö
İstanbul-Şile-Kirazlı-Yatak-Üvezli	1123	11150	-	12273	25,55	22,65	-	2915	Ö
İstanbul-Silivri-Sinekli	114215	69464	-	183679	27,5	36,57	2,02	1908	Ö
Kırklareli-Vize-Topçuköy	-	34206	-	34206	32,5	22,5	1,5	2300	Ö
Konya-Beyşehir-Karadiken	81011	-	-	81011	48	25	1,1	1150	TKİ
Konya-İlgın-Çavuşlu	11164	974	-	12138	25	25	5,4	2250	TKİ
Konya-İlgın-Kurugöl	9142	-	-	9142	50	11	1,1	2180	TKİ
Konya-Karapınar	635350	644650	-	1280000	47,1	20,25	1,54	1344	MTA
Konya-Beyşehir-Avdancık	52000	80000	-	132000	45,57	25	1,1	1155	Ö
Konya-Seydişehir-Akçalar	59000	10000	-	69000	48,88	27	1,66	1430	Ö
Konya-Beyşehir-Eğlikler	-	-	140000	140000	36,98	26,83	-	700	Ö
Konya-İlgın-Haramiköy	12269	763	-	13032	50,31	11,38	-	2239	Ö
Karaman-Ermenek-Tepebaşı	2010	3908	-	5918	22,9	15,3	4,42	4063	Ö
Kütahya-Gediz-Sazköy	145	12300	11500	23945	4,41	25,54	6,51	5200	Ö
Kütahya-Seyitömer-İshakçılar	152509	-	-	152509	32	43	1,2	2080	TKİ
Kütahya-Tavşanlı-Tunçbilek	283017	-	-	283017	15	41	1,6	2560	TKİ
Manisa-Soma-Eynez	380603	39000	-	419603	13	33	1,3	3150	TKİ
Manisa-Soma-Merkez	10927	1300	-	12227	15	28	0,7	2070	TKİ
Manisa-Soma-Darkale	9530	3100	-	12630	18	45	0,7	2310	TKİ
Manisa-Soma	1330	495	-	1825	-	-	-	-	TKİ
Manisa-Soma-Işıklardere	39913	-	-	39913	15	36	1,2	2940	TKİ
Manisa-Soma-Deniş-Evciler	165785	11000	-	176785	18	40	1,2	2080	TKİ
Manisa-Soma-Deliimamlar	-	3100	-	3100	-	-	-	-	TKİ
Manisa-Gördes-Çitak	-	5000	-	5000	30,9	17,43	5,8	3600	Ö
Kahramanmaraş (Afşin-Elbistan)	4430228	-	-	4430228	52	19	2	1143	EÜAŞ
Kahramanmaraş Elbistan	515055	-	-	515055	48,07	24,08	0,92	1063	MTA
Muğla-Milas-Ekizköy	85546	-	-	85546	29	25	3,2	2196	TKİ
Muğla-Milas-Sekköy	21776	-	-	21776	31	27	3,3	1642	TKİ
Muğla-Milas-Hüssamlar	60907	-	-	60907	32	29	2,2	1775	TKİ
Muğla-Milas-Belen	10795	-	-	10795	30	31	1,3	1863	TKİ
Muğla-Milas-Karacahisar	85770	-	-	85770	30	22	4,5	2229	TKİ

EK-1. (devam) Türkiye linyit rezervi

Çizelge E1.1. (devam) Türkiye linyit rezervi (2009 itibariyle)

Muğla-Milas-Alatepe	13050	-	-	13050	27	25	4,3	4200	TKİ
Muğla-Yatağan-Eskihisar	37417	-	-	37417	34	22	3	2185	TKİ
Muğla-Yatağan-Turgut-Zeytinköy	4860	-	-	4860	29	28	3,1	2356	Ö
Muğla-Yatağan-Turgut	41240	60000	-	101240	30,01	24,09	-	2583	Ö
Muğla-Yatağan-Turgut	23900	-	-	23900	28	22	-	2632	TKİ
Muğla-Yatağan-Bayır	23788	-	-	23788	26	24	2,8	2670	TKİ
Muğla-Yatağan-Bayır	85275	-	-	85275	25,58	24,33	2,72	2671	Ö
Muğla-Yatağan-Tınaz	25163	-	-	25163	33	27	2,3	2168	TKİ
Muğla-Yatağan-Taşkesik	37995	-	-	37995	30	24	-	2660	TKİ
Muğla-Yatağan-Bağkaya	2601	-	-	2601	42	22	1,3	1903	TKİ
Muğla-Yatağan-Yeşilbağcılar	4927	-	-	4927	39	19	-	2168	TKİ
Muş-Ziyaretköy	6204	-	-	6204	42,24	29,69	2,51	1231	Ö
Samsun-Havza	-	4121	-	4121	41,2	32,8	1,01	1244	Ö
Sivas-Kangal-Kalburçayırı	83000	-	-	83000	50	21	2,02	1300	EÜAŞ
Tekirdağ-Saray-Edirköy	8531	5800	-	14331	41,06	19,11	2,07	2120	TKİ
Tekirdağ-Saray-K.Yoncalı	-	64770	-	64770	42,4	16,56	1,7	2194	TKİ
Tekirdağ-Saray-Safaalan	15050	35000	-	50050	42,06	20,3	1,12	1699	TKİ
Tekirdağ-Malkara-Ahmetpaşa	-	3108	-	3108	22,13	37,38	1,56	2266	Ö
Tekirdağ-Malkara-Karamurat	-	-	14400	14400	33,28	27,33	1,41	2359	Ö
Tekirdağ-Malkara-İblice	-	8487	-	8487	28,28	31,14	1,57	2277	Ö
Tekirdağ-Çerkezköy	389043	102706	2964	494713	32,46	28,9	1,9	2075	MTA
Van-Erciş-Zilan	1271	-	-	1271	26,96	36,37	0,5	2089	Ö
Yozgat-Sorgun	13206	-	-	13206	5,32	31,46	4,1	4926	Ö
Yozgat-Sorgun-Küçükköşne	4208	-	-	4208	13,76	43,8	4,09	2502	Ö
TOPLAM	9.626.743	1.658.179	289.247	11.574.169	28,28	28,03	2,38	2445,5	Ortalama

EK-2. Ölçüm belirsizliği bütçeleri

[illegible]

Resim E2.1. TGA cihazı ile kül muhtevası tayini ölçüm belirsizliği bütçesi

EK-2. (devam) Ölçüm belirsizliği bütçeleri

[illegible]

Resim E2.2. TGA cihazı ile higroskopik nem muhtevası tayini ölçüm belirsizliği bütçesi

EK-2. (devam) Ölçüm belirsizliği bütçeleri

[illegible]

Resim E2.3. Karbon, Hidrojen, Azot miktarı tayini ölçüm belirsizliği bütçesi

EK-2. (devam) Ölçüm belirsizliği bütçeleri

DENEY		CHAZLAR							
qp,net,d	6149	cal/g	CHAZ ADI	MARKA	SERİ NO	KULLANIM ARALIĞI	Kalibrasyon Belirsizliği	Br.	
qV,gr,ad	5913	cal/g	Kolonore	İKA		40.000 Joule	0.00200	W	
Biyçe Nemli	511	%	TGA	Eltra		0-200 g	0.01859	g	
Ağırlık	1	g	Terazi	DENVER		0-200 g	0.00004	g	
Hd	429	%	Elementel Analiz	LECO			0.00200		

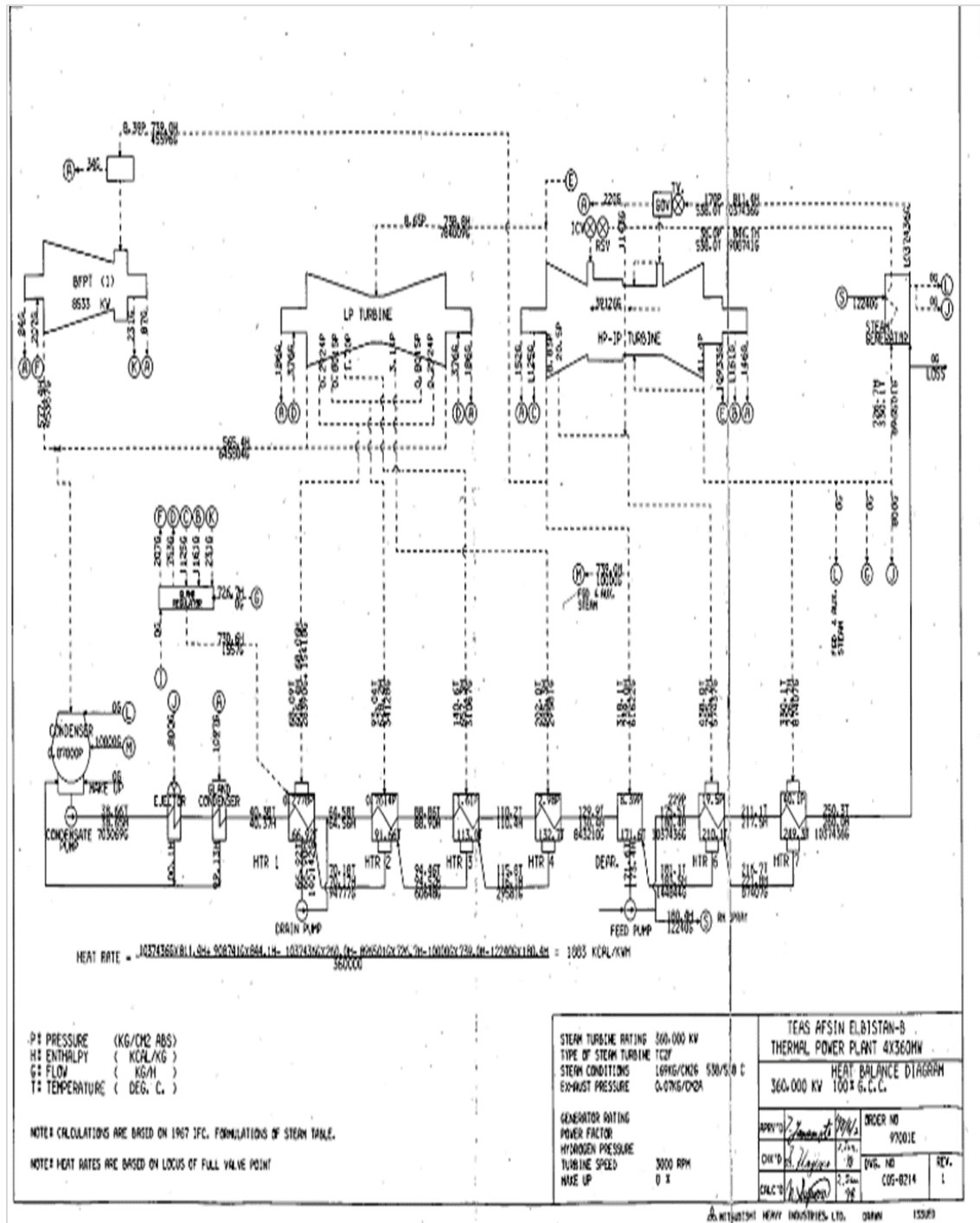
Resim E2.4. Alt ısııl değer tayini ölçüm belirsizliği bütçesi

EK-2. (devam) Ölçüm belirsizliği bütçeleri

[illegible]

Resim E2.5. Kükürt miktarı tayini ölçüm belirsizliği bütçesi

EK-3. Santral ısı balans diyagramı

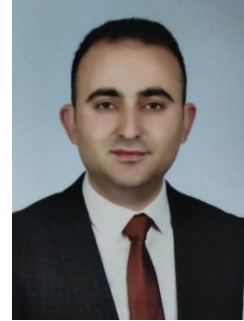


Şekil E3.1. Afşin-Elbistan B termik santrali ısı balan diyagramı

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YATARKALKMAZ, M. Mustafa
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 10.05.1989, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 416 65 41
 e-mail : myatar@tse.org.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği	Devam Ediyor
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği	2016
Lisans	ODTÜ/ Makine Mühendisliği	2012
Lise	Gazi Üniversitesi Vakfı Fen Lisesi	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	Türk Standardları Enstitüsü	Uzman

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Yatarkalkmaz, M. and Özdemir, M. (2020). Theoretical Analysis of a Lignite-Fired Power Plant with Pre-Drying System in Terms of Energy Efficiency and Economy. *Politeknik Dergisi*, DOI: 10.2339/politeknik.670890
2. Yatarkalkmaz, M. and Özdemir, M. (2019). The calculation of greenhouse gas emissions of a family and projections for emission reduction. *Journal of Energy Systems*, 3(3), 96-110. DOI: 10.30521/jes.566516

3. Özdemir, M. ve Yataarkalkmaz, M. (2018). Kayısı Kurutma İçin Düz ve Hapsedici Yüzeyli Güneş Destekli Kurutma Sistemlerinin Mukayese Edilmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(4), 803-813. DOI: 10.29109/gujsc.424823
4. Özdemir, M., Yataarkalkmaz, M. ve Dağlı, G. (2017). Farklı Soğurucu Yüzey Tiplerine Sahip Düzlemsel Kolektörlerin Deneysel Analizi. *Politeknik Dergisi*, 20(2), 441-449.
5. Yataarkalkmaz, M., Özdemir M. ve Varıyenli, H. (2017). *Yoğuşmalı Kazanlarda Verimliliğin Deneysel Olarak İncelenmesi*. 1. Uluslararası Enerji Sistemleri Mühendisliği Konferansı, Karabük.
6. Yataarkalkmaz, M. ve Özdemir, M. (2017). *Polikristalin ve Monokristalin Fotovoltaik Modüllerin Verimliliklerinin Deneysel Olarak Mukayese Edilmesi*. Paper presented at the International Advanced Researches & Engineering Congress, Osmaniye.
7. Özdemir, M. ve Yataarkalkmaz, M. (2015). Farklı Tipteki Kolektörlerin Enerji, Ekserji ve Ekonomik Analizi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 1(2), 235-251.

Hobiler

Yüzme, Futbol



GAZİ GELECEKTİR..