

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

KONYA-ILGIN LİNYİTİNİN KURUTMA KARAKTERİSTİĞİNİN BELİRLENMESİ

ŞABAN PUSAT

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

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

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONYA-ILGIN LİNYİTİNİN KURUTMA KARAKTERİSTİĞİNİN BELİRLENMESİ

Şaban PUSAT tarafından hazırlanan tez çalışması 06.04.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail TEKE

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ

İstanbul Ticaret Üniversitesi

Prof. Dr. Osman ISIKAN

Marmara Üniversitesi

Doç. Dr. Süleyman Hakan SEVİLGİN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2012-06-01-DOP01 numaralı projesi ve TÜBİTAK'ın 1120278 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

En önemli yerli enerji kaynağımız olan linyitlerin verimli ve temiz bir şekilde kullanılması çok önemli bir konudur. Bunun için, yüksek nem içeriğine sahip linyitlerin kurutulması büyük önem arz etmektedir. Bu konuda, yeterli çalışmalar henüz yapılmamıştır. Gerekli çalışmaların yapılmamış olması bu tez çalışması için büyük bir motivasyon kaynağıdır.

Ülkemiz için büyük öneme sahip olan yerli linyitlerin kalitesinin artırılarak daha verimli kullanımının hedeflendiği bu çalışmanın ülkemiz literatürüne katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Tez çalışmamın Danışmanı olan Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM'e verdiği büyük destek ve sabrından dolayı teşekkür ederim. Tez çalışmasının konusunun belirlenmesinde yol gösteren Prof. Dr. İsmail TEKE'ye ayrıca teşekkürü bir borç bilirim. Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ'ye gerek tezimle ilgili gerekse de lisans eğitimi döneminden bugüne kadar verdiği destekten dolayı teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam süresince gerek maddi gerekse de bilimsel açıdan bana destek veren Prof. Dr. Bahri ŞAHİN'e de teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam süresince bana destek olan Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Hidromekanik ve Hidrolik Makineler Anabilim Dalı Öğretim Üyelerine teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarımda, ekipman konusunda destek olan değerli hocalarım basta olmak üzere, Yıldız Teknik Üniversitesi çalışanlarına ve tez süresince benden desteklerini esirgemeyen mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, deney sisteminin kurulmasında bana yardımcı olan Arş. Gör. Mustafa Tahir AKKOYUNLU'ya gönülden teşekkür ederim.

Akademik ve sosyal hayatımda bana verdiği her türlü destek için arkadaşım Erdal BAĞCI'ya teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi manevi hep yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen başta annem ve kardeşlerim olmak üzere bütün aileme teşekkür ederim. Bugünlere gelmemde ve bu mesleği seçmemde en büyük pay sahibi olan babamı saygıyla anıyorum.

Çalışmalarım boyunca bana destek olan ve beni anlayışla karşılayan eşime ve beni her zaman güldürmeyi başaran biricik oğluza gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Nisan, 2015

Şaban PUSAT

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	2
1.1 Kömürün Yapısı ve Kurutma Teknolojileri	19
1.1.1 Kömürün Yapısı ve Kurutmanın Etkileri	20
1.1.2 Kurutmanın Modellenmesi ve Kurutma Teknolojileri.....	27
1.2 Literatür Özeti.....	32
1.3 Tezin Amacı.....	53
1.4 Hipotez.....	54
BÖLÜM 2	
KONYA-ILGIN LİNYİTİ VE DENEY SETİNİN ÖZELLİKLERİ	56
2.1 Konya-İlgın Linyitinin Özellikleri	56
2.2 Sabit Yatak Kurutucu Deney Sistemi	59
BÖLÜM 3	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve ANALİZLER	63

3.1	Tekrarlanabilirlik Deneyleri	68
3.2	Tek Tane Kurutma Deneyleri	70
3.3	Yığın Kurutma Deneyleri	73
3.3.1	Kurutma Hava Sıcaklığının Etkisi	73
3.3.2	Kurutma Hava Hızının Etkisi	78
3.3.3	Kömür Tane Boyutunun Etkisi	80
3.3.4	Kömür Yığın Yüksekliğinin Etkisi	83
3.3.5	Genel Değerlendirme	85
3.4	Kurutucu Tasarım Deneyleri	89
3.4.1	Tek Boyut Deneyleri	92
3.4.2	Farklı Boyut Aralıkları için Deneyler	94
3.4.3	Genel Değerlendirme	107
BÖLÜM 4		
BANTLI KÖMÜR KURUTMA SİSTEMİ TASARIMI		109
BÖLÜM 5		
SONUÇ VE ÖNERİLER		117
KAYNAKLAR		122
ÖZGEÇMİŞ		131

SİMGE LİSTESİ

f	Kurutma hızı oranı (-)
φ	Nem oranı (-)
T	Kurutma havası sıcaklığı (°C)
V	Kurutma havası hızı (m/s)
S	Kömür boyutu (mm)
H	Kömür yığın yüksekliği (mm)
M	Islak bazdaki (orjinal) nem oranı (g_nem/g_ıslak_kömür)
W ₀	Numunenin nem ölçümüne başlamadan önceki ağırlığı (g)
W _t	Numunenin kuru ağırlığı (g)
DR	Kurutma hızı (g_nem/g_ıslak_kömür.dk)
M _t	t anındaki nem oranı (g_nem/g_ıslak_kömür)
t	Kurutma süresi (dk)
MR	Nem oranı (-)
M _e	Denge nem oranı (g_nem/g_ıslak_kömür)
M ₀	Başlangıç nem oranı (g_nem/g_ıslak_kömür)
S _{ort}	Ortalama tane boyutu (mm)
w%	Boyut aralıkları için ağırlık oranı yüzdesi (%)
D _{ort}	Boyut aralığı için ortalama çap (mm)
D _{min}	Boyut aralığının minimum çapı (mm)
D _{max}	Boyut aralığının maksimum çapı (mm)
AID ₀	Başlangıç alt ısı değeri (kcal/kg)
AID _t	t anındaki alt ısı değeri (kcal/kg)
w _{buh}	Kurutma ile 1 kg kömürden buharlaştırılacak nem miktarı (g)
M _{buh}	Buharlaştıran nem oranı (%)
w _{giren}	Kurutucu kömür giriş miktarı (ton)
w _{çıkan}	Kurutucu kömür çıkış miktarı (ton)
V _{yığın}	Kömür yığınının hacmi (m ³)
H _b	Yığın yüksekliği (m)
E _b	Yığın genişliği (m)
L _b	Yığın uzunluğu (m)
$\rho_{yığın}$	Yığın yoğunluğu (ton/m ³)
V _{bant}	Bant hızı (m/dk)
K _k	Kurutucu kapasitesi/Kurutucu kuru kömür çıkış debisi (ton/h)
K _g	Kurutucu ıslak kömür giriş debisi (ton/h)

K_n Kurutucu buharlaşan nem debisi (ton/h)

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
AID	Alt Isıl Değer
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
HGI	Hardgrove Grindability Index
Hs	Bağıl nem sensörü
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
MTA	Maden ve Tetkik Arama
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
PLC	Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
Ps	Basınç sensörü
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TGA	Thermal Gravimetric Analysis
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri
Ts	Sıcaklık sensörü
TTK	Türkiye Taşkömürü Kurumu
UEA	Uluslararası Enerji Ajansı
ÜID	Üst Isıl Değer

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Dünya nüfus, gelir ve birincil enerji talebi değişimi [3]	3
Şekil 1.2	Dünya birincil enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı (2011) [4]	4
Şekil 1.3	Türkiye birincil enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı (1990) [5,6]	6
Şekil 1.4	Türkiye birincil enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı (2012) [5]	6
Şekil 1.5	Türkiye yıllara göre birincil enerji üretim ve talep değerleri [5]	7
Şekil 1.6	Türkiye birincil enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı (2012) [5]	7
Şekil 1.7	Türkiye enerji ithalatının yıllara göre değişimi [5]	8
Şekil 1.8	Dünya kömür üretiminin yıllara göre değişimi [6]	9
Şekil 1.9	Dünya kömür rezervlerinin kömür sınıfına göre dağılımı [10]	10
Şekil 1.10	Dünya linyit rezervlerinin ülkelere göre dağılımı (2012) [10]	10
Şekil 1.11	Bazı ülkelerin elektrik üretimindeki kömür payı [11]	11
Şekil 1.12	Kömür üretimi yapılan başlıca iller [9]	11
Şekil 1.13	Türkiye kömür ithalatının yıllara göre değişimi [9]	13
Şekil 1.14	Kömür ithalatı ve fiyatların yıllara göre değişimi [9]	13
Şekil 1.15	Kömür nem artışının santraller üzerindeki etkileri	17
Şekil 1.16	Farklı kömürler için kurutma hızı eğrileri [20]	22
Şekil 1.17	Linyit nem içeriği ile kurutma hızı değişimi [25]	23
Şekil 1.18	Farklı linyitler için neminin bağ enerjisi [27–29]	24
Şekil 1.19	Öğütülebilirlik nem içeriği ilişkisi [35]	26
Şekil 1.20	Karakteristik kurutma eğrisi [47]	27
Şekil 1.21	Hareketli akışkan yatak kurutma prosesi şematik gösterimi [78]	33
Şekil 1.22	Kömür ısı değeri ve nem içeriği ilişkisi [78]	34
Şekil 1.23	Kızgın buharlı akışkan yatak kurutma prosesi şematik diyagramı [24]	37
Şekil 1.24	Boyutsuz karakteristik kurutma eğrisi [84]	38
Şekil 1.25	DeneySEL ve teorik kömür kurutma eğrisi [89]	40
Şekil 2.1	Konya'nın konumu [121]	56
Şekil 2.2	İlgili ilçesinin konumu [121]	58
Şekil 2.3	Deney setinin şematik gösterimi	60
Şekil 2.4	Deney setinin 3 boyutlu çizimi	60
Şekil 2.5	Deney setinin fotoğrafı	61
Şekil 3.1	Debimetre kalibrasyon eğrisi	63
Şekil 3.2	Deneylerdeki ölçüm hatalarını gösteren deney bulguları	67
Şekil 3.3	Tekrarlanabilirlik deneyi 1	69
Şekil 3.4	Tekrarlanabilirlik deneyi 2	69

Şekil 3.5	Tekrarlanabilirlik deneyi 3	70
Şekil 3.6	Farklı boyutlardaki kömürler için küresel tek tanecik deneyleri	71
Şekil 3.7	Farklı tane geometrisi için tek tanecik deneyleri.....	72
Şekil 3.8	Farklı sıcaklıklar için tek tanecik deneyleri.....	73
Şekil 3.9	Hava sıcaklığının kurutmaya etkisi (H=80mm, S=20mm ve V=0.4m/s)	76
Şekil 3.10	Hava sıcaklığının kurutmaya etkisi (H=80mm, S=20mm ve V=0.7m/s).....	76
Şekil 3.11	Hava sıcaklığının kurutmaya etkisi (H=80mm, S=20mm ve V=1.1m/s).....	77
Şekil 3.12	Hava sıcaklığının kurutmaya etkisi (H=80mm, S=35mm ve V=0.4m/s).....	77
Şekil 3.13	Hava sıcaklığının kurutmaya etkisi (H=130mm, S=35mm ve V=0.4m/s).....	78
Şekil 3.14	Hava sıcaklığının kurutmaya etkisi (H=150mm, S=50mm ve V=0.4m/s).....	78
Şekil 3.15	Hava hızının kurutmaya etkisi (H=80mm, S=20mm ve T=100°C)	79
Şekil 3.16	Hava hızının kurutmaya etkisi (H=80mm, S=20mm ve T=130°C)	80
Şekil 3.17	Tane boyutunun kurutmaya etkisi (H=150mm, T=130oC ve V=0.4m/s).....	81
Şekil 3.18	Tane boyutunun kurutmaya etkisi (H=80mm, T=100oC ve V=0.4m/s).....	82
Şekil 3.19	Tane boyutunun kurutmaya etkisi (H=80mm, T=130oC ve V=0.4m/s).....	82
Şekil 3.20	Tane boyutunun kurutmaya etkisi (H=80mm, T=130oC ve V=0.7m/s).....	83
Şekil 3.21	Yığın yüksekliğinin kurutmaya etkisi (S=35mm, T=130oC ve V=0.4m/s).....	84
Şekil 3.22	Yığın yüksekliğinin kurutmaya etkisi (S=20mm, T=130oC ve V=0.4m/s).....	85
Şekil 3.23	Yığın yüksekliğinin kurutmaya etkisi (S=35mm, T=100oC ve V=0.4m/s).....	85
Şekil 3.24	Tek tane kömür kurutma karakteristiği	89
Şekil 3.25	20-50 mm boyut aralığı için homojen dağılım grafiği.....	95
Şekil 3.26	Kurutma sıcaklığı son nem ilişkisi (H=150mm, V=0.4m/s ve t=45dk).....	96
Şekil 3.27	Kurutma sıcaklığı ufalanma oranı ilişkisi (H=150mm, V=0.4m/s ve t=45dk)	97
Şekil 3.28	Kurutma sıcaklığı buharlaşan nem oranı ilişkisi (H=150mm, V=0.4m/s ve t=45dk)	97
Şekil 3.29	Kurutma sıcaklığı AID ilişkisi (H=150mm, V=0.4m/s ve t=45dk).....	98
Şekil 3.30	Farklı sıcaklık değerleri için zamana bağlı son nem değişimi (H=150mm ve V=0.4m/s).....	98
Şekil 3.31	Farklı sıcaklık değerleri için zamana bağlı ufalanma oranı değişimi (H=150mm ve V=0.4m/s)	99
Şekil 3.32	Farklı sıcaklık değerleri için zamana bağlı AID değişimi (H=150mm ve V=0.4m/s).....	99
Şekil 3.33	Farklı yığın yüksekliği değerleri için son nemin zamana göre değişimi (H=150mm ve V=0.4m/s)	101
Şekil 3.34	Farklı yığın yüksekliği değerleri için ufalanma oranının zamana göre değişimi (H=150mm ve V=0.4m/s)	102
Şekil 3.35	Farklı yığın yüksekliği değerleri için AID'in zamana göre değişimi (H=150mm ve V=0.4m/s)	102
Şekil 3.36	28-50 mm boyut aralığı için homojen dağılım grafiği.....	105
Şekil 3.37	35-50 mm boyut aralığı için homojen dağılım grafiği.....	106
Şekil 3.38	Kömür yığınınındaki nem dağılımı	107
Şekil 4.1	Örnek bantlı kurutucu 1 [131]	110
Şekil 4.2	Örnek bantlı kurutucu 2 [132]	111
Şekil 4.3	Kömür nem oranı AID değişimi	112
Şekil 4.4	Bantlı kömür kurutucu şematik gösterimi	115

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 1990-2011 yılları arasındaki birincil enerji talebindeki değişim [4–6].....	3
Çizelge 1.2 Dünya birincil enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı (2035 yılı senaryoları) [4].....	5
Çizelge 1.3 Türkiye linyit rezervlerinin dağılımı (2013) [6].....	12
Çizelge 1.4 Taşkömürü, linyit, asfaltit ve petrokokun sektörler bazındaki tüketimleri [6].....	14
Çizelge 1.5 Kömür kurutma ile ilgili yapılan çalışmaların özeti.....	49
Çizelge 2.1 Konya linyit rezervlerinin durumu ve bazı özellikleri [122].....	57
Çizelge 2.2 Nem ölçüm istatistikleri.....	59
Çizelge 2.3 Konya-İlgın linyiti kısa analiz sonuçları ve ısı değerleri (orijinal numune).....	59
Çizelge 2.4 Sensör ve ekipmanların özellikleri.....	62
Çizelge 3.1 Deneysel çalışmalarda dikkate alınan kurutma parametreleri.....	64
Çizelge 3.2 Deney prosedürü.....	65
Çizelge 3.3 % 20 nem hedefi için kurutma süreleri (H=80mm ve V=0.4m/s).....	86
Çizelge 3.4 Farklı son nem hedefleri için kurutma hızları (g/g.dk) (H=80mm ve V=0.4m/s).....	86
Çizelge 3.5 Farklı kurutma havası hızı değerleri için kurutma hızları (g/g.dk) (H=80mm ve son nem % 25).....	87
Çizelge 3.6 Farklı yığın yükseklikleri için tane boyutuna bağlı kurutma hızlarının (g/g.dk) değişimi (V=0.4 m/s ve son nem % 25).....	87
Çizelge 3.7 Farklı yığın yükseklikleri için sıcaklığa bağlı kurutma hızlarının (g/g.dk) değişimi (V=0.4 m/s ve son nem % 25).....	88
Çizelge 3.8 Yönetmeliklerdeki kısıtlamalar [126].....	90
Çizelge 3.9 50 mm için tasarım deneyleri (H=150 mm ve V=0.4 m/s).....	92
Çizelge 3.10 35 mm için tasarım deneyleri (H=150 mm ve V=0.4 m/s).....	93
Çizelge 3.11 Kurutucu tasarım deneyleri: Kurutma havası sıcaklığı etkisi.....	95
Çizelge 3.12 Kurutucu tasarım deneyleri: Yığın yüksekliği etkisi.....	100
Çizelge 3.13 Kurutucu tasarım deneyleri: Kurutma havası hızı etkisi.....	103
Çizelge 3.14 Kurutucu tasarım deneyleri: Kömür tane boyutu etkisi.....	104
Çizelge 4.1 1 ton/h kapasiteli kurutucu tasarım değerleri.....	116

KONYA-ILGIN LİNYİTİNİN KURUTMA KARAKTERİSTİĞİNİN BELİRLENMESİ

Şaban PUSAT

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

Dünyadaki linyit ile ilgili son gelişmelere bakıldığında, kömürün gazlaştırılması, sıvılaştırılması ve düşük kaliteli kömürlerin kurutulması konuları hala güncelliğini korumaktadır. Literatüre bakıldığında, yapılan çalışmaların temel amacının linyit kaynaklarının daha verimli kullanılabilmesini sağlamak olduğu görülmektedir.

Enerjide büyük oranda dışa bağımlı olan Türkiye'nin en önemli yerli enerji kaynağı olan linyitin verimli bir şekilde kullanılması çok önemlidir. Ayrıca, cari açığındaki enerji payının büyüklüğü, enerji fiyatlarındaki uluslararası dalgalanmalar, enerji arz güvenliği gibi ülkelerin enerji stratejilerindeki etkin parametreler nedeni ile de yerli enerji kaynaklarına olan ilgi artmaktadır. Yüksek nemli yerli kömürlerin gerek ısıtma amacıyla gerekse de elektrik üretimi amacıyla kullanılması durumunda verim, işletme güçlüğü ve emisyon sorunları görülmektedir. Bunların başlıca sebebi ise kömürün yakılması ile elde edilen enerjinin önemli bir kısmının kömür içerisindeki nemin buharlaştırılması amacıyla harcanmasıdır. Ancak, bu kadar yüksek öneme sahip olan yerli linyitlerin kalitesinin artırılması ve kullanım yerlerinde oluşan işletme problemlerinin kök nedeni olan yüksek neminin giderilmesi ile ilgili gerekli çalışmalar neredeyse hiç yapılmamıştır. Linyitleri kurutma amacı ile yapılan çalışmalara bakıldığında, akışkan yatak teknolojisi üzerinde büyük bir yoğunlaşma olduğu görülmektedir. Ancak, kurutmaya etki eden parametrelerin çokluğu, enerji tüketimleri, kömür tane boyutları, yüksek kapasitelerde kurutma talepleri ve kömür özelliklerinin farklılığı bu konudaki farklı kurutma teknolojilerinin de araştırılmasına yol açmıştır. Bu nedenle son yıllarda özellikle buharlı akışkan yatak teknolojisi üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Türkiye’de kömür kurutma ile ilgili birkaç çalışma yapılmış olmakla birlikte uygulamaya dönük olarak herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. En büyük yerli enerji kaynağı linyit olan Türkiye için bu konuda çalışma yapılmamış olması büyük bir eksikliklerdir.

Bu tezin temel amacı, ısıtma amacıyla kullanılan linyitlerin kurutularak yönetmeliklere uygun hale getirilmesi için gerekli deneysel ve teorik çalışmaların yapılmasıdır. Bu tez çalışması kapsamında, Konya-İlgın linyitinin kurutma karakteristiği sabit yatak kurutucu deney seti kullanılarak belirlenmiştir. Deney seti ile kurutma prosesinde etkin parametreler olan kurutma sıcaklığı, kurutucu akışkan hızı, kömür yığın yüksekliği ve kömür tane boyutu için kurutma karakteristikleri elde edilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda akışkan yataklı kurutmada kömür tane boyutları 0-6 mm aralığında iken, yaptığımız çalışmada, literatürden farklı olarak büyük taneli kömürlerle yapılmıştır. Bunun amacı, ısıtma amacı ile kullanılacak yerli kömürlerde torbalama için kömür tane boyutlarının standartlardaki büyük (18-150 mm) olması zorunluluğudur. Bu zorunluluk hem kurutma yöntemini hem de kurutmadaki kömür tane boyutunu etkilemektedir. Deneyler 70, 100 ve 130 °C kurutma havası sıcaklığı, 0.4, 0.7 ve 1.1 m/s kurutma havası hızı, 80, 130 ve 150 mm kömür yüksekliği ve 20, 35 ve 50 mm kömür tane boyutu şartlarında yapılmıştır.

Tez çalışması bulgularına göre, kurutma havası sıcaklığı ve hızı ve kömür tane boyutu ve yüksekliği kurutma prosesini önemli ölçüde etkilemektedir. Kurutma süresi, kurutma havası sıcaklığı ve hızı arttıkça azalmakta, kömür tane boyutu ve yüksekliği arttıkça artmakta olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Konya-İlgın linyitinin sabit kurutma hızı aşamasına sahip olmadığı, sadece uzun ve azalan kurutma hızı aşamasına sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular ile istenen son neme göre, kurutma süresi ve kurutucu boyut ve maliyetlerinin optimizasyonunun yapılabilmesi için gerekli alt yapı oluşturulmuştur.

Konya-İlgın linyitinin kurutma karakteristiği belirlendikten sonra, uygun kurutucu ön tasarımı ile ilgili gerekli çalışmalar yapılmıştır. Kurutucu çıkışındaki kömür özelliklerinin yönetmelikle belirlenen şartlara uygun olabilmesi için birçok farklı şartta deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin amacı ısı değer, ufalanma oranı ve nem içeriği değerlerini istenen şartlara getirebilmektir. Tane boyutu büyük olduğu için en uygun kurutma yönteminin bantlı kurutma sistemi olduğu belirlenmiştir. Bu amaçla, bantlı kurutma sistemi için gerekli ön tasarım parametreleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, 1 ton/h kapasiteye sahip bantlı kurutma sisteminin ön tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kömür, linyit, Konya-İlgın, kurutma, kurutma karakteristiği, ısı ve kütle transferi

ABSTRACT

DETERMINATION OF DRYING CHARACTERISTIC OF KONYA-ILGIN LIGNITE

Şaban PUSAT

Department of Mechanical Engineering

PhD. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

Gasification, liquefaction and drying of low rank coals are still up-to-date topics around the world. The main aim of the studies, concerning the literature, is to be able to utilize low rank coal sources more efficiently.

Turkey is a foreign-dependent country in energy sector. Therefore, utilizing of lignite resources, which is the most important local energy source of Turkey, efficiently is a very important topic for Turkey. Additionally, attention to the local energy sources has increased due to important parameters in energy strategies of countries such as share of energy import in total current deficit, international fluctuations in cost of energy, security of energy supply, etc. Problems in efficiency, operation and emissions are seen in utilization of high moisture content local coals in both electricity production and heating sectors. Main cause of the problems is to consume significant part of the energy for removal of moisture. However, there are hardly ever studies for increasing the quality of local lignite resources and removing of high moisture content which is the basic cause of operation problems. It can be seen that there is a high interest on fluidized bed technology in the literature. However, there are some other different technologies investigated due to numbers of effective parameters on drying process, energy consumptions, coal particle sizes, high capacity drying demands and differences in coal properties. Therefore, there are lots of studies on superheated steam fluidized bed technology in the recent years.

In Turkey, there is no any applicable study, although there are a few studies on coal drying. This is a significant deficiency for Turkey in which lignite is the most important local energy source.

The main aim of this thesis is to do necessary experimental and theoretical works to make suitable of lignite resources used in heating sector according to regulations. Drying characteristics of Konya-İlgin lignite in a fixed bed dryer experimental set-up have been determined within the context of this thesis. Most effective parameters as drying temperature, drying fluid velocity, bed height and particle size, have been investigated by the experimental set-up. Drying experiments have been done with coarse lignite particles, which is different from most of the studies (0-6 mm) in the coal drying literature. This is due to the regulations which state that size of coal particles should be course (18-150 mm). This limitation affects the particle size and drying method. Drying experiments have been carried out at 70, 100 and 130 °C drying air temperatures, 0.4, 0.7 and 1.1 m/s drying air velocities, 80, 130 and 150 mm sample heights and 20, 35 and 50 mm sample sizes.

The results of this thesis show that drying air temperature and velocity, sample size and bed height all significantly influence the drying process. Drying time is reduced by increasing of the air temperature and velocity and decreasing of the particle size and bed height. Drying of Konya-İlgin Lignite doesn't show a constant drying rate stage. It has long and falling drying rate stage. The necessary knowledge has been created to optimize dryer sizes and costs for preferred output moisture and necessary drying time by using the obtained results from this study.

The necessary studies have been carried out for appropriate dryer design after determination of drying characteristics of Konya-İlgin lignite. Many different experimental conditions have been examined to achieve dryer output properties as in the regulations. The aim of these experiments is to obtain required heating value, fragmentation rate, and moisture content value. It is determined that the most appropriate drying method is band dryer due to the particle sizes. For this aim, required design parameters have been determined for band dryer system. As a result, pre-design of 1 ton/h capacity band dryer has been performed.

Keywords: Coal, lignite, Konya-İlgin, drying, drying characteristic, heat and mass transfer

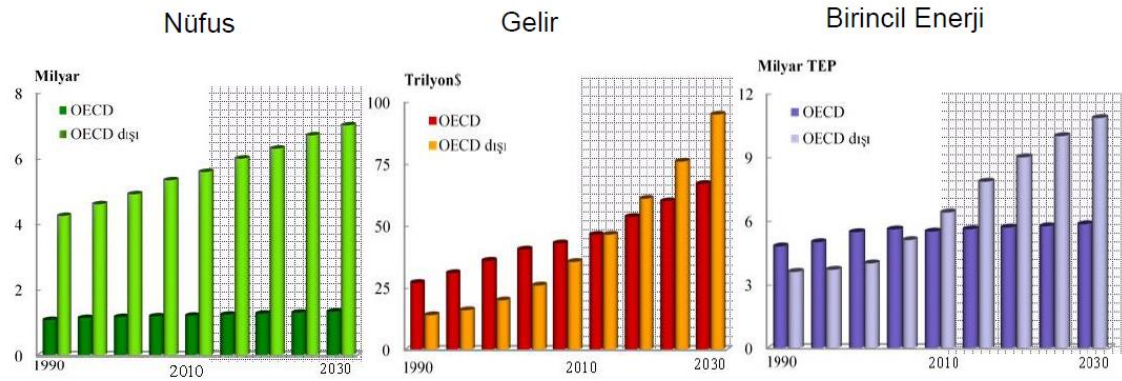
BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji insan yaşamı için en önemli unsurlardan birisidir. Ülkeler açısından ise enerji, bağımsızlık ve güvenlik için en önemli parametrelerden biridir. Enerji üretmek amacıyla kullanılan yakıtlar ülkelere eşit oranlarda dağılmamıştır. Bazı ülkeler petrol açısından zengin iken bazı ülkeler kömür açısından zengindir. Ülkelerin sahip oldukları enerji kaynakları kendi ihtiyaçlarını karşılamaya yetmeyebilmektedir. Dolayısıyla, ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek amacıyla yakıt ticareti yapmaktadırlar. Bu nedenle, enerji güvenliği günümüzün en önemli konuları arasında yer almaktadır. Enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılan enerji kaynakları şu şekilde sıralanmaktadır [1]:

- Petrol
- Kömür
- Doğal Gaz
- Nükleer Enerji
- Hidrojen Enerjisi
- Biyokütle
- Hidrolik
- Rüzgâr
- Güneş
- Jeotermal
- Diğer Yenilenebilir Enerji Kaynakları (Dalga vb.)

Enerji tüketimi ekonomik gelişme, nüfus artışı ve teknolojik gelişmelerle birlikte sürekli artmaktadır [2]. Dünyadaki nüfus, gelir ve birincil enerji talebinin 1990-2010 yılları arasındaki değişimi ve 2030 yılına kadarki tahminleri Şekil 1.1’de verilmiştir. Enerji talebindeki artışa paralel olarak gelişen teknoloji enerjinin daha verimli üretimini beraberinde getirmektedir. Böylece, var olan enerji kaynaklarının daha verimli kullanımı sağlanabilmektedir.



Şekil 1.1 Dünya nüfus, gelir ve birincil enerji talebi değişimi [3]

Dünyadaki birincil enerji talebinin 1990-2011 yılları arasındaki değişimi Çizelge 1.1’de verilmiştir. 21 yıl içerisindeki dünya birincil enerji talebindeki artış ortalama % 49 olurken, Türkiye için bu artış % 117 gibi ortalamanın çok üzerinde gerçekleşmiştir. Brezilya, ABD ve Japonya’daki artış oranı Türkiye’nin altında kalırken, Çin ve Hindistan’daki artış oranı Türkiye’nin üzerinde olmuştur.

Çizelge 1.1 1990-2011 yılları arasındaki birincil enerji talebindeki değişim [4–6]

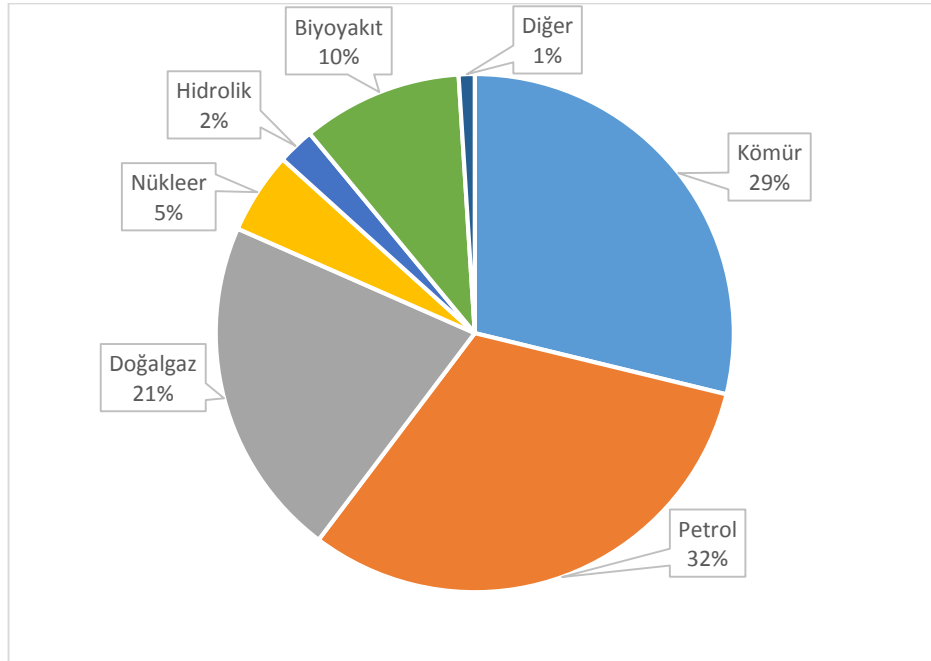
Ülke	1990	2011	Artış
	Milyon TEP		%
Çin	879	2743	212
Hindistan	317	750	137
Türkiye	53	115	117
Brezilya	138	267	94
ABD	1915	2189	14
Japonya	439	461	5
OECD	4522	5304	17
Dünya	8769	13070	49

Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) 2035 yılı için 2 farklı senaryo hazırlamıştır [4]. Bu senaryolardan ilki mevcut enerji politikalarının devam etmesi durumunda 2035 yılındaki birincil enerji talebinin % 43 artarak 18646 milyon TEP olacağını öngörürken, ikinci

senaryo yeni enerji politikaları ile artışın % 33 (17387 milyon TEP) olacağını öngörmektedir. UEA'nın mevcut enerji politikaları durumu için Türkiye'nin 2020 ve 2035 yıllarındaki enerji talebi tahmini ise şu şekildedir:

- 2020 yılı tahmini: 146 milyon TEP (2011 yılına göre % 27 artış)
- 2035 yılı tahmini: 208 milyon TEP (2011 yılına göre % 81 artış).

Dünya birincil enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı Şekil 1.2'de verilmiştir. Kaynaklar arasındaki en yüksek paya % 32 ile petrol sahiptir. Petrolü % 29 ile kömür takip etmektedir. Petrol, kömür ve doğalgazın toplam içerisindeki payı ise % 82'dir.



Şekil 1.2 Dünya birincil enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı (2011) [4]

UEA'nın 2035 yılı tahminleri doğrultusunda birincil enerji talebi içerisindeki kaynak dağılımı Çizelge 1.2'de verilmiştir. Mevcut enerji politikalarının devamına göre hazırlanan senaryoda 2035 yılında kömürün payı (% 29) aynı kalırken petrolün payı (% 27) azalmakta ve doğalgazın payı (% 23) artmaktadır. Yeni enerji politikaları senaryosu için ise kömürün (% 25) ve petrolün (% 27) payları azalırken doğalgazın payı (% 24) artmaktadır. Dünya enerji talebinin karşılanmasında tüketilen kaynakların miktarlarına bakıldığında ise genel enerji talebinin sürekli artması dolayısıyla bütün kaynakların tüketim miktarları artmaktadır.

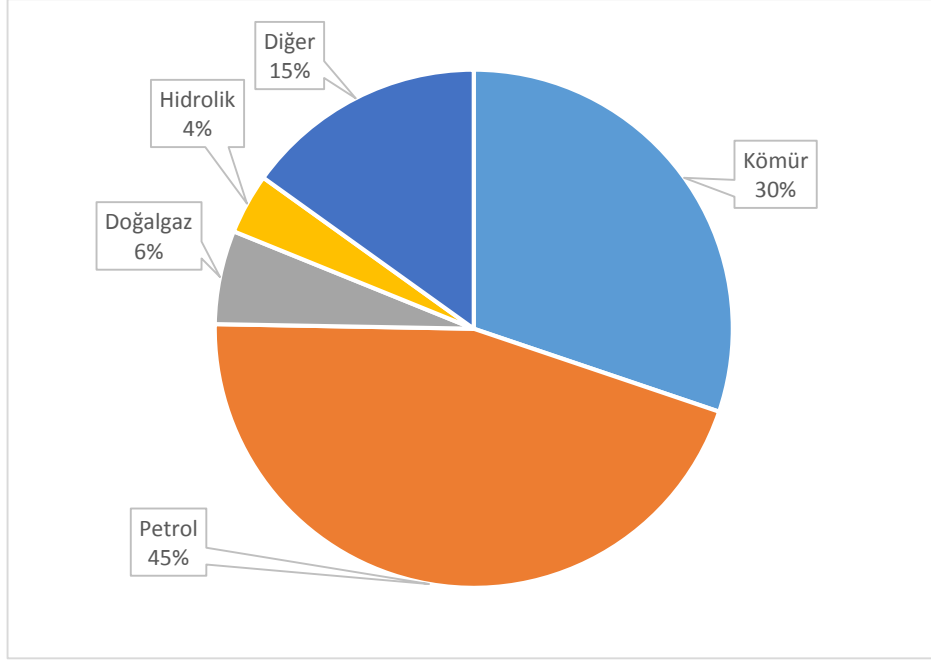
Çizelge 1.2 Dünya birincil enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı (2035 yılı senaryoları) [4]

Kaynak		2011	2035 Yılı Senaryoları	
			Mevcut Enerji Politikaları (I. Senaryo)	Yeni Enerji Politikaları (II. Senaryo)
Kömür	Milyon TEP	3773	5435	4428
	%	29	29	25
Petrol	Milyon TEP	4108	5094	4661
	%	31	27	27
Doğalgaz	Milyon TEP	2787	4369	4119
	%	21	23	24
Nükleer	Milyon TEP	674	1020	1119
	%	5	5	6
Hidrolik	Milyon TEP	300	471	501
	%	2	3	3
Biyoyakıt	Milyon TEP	1300	1729	1847
	%	10	9	11
Diğer	Milyon TEP	127	528	711
	%	1	3	4
TOPLAM	Milyon TEP	13070	18676	17197
	%	100	100	100

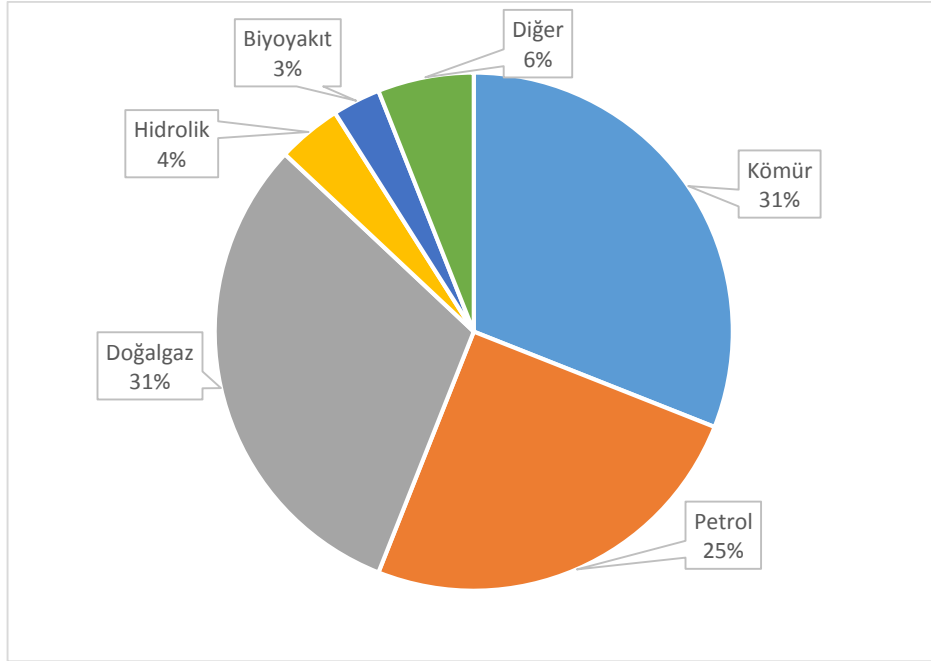
Kömür ile ilgili yapılan tahminlere bakıldığında 2011 yılında 3773 milyon TEP olan kömür tüketimi 2035 yılında ilk senaryoya göre 5435 milyon TEP ikinci senaryoya göre ise 4428 milyon TEP olacaktır. Dolayısıyla, kömürün, enerji kaynağı olarak önemini kaybetmeyeceği görülmektedir.

Türkiye 2012 yılı birincil enerji talebi 121 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir [5,6]. Türkiye birincil enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı 1990 ve 2012 yılları için sırasıyla Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'te verilmiştir. Kömürün 2012 yılında toplam içerisindeki payı % 31 (38 milyon TEP) olarak gerçekleşmiştir. Kömürün 1990 yılındaki payı ise 16 milyon TEP ile % 30 idi. Toplam içindeki oranı çok fazla değişmemekle birlikte tüketilen miktar % 136 oranında artmıştır.

Burada en dikkat çekici değişim petrol ve doğalgaz tüketiminde gerçekleşmiştir. Petrolün toplam kaynaklar içerisindeki payı % 45'ten % 25'e düşerken, doğalgazın payı % 6'dan % 31'e yükselmiştir. Bu durum enerji politikalarımız açısından önemlidir.

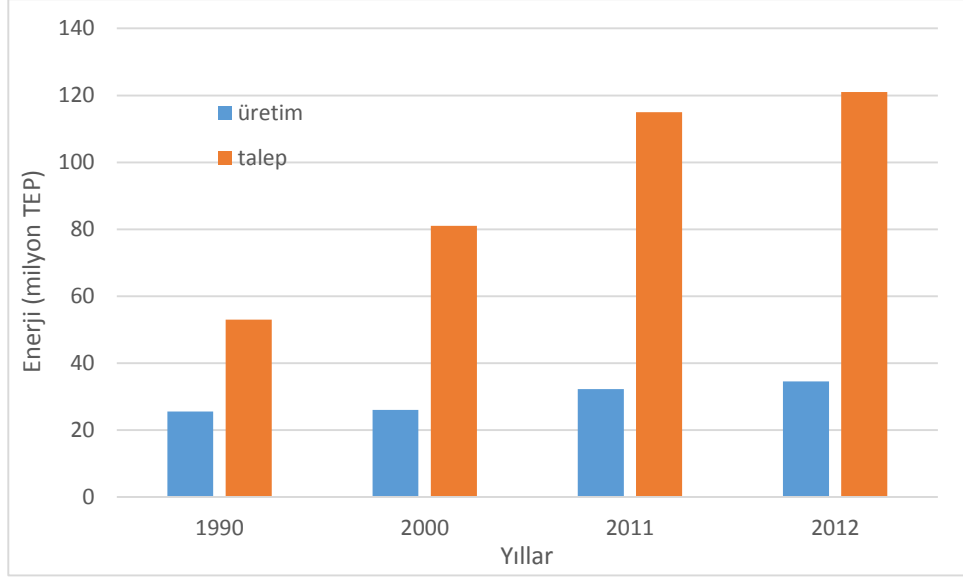


Şekil 1.3 Türkiye birincil enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı (1990) [5,6]



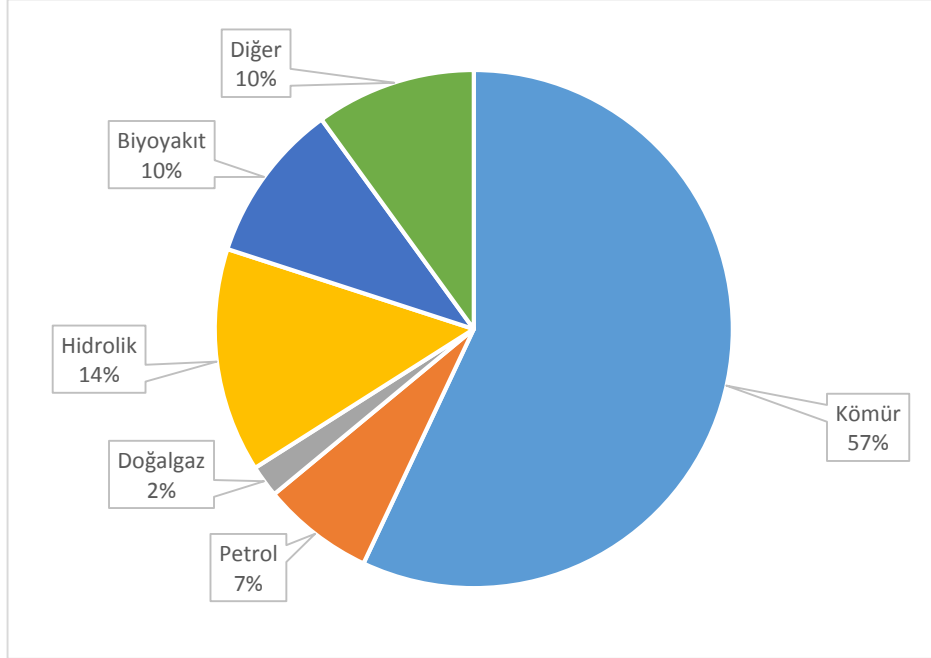
Şekil 1.4 Türkiye birincil enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı (2012) [5]

Birincil enerji üretim ile tüketim değerleri açısından bakılacak olursa 2012 yılındaki toplam enerji talebinin sadece 34.5 milyon TEP'lik kısmı kendi üretimimiz olarak gerçekleşmiştir (Şekil 1.5). Üretimin tüketimi karşılama oranı 1990, 2000, 2011 ve 2012 yılları için sırasıyla % 48.1, 32.4, 28.2 ve 28.5'dir. Bu durum, enerjideki dışa bağımlılığımızın arttığını göstermektedir.



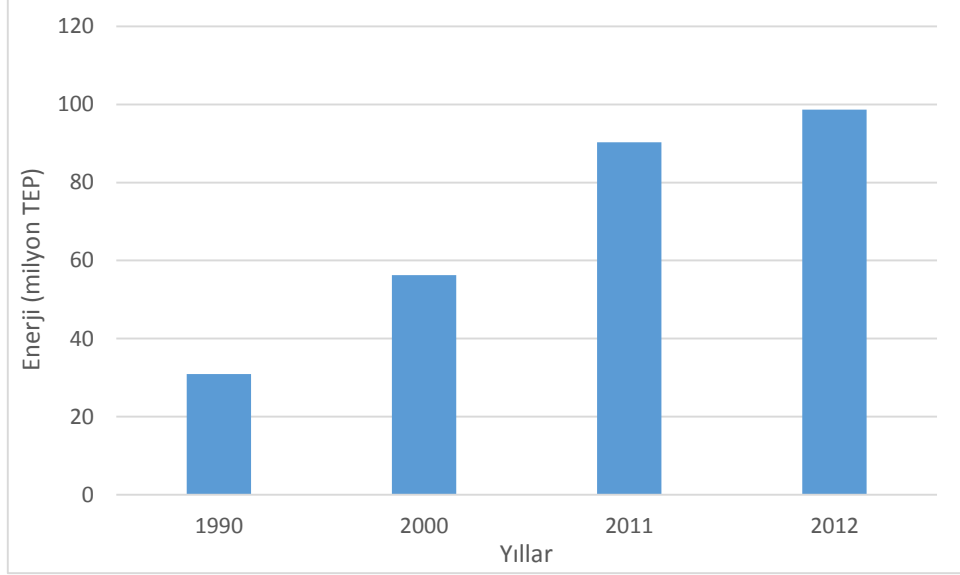
Şekil 1.5 Türkiye yıllara göre birincil enerji üretim ve talep değerleri [5]

Türkiye birincil enerji üretimindeki kaynakların payları 2012 yılı için Şekil 1.6’da verilmiştir [5]. Üretimdeki en büyük pay 19.5 milyon TEP (% 57) ile kmrndr. Kömürün de % 94’n linyit oluşturmaktadır [6]. Görüleceği zere Türkiye’nin en önemli enerji kaynağı linyittir.



Şekil 1.6 Türkiye birincil enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı (2012) [5]

Türkiye'nin enerji ithalatının yıllara göre değişimi Şekil 1.7'de verilmiştir. Enerji ithalatımız 1990 yılında 31 milyon TEP iken 2012 yılında 99 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 1.7 Türkiye enerji ithalatının yıllara göre değişimi [5]

Enerji ithalatını oluşturan en önemli kaynaklar 37.9 milyon TEP ile petrol ve 37.9 milyon TEP ile doğalgazdır [5]. Petrol ve doğalgazın ardından en yüksek paya 19.5 milyon TEP ile taşkömürü ithalatı sahiptir [5].

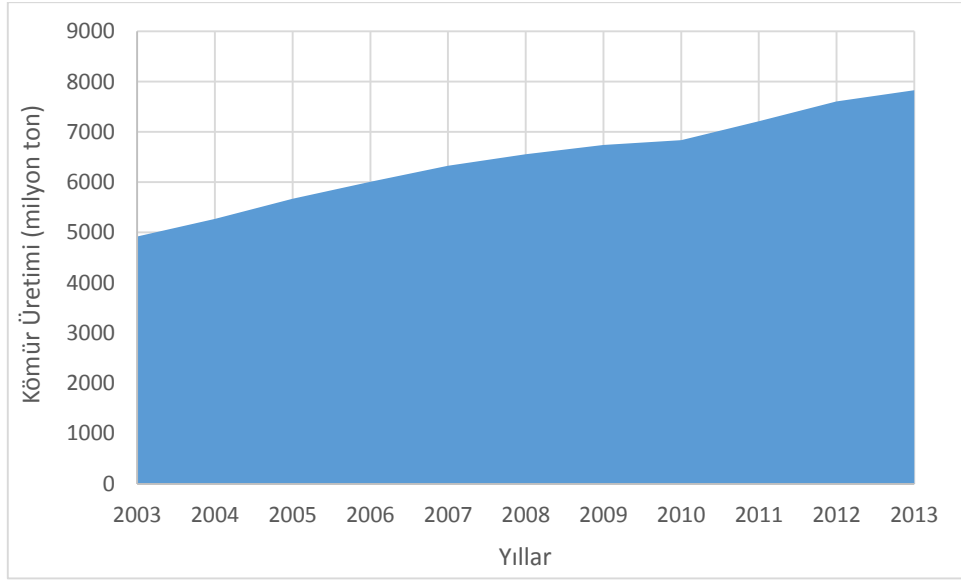
Türkiye enerjisinin önemli bir kısmını (% 71.8) ithal etmektedir [7]. Türkiye'nin toplam ithalatı içerisindeki payı ise % 25.4'dür [6]. 1990'dan itibaren yıllık enerji talebi artışı AB için ortalama % 1.6 iken Türkiye için artış % 4.6 olarak gerçekleşmiştir [7]. Türkiye'nin enerji talebi ile ilgili sahip olduğu bu değerler, enerji politikalarının dikkatli bir şekilde oluşturulması hususunda önemli fikirler vermektedir.

Kömür dünyadaki en önemli enerji kaynaklarından birisi olmakla beraber Türkiye için çok daha önemlidir. Diğer birincil enerji kaynakları açısından zayıf olan Türkiye için, kömür kaynaklarının efektif bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kömür, fosil kaynaklı tortul bir kayadır. Kömürü oluşturan ana eleman karbondur. Bitki kalıntılarının zamanla biyokimyasal ve fiziksel etkilerle değişimi sonucunda kömür oluşmaktadır. Kömürün oluşumunun ilk aşamasına turbalaşma denir ve linyitten önceki aşamadır. Kömürler ile ilgili yapılan birçok farklı sınıflandırma yöntemi bulunmaktadır.

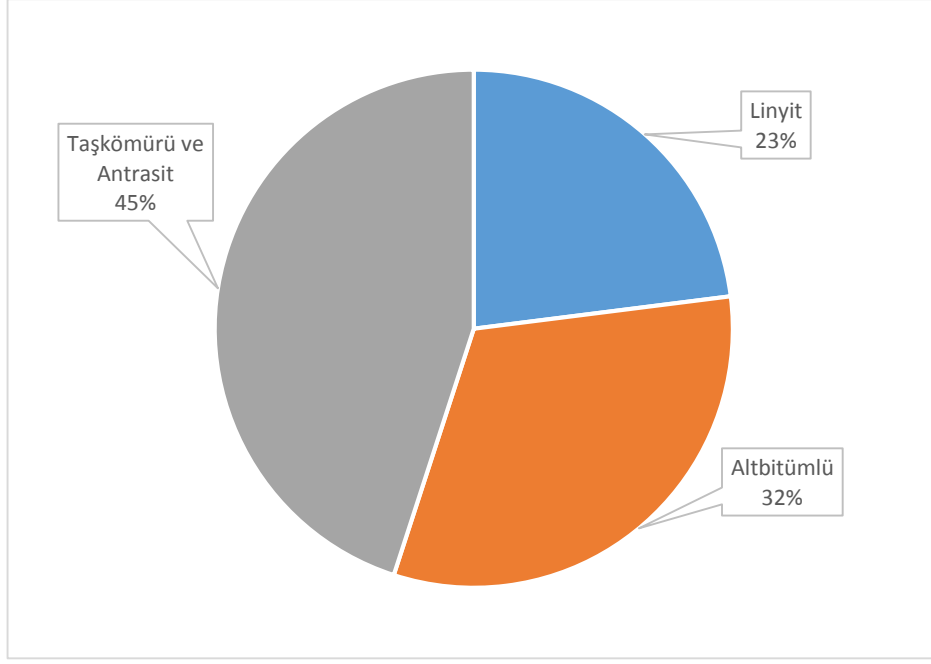
Turbalaşma aşamasındaki kömürün nem içeriği % 75'in üzerinde karbon içeriği % 60'ın altında kabul edilmektedir [8].

Dünyadaki kömür üretimi son 30 yıl içerisinde yaklaşık olarak 2 katına çıkmıştır [9]. 2003-2013 yılları arasındaki dünya kömür üretiminin değişimi Şekil 1.8'de verilmiştir. Dünyadaki kömür üretimi artmakla beraber kömür rezerv miktarı azalmamaktadır. Bunun nedeni, yeni rezervlerin bulunması ve muhtemel rezervlerin kesinleştirilmesi olarak yorumlanabilir. 1978 yılındaki dünya rezerv miktarı 634 milyar ton iken 2009 yılındaki rezerv miktarı 860 milyar ton olarak hesaplanmıştır [6].



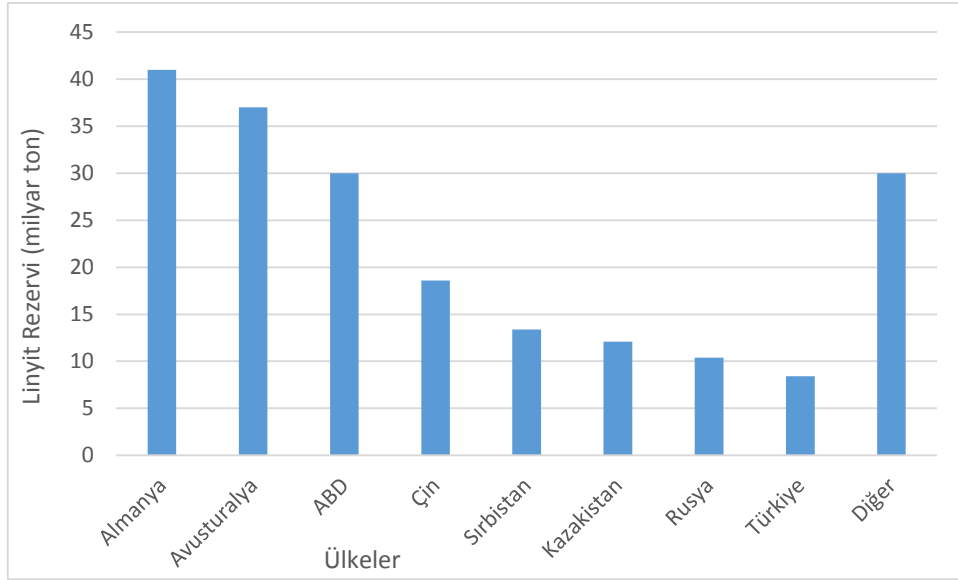
Şekil 1.8 Dünya kömür üretiminin yıllara göre değişimi [6]

Dünya kömür rezervlerinin kömür cinsine göre dağılımı Şekil 1.9'da verilmiştir. Toplam 891 milyar ton olan kömür rezervinin % 45'i (403 milyar ton) taşkömürü ve antrasitten oluşmaktadır. Linyitin toplam kömür rezervi içerisindeki payı ise % 23'tür (201 milyar ton).



Şekil 1.9 Dünya kömür rezervlerinin kömür sınıfına göre dağılımı [10]

Linyit rezervlerinin ülkelere göre dağılımı Şekil 1.10'da verilmiştir. Almanya dünya linyit rezervlerinin önemli bir kısmına (41 milyar ton) sahiptir. Türkiye 8.4 milyar ton gibi önemli bir linyit rezervine sahiptir.



Şekil 1.10 Dünya linyit rezervlerinin ülkelere göre dağılımı (2012) [10]

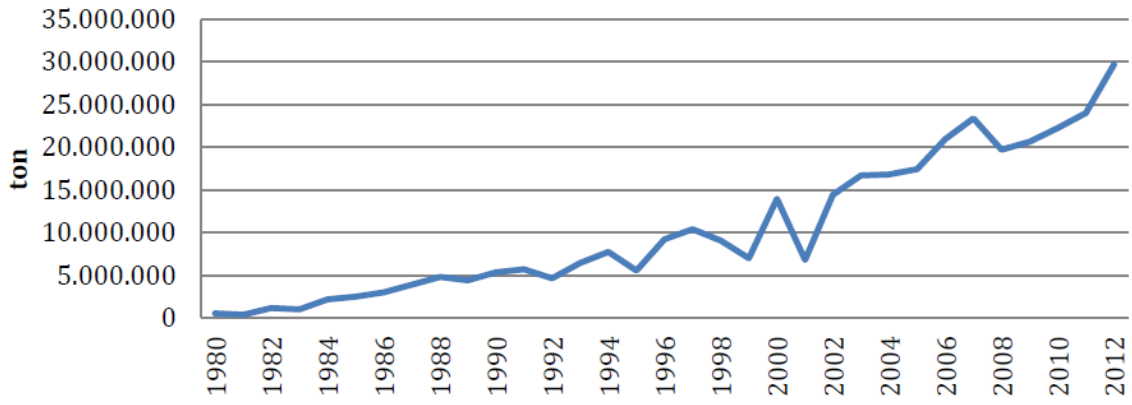
Kömürün elektrik üretimindeki payı bazı ülkeler için Şekil 1.11'de verilmiştir. Güney Afrika hemen hemen elektrik üretiminin tamamını kömür ile sağlamaktadır. Türkiye ise elektrik tüketiminin % 26.1'ini kömürden sağlamaktadır.

bulunmaktadır. Linyit rezervlerinin % 56'sı EÜAŞ, % 19'u TKİ, % 13'ü MTA'nın elinde bulunmaktadır [6].

Çizelge 1.3 Türkiye linyit rezervlerinin dağılımı (2013) [6]

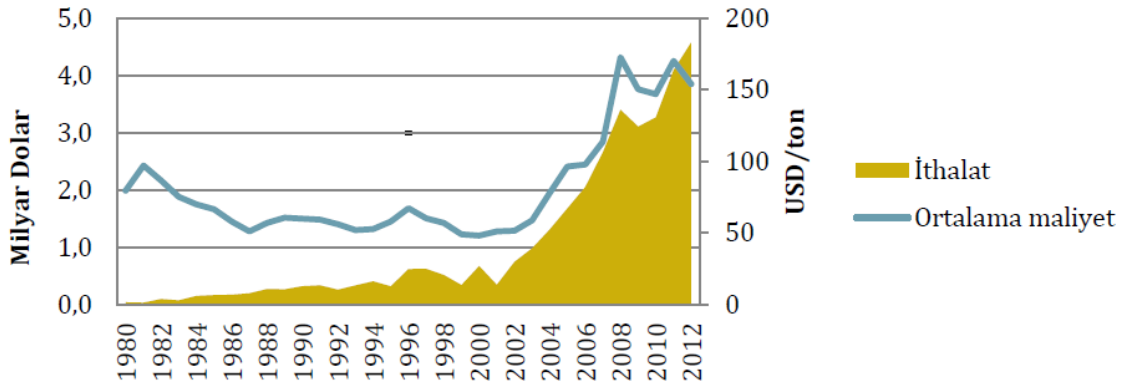
2013 TÜRKİYE, KAMU SEKTÖRÜ(EÜAŞ, TKİ, MTA) LİNYİT REZERVLERİ							
YERİ		REZERVLER(1000 Ton)				(AİD)	Kuruluşu
İL	İLÇE	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam	kcal/kg	
Adana	Tufanbeyli	323.329	-	-	323.329	1298	TKİ
Ankara	Beypazarı	250.222	105.000	-	355.222	2399-2839	EÜAŞ
Afyon	Dinar	912.429	-	-	912.429	1351	MTA
Bingöl	Karlıova	88.662	-	-	88.662	1460	TKİ
Bolu	Göynük	39.000	1.000	-	40.000	2340	TKİ
Bursa	Keles	29.672	-	-	29.672	1900	TKİ
Bursa	Davutlar	17.555	19.945	1.560	39.060	2340	TKİ
Bursa	Orhaneli	37.041	-	-	37.041	2500	TKİ
Çanakkale	Çan	74.195	-	-	74.195	3000	TKİ
Çorum	Alpağut	18.895	4.042	-	22.937	3150	TKİ
Çorum	Osmançık	6.575	7.430	-	14.005	1470	TKİ
Eskişehir	Alpu*	902.000	-	-	902.000	2100	MTA
İstanbul	Çatalca	228.457	51.772	-	280.229	1894-2086	EÜAŞ
Kırklareli	Vize*	135.045	884	-	135.929	1400-2300	MTA
K.Maraş	Elbistan***	4.341.550	-	-	4.341.550	1031-1201	EÜAŞ
K.Maraş	Elbistan	515.055	-	-	515.055	950-1115	EÜAŞ
Konya	Beyşehir	81.011	-	-	81.011	1110	TKİ
Konya	İlgin	19.400	974	-	20.374	2180	TKİ
Konya	Karapınar	1.832.816	-	-	1.832.816	1320	EÜAŞ
Kütahya	Seyitömer	169.940	-	-	169.940	1800-2080	EÜAŞ
Kütahya	Tavşanlı	261.557	-	-	261.557	2560	TKİ
Manisa	Soma	702.023	15.000	-	717.023	2080-3150	TKİ
Muğla	Milas**	249.576	-	-	249.576	1775-2279	TKİ
Muğla	Yatağan**	154.914	-	-	154.914	1903-2670	TKİ
Tekirdağ	Merkez	160.585	50.933	2.964	214.482	2183-2865	EÜAŞ
Tekirdağ	Saray	23.581	105.570	-	129.151	2080	TKİ
Sivas	Kangal	90.369	-	-	90.369	1207-1494	EÜAŞ
Diğer Kamu		169.171	36.180	-	205.351		
KAMU TOPLAMI		11.834.625	398.730	4.524	12.237.879		
ÖZEL SEKTÖR		1.235.956	336020	136081	1.708.057		
TÜRKİYE TOPLAMI		13.070.581	734.750	140.605	13.945.936		

Türkiye kömür ithalatının yıllara göre değişimi Şekil 1.13'de verilmiştir. İthal kömürlerin kullanım amacı elektrik üretimidir [9]. 2011-2012 yılları arasındaki ithal kömür miktarındaki artış % 24'dür [12]. 2012 yılındaki kömür ithalatındaki en önemli pay 9.9 milyon ton ile Rusya'dır. Rusya'yı Kolombiya (7.3 milyon ton), ABD (4.3 milyon ton), Güney Afrika (3.3 milyon ton), Avustralya (1.4 milyon ton) ve Ukrayna (1.3 milyon ton) izlemektedir [12].



Şekil 1.13 Türkiye kömür ithalatının yıllara göre değişimi [9]

Şekil 1.14'te kömür ithalatı ve kömür fiyatlarının değişimi görülmektedir. İthalatın artmasıyla beraber kömür fiyatlarında da ciddi bir artış söz konusudur. Fiyat ve ithalat miktarlarındaki artış Türkiye'nin enerji ithalatına ödenen paraların artmasına neden olmaktadır.



Şekil 1.14 Kömür ithalatı ve fiyatların yıllara göre değişimi [9]

Yerli enerji kaynakları içinde en büyük potansiyelin kömüre ait olması bu yakıtın Türkiye için önemini artırmaktadır. Özellikle ısıl değerinin düşük, kül ve nem oranının yüksek olması yerli kömürler için en büyük dezavantajdır. Türkiye yerli kömürlerinin yaklaşık % 70'inin ısıl değeri 1000-2000 kcal/kg aralığındadır [6]. En büyük linyit rezervinin bulunduğu Afşin-Elbistan bölgesindeki linyitlerin ısıl değeri 900-1250 kcal/kg aralığındadır [6]. Isıl değerinin düşük olmasının başlıca nedeni yerli kömürlerin içindeki kül ve nem oranının fazla olmasıdır. Türkiye kömür rezervlerine bakıldığında % 57'sinin nem oranının % 40'dan daha fazla, % 27'sinin nem oranının ise % 20-40 arasında olduğu görülmektedir. Sonuç olarak Türkiye'nin sahip olduğu linyit kömürleri oldukça yüksek nem içermektedir. Kömür içindeki nem oranının yüksek olması, kaynaktan

çıkartılmasından son kullanıcıya kadar olan süreçte oldukça fazla ve önemli sorunları beraberinde getirmektedir.

Yerli kömürlerin başlıca kullanım alanları şu şekildedir [6]:

- Elektrik üretimi
- Sanayi Sektörü
- Isınma Sektörü (Konut)

Türkiye’deki taşkömürü, linyit, asfaltit ve petrokokun sektörler bazındaki tüketimleri 2011-2012 yılları için Çizelge 1.4’te verilmiştir. Linyitlerin yarıdan fazlası elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Linyitler, 2011 yılında % 16, 2012 yılında ise % 20 oranında konut sektöründe ısınma amaçlı tüketilmiştir.

Çizelge 1.4 Taşkömürü, linyit, asfaltit ve petrokokun sektörler bazındaki tüketimleri [6]

SEKTÖRLER		Elektrik Santralleri		Sanayi*		Konut Sektörü*		Kok Fabrikaları		Toplam Arz		Artış %
Yıllar		2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	
Taşkömürü	B. Ton	10.150	11.854	4.105	4.141	6.773	9.919	5.201	5.362	26.228	31.460	20
	B. Tep	6.266	6.922	2.490	2.574	4.119	6.662	3.791	4.085	16.666	20.316	22
	B. Tep%	38	34	15	13	25	33	23	20	100	100	-
Linyit*	B. Ton	60.323	55.742	6.634	9.642	6.976	9.770	-	-	73.933	75.341	2
	B. Tep	10.781	10.023	3.044	3.521	2.596	3.317	-	-	16.420	16.915	3
	B. Tep%	66	59	19	21	16	20	-	-	100	100	-
Asfaltit	B. Ton	399	404	217	265	366	199	-	-	865	868	0,4
	B. Tep	217	219	87	144	146	108	-	-	404	471	17
	B. Tep%	48	47	19	31	32	23	-	-	100	100	-
Petrokok	B. Ton	-	-	2.620	3.696	-	-	-	-	2.620	3.696	41
	B. Tep	-	-	1.963	2.800	-	-	-	-	1.963	2.800	43
	B. Tep%	-	-	100	100	-	-	-	-	100	100	-

Yerli kömürlerin kalitesinin düşük olması nedeni ile büyük bir kısmı elektrik üretiminde kullanılmaktadır. 2011 yılında Türkiye kurulu gücünün 8140 MW_e ile % 15.4’lük kısmı kamuya ait kömür yakıtlı termik santrallere aittir. Yine aynı yılda 229395 GW_eh olan elektrik üretiminin % 17’si (38770 GW_eh) bu santrallerde üretilmiştir. 2012 yılında bu üretimi gerçekleştirmek için 56 milyon ton linyit ve 12 milyon ton taşkömürü harcanmıştır. Ayrıca, 12 milyon ton fuel oil ve 0.13 milyon ton motorin de yardımcı yakıt olarak kullanılmıştır.

Türkiye linyit yakıtlı santrallerinin, yıllık ortalama 7000 h/yıl çalışma süresi kabulü ile, mevcut kurulu gücün üretebileceği yıllık elektrik üretim potansiyeli 57000 GW_eh’dir. Fiili

Üretim değeri ile bu değer arasındaki fark 18000 GW_eh olup, potansiyelin % 32'sini oluşturmaktadır. retilmeyen bu enerji ise başta doğalgaz olmak üzere ithal yakıtlardan karşılandığından enerji ve cari açığı artırmaktadır. Kullanılmayan bu üretim potansiyelini karşılamak için yaklaşık 3.8 milyar m³ doğal gazın ithal edilmesi gerekmektedir. Bunun ekonomik değeri ise yaklaşık olarak 4 milyar TL dir. Ayrıca kullanılmayan üretim potansiyelini karşılamak için yeni santral kurulması gerekirse yaklaşık 2500 MW linyit yakıtlı santral için 4 milyar dolara yakın yatırım yapılması gerekmektedir. Sonuç olarak bakıldığında, linyit yakıtlı termik santrallerdeki üretim potansiyelinin tam ve verimli olarak kullanılmaması önemli miktarda ekonomik kayba ve yatırım ihtiyaının doğmasına sebep olmaktadır.

Linyit yakıtlı termik santrallerde, kömür kalitesinin düşüklüğü, sadece ünitenin işletilmesini değil, aynı zamanda termik verimini de olumsuz etkilemektedir. Kömür neminin yüksek olması, termik santrallerde kömürün stok sahasından taşınması ile başlayan ve kazanda yanıp atmosfere atılması ile son bulan bir dizi işlem sırasında birçok probleme sebep olmaktadır. Kömür neminin fazla olmasından kaynaklanan işletme sorunları aşağıda sıralanmıştır.

Yüksek nemli kömür, değirmen öncesinde bulunan bunkerlerde tıkanmalara neden olmaktadır. Bunkerlerden kömürün alınamaması ya da süreksiz alınması, kazanda alev kopmalarına neden olmaktadır. Kazanda alevin kopması, ya ünitenin devre dışı kalarak üretim kaybına neden olmakta ya da alev kopmasını önlemek için pahalı ve ithal yardımcı yakıt yakılması sonucunda elektrik üretim maliyetlerini artırmaktadır.

Nemin yüksek olması, kömürün öğütülebilirliğini düşürmektedir. Yüksek nemden dolayı değirmenlerin öğütme kapasiteleri düşmekte ve hatta bazı durumlarda devre dışı kalmaktadır. Değirmenlerin ğtme kapasitelerinin düşmesi ya da devre dışı kalması, doğrudan ünite kapasitesinin ve elektrik üretiminin düşmesine sebep olmaktadır.

Nemli kömür, değirmendeki öğütmeyi zorlaştırdığından değirmen arızalarına ya da değirmenin iki bakımı arasındaki sürenin kısalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle ünitelerde üretim kayıpları meydana gelmektedir.

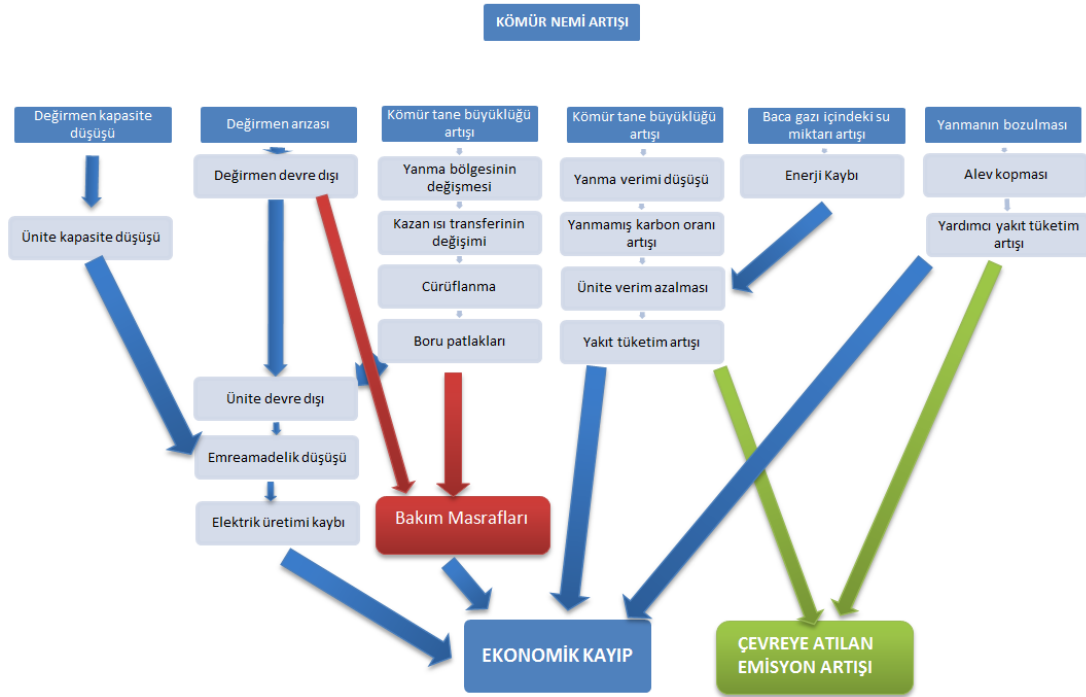
Kömür neminin yüksek olmasının değirmenlerdeki diğer bir olumsuz etkisi de, değirmenlerin öğütme karakteristiklerini etkileyerek, değirmen çıkışındaki kömür tane

boyutlarının büyümesine sebep olmasıdır. Kömür tane boyutlarının büyüyerek istenen dağılımın dışına çıkması ise yanma veriminde düşüşe, kazan içerisinde aşınmalara ve cürufanmaya sebebiyet vermektedir. Tane büyüklüğünün artması, separatörden geri beslenen kömür miktarını artırdığından değirmenin net kapasitesini düşürerek, kazan kapasitesinin düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca kömür tane boyutunun istenenden büyük olması yanmayı kötüleştirerek, kül içerisindeki yanmamış karbon oranını artırmakta ve ünite toplam verimini de düşürmektedir. Aynı şekilde kömür tane boyutunun büyümesi, kazan içerisindeki yanmanın yerini değiştirmekte ve ısı transferi yüzeylerinde cürufanmaya sebep olmaktadır. Cüruf, ısı transfer yüzeylerini kapladığında, kazanın ısı dengesi bozulmakta ve verim kayıpları oluşmaktadır. Cürufun artması ile ünite çalışamaz hale gelmekte ve cürufanmanın olduğu yüzeyleri temizlemek için uzun süreli ünite duruşları gerektiğinden de elektrik üretim kayıpları meydana gelmektedir. Ayrıca cürufanma boru patlaklarını artırmakta ve bu sebeple de ünite duruşlarına neden olmaktadır.

Mevcut termik santrallere ait tüm kazanlarda kömür kurutma uygulaması, kazandan alınan sıcak gazlar ile değirmen içinde yapılmaktadır. Ancak bu yöntemde kömürden elde edilen enerjinin bir miktarı kömürün içindeki suyun buharlaştırılmasına harcanmaktadır. Su buharı baca sıcaklığında (yaklaşık 160 °C) çevreye atıldığından, yakıt içindeki nemi buharlaştırmak için harcanan bu enerji kazanda geri kazanılamamaktadır. Bu nedenle bacadan çevreye atılan enerji, özellikle kömür neminin arttığı durumlarda, önemli miktarda enerji kaybına neden olduğundan kazan verimini düşürmektedir. Kazan veriminin düşmesi ise kazanda aynı miktarda buhar üretimi için daha fazla yakıt yakılması ve daha fazla emisyon anlamına geldiğinden hem ekonomik kayıplara neden olmakta hem de çevre kirliliğini artırmaktadır.

Kömür neminin yüksek olması, kazanın yanma sürekliliğini bozmakta ve bu durumu gidermek için fazla miktarda yardımcı yakıt (fuel-oil, motorin) tüketilmesine neden olmaktadır. Benzer durum, ünitenin kısmi yüklerinde de kömür nemine bağlı olarak meydana gelebilmektedir. Yardımcı yakıtlar ithal ve pahalı olduğu için üretim maliyetlerini artırmakla birlikte, temini ve depolanması ile santral işletilmesine de ilave yükler getirmektedir.

Kömür neminin yüksek olmasının sebep olduğu işletme problemleri, etkileri ve sonuçları arasındaki ilişkiler aşağıdaki şekilde özetlenmiştir (Şekil 1.15).



Şekil 1.15 Kömür nem artışının santraller üzerindeki etkileri

Yukarıda açıklandığı üzere, kömür yakıtlı termik santrallerde kömür neminin yüksek olması, kömür taşımada (bunker tıkanması vb.), değirmenlerde (öğütme kapasitesi düşüşü, tıkanma ve devre dışı kalma, bakım ihtiyacı ve süresinin artması, öğütme kalitesinin düşmesi vb.) ve kazanda (yanma süreksizliği, yanma bölgesinin değişmesi, cürüflanma, boru patlağı vb.) önemli işletme problemlerine sebep olmaktadır. Bu problemlerin sonucunda ya ünitenin kapasitesi düşmekte ya da ünite tamamen devre dışı kalarak üretim kayıpları oluşmakta, emre amadelik azalmakta, bakım ve işletme masrafları artmakta ve termik verim düşmektedir. Sonuç olarak elektrik üretim maliyetleri artmakta, hem gelir hem de kar azalmaktadır. Bu durum, bazen ülke elektrik arz güvenliğinde sıkıntılara neden olmaktadır. Ayrıca kazan ve ünite verimindeki azalma, aynı elektrik üretimi için yakılan kömür miktarını artırdığından, emisyonları da artırmaktadır.

Konut sektöründe ısıtma amacıyla tüketilen kömürlere bakıldığında zaman, 2012 yılında 10 milyon ton taşkömürü ve 10 milyon ton linyit tüketilmiştir. 2011 yılına bakıldığında ise 7

milyon ton taş kömürü ve 7 milyon ton linyit tüketilmiştir. 2011-2012 yılları arasındaki artış, taşkömürü ve linyit için sırasıyla % 47 ve % 40 olarak gerçekleşmiştir [6].

Görüleceği üzere, yerli linyit kömürleri hala ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Kömürün ısıtma amacıyla tüketilmesi kış aylarında hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Düşük kaliteli linyitlerin ısıtma amacıyla tercih edilmesinin en önemli nedeni ucuz olmasıdır. Ekonomik nedenler dolayısıyla, çoğunlukla bireysel ısıtma sistemleri yani sobalar tercih edilmektedir [13].

Santrallerdeki duruma benzer şekilde, kömürün kazan ve sobada verimli bir şekilde yakılabilmesi için karbon içeriği yüksek ve nem, uçucu, kükürt ve kül içeriği düşük kömürlerin tercih edilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, düşük kaliteli yerli linyitlerin ısıtma amacıyla doğrudan kullanılması verimsiz bir yanmayı beraberinde getirmektedir.

Soba ve kazan gibi yakma sistemleri genellikle taşkömürü ve kok kömürü için kullanılmaktadır [13]. Karbon ve uçucu gazların soba içerisinde aynı anda yakılması çok uygun değildir. Karbon oranı yüksek ve uçucu oranı düşük olan kömürlere göre tasarlanan sobalarda, tam tersi özelliklere sahip linyitlerin yakılması istendiğinde, uçucuların tam olarak yanması sağlanamamaktadır. Bunun sonucunda, yanma verimi azalmakta ve eksik yanma kaynaklı emisyon miktarı artmaktadır [14].

Bununla birlikte, yerli linyitlerdeki nem oranının yüksek olması yanma verimini düşürmektedir. Santrallerdeki durumun aynısı, linyitlerin ısıtma amacıyla yakılması durumunda da gerçekleşmektedir: Yüksek nemli linyitin yakılması durumunda oluşan ısı enerjisinin bir kısmı linyit içerisindeki nemin buharlaştırılması için harcanmaktadır. Kükürt içeriğinin fazla olması da çevresel açıdan önemli bir olumsuzluktur.

Isıtma amacıyla ve elektrik üretimi amacıyla tüketilen yerli linyitlerin verimli bir şekilde yakılması için yapılacak en önemli işlem kurutma yapmaktır. Ülkemizdeki durum incelendiğinde, yerli linyitlere kurutma işleminin henüz uygulanmadığı görülmüştür. Çok önemli olan bu konuda gerekli çalışmaların yapılması uygun olacaktır.

Bu çalışmanın amaçlarından biri de, yerli kömürün elektrik üretimi dışındaki (ısıtma amacıyla kullanımı) kullanımlarında; ısıl değerinin artırılması, taşıma maliyetlerinin azaltılması ve yanma veriminin yükseltilmesi için kömür kurutma prosesinin incelenmesi, analiz edilmesi ve uygulanması için ön tasarımların yapılmasıdır. Yerli linyitlerle ilgili

gerekli çalışmaların henüz yapılmamış olması bu çalışmanın en önemli gerekçelerindendir.

Isıtma amacıyla kullanılan yerli linyitlerin kurutulması ile daha verimli bir yanma sağlanacaktır. Kurutma sonucunda linyitin ısı değeri de artırılabilecektir. Yanmanın daha verimli olması sonucunda, aynı ısı yükünü karşılamak için tüketilmesi gereken linyit miktarı azalır. Bu sayede, emisyonlar ve atılan kül miktarı da azalır.

Isıtma amacıyla tüketilen linyitler ile ilgili mevzuat gereği bazı kısıtlar vardır. Kömür boyutlarının 18-150 mm aralığında olması gerekmektedir. Bu önemli bir kısıtlamadır. Kurutma ile ilgili literatüre bakıldığında, kurutulan ürün boyutlarının genellikle daha küçük olduğu görülür. Ürün boyutu aynı zamanda kurutma yönteminin seçiminde de önemli bir kriterdir. Tane boyutu arttıkça kurutma için gerekli süre artmakta ve tane boyut aralığı arttığında ise homojen kurutma yapmak zorlaşmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde 20-50 mm aralığındaki linyitler kullanılmıştır.

Bu boyut aralığındaki ürünlerin kurutulması için, literatürde yaygın olarak çalışılan akışkan yatak uygun olmadığından, sabit yatak kurutucu kullanılmıştır. Sabit yatak kurutucu deneylerinin bulguları kullanılarak bantlı kurutucu sisteminin tasarımı yapılabilir. Bantlı kömür kurutma sistemi ile yüksek kapasitelere ulaşılabilir.

Yerli linyitlerin kurutulmasını incelemek için Konya-İlgın linyiti seçilmiştir. Konya-İlgın linyiti yeni bir rezervdir ve şu ana kadar herhangi bir çalışmanın konusu olmamıştır. Konya-İlgın linyitinin kurutma karakteristiği gerekli deney seti tasarlanarak ve deneysel çalışmalar yapılarak incelenmiştir.

Kömür kurutma ile ilgili literatüre bakıldığında, sabit yatak kurutucu, bantlı kurutucu, büyük boyutlu kömürlerin kurutulması ve Konya-İlgın linyiti ile ilgili yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu tez, bu yönleriyle önemli sonuçları olan ve literatüre önemli katkılar sağlayacak bir çalışmadır.

1.1 Kömürün Yapısı ve Kurutma Teknolojileri

Bu bölümde, kömürün yapısı ile ilgili genel bilgiler literatür çalışmaları ile beraber verilmiştir. Ayrıca, dünyada kurutma amacıyla geliştirilen genel kurutma teknolojileri ve kömürün yapısına bağlı olarak geliştirilen kurutma teknolojileri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

1.1.1 Kömürün Yapısı ve Kurutmanın Etkileri

Kömür, dünyanın en önemli enerji kaynağıdır. Bunun başlıca nedenlerinden birisi tüm dünyaya diğer enerji kaynaklarının aksine dengeli bir şekilde dağılmış olmasıdır. Tüm ülkelerde az ya da çok kömür bulunmaktadır. Birçok kimyasal prosesin başlangıcında kullanılmasına ek olarak dünyadaki elektrik santrallerinin yaklaşık %40'ında yakıt olarak kömür kullanılmaktadır [15,16]. Elektrik ihtiyacının sürekli olarak artması ve kömür kullanımı ile ilgili uygulamaların artış göstermesi, kömürün önemini daha da artırmaktadır.

Kömür genel olarak, yüksek ve düşük kaliteli olmak üzere ikiye ayrılır. Bu sınıflandırma kömürün kömürleşme zamanı, ısı değeri, nem içeriği vb. özelliklerine bağlı olarak yapılmaktadır. Yüksek nem içeriği ve düşük ısı değeri ile birlikte yüksek kül oranı ve düşük karbon içeriği, düşük kaliteli kömür anlamına gelmektedir. Günümüzde düşük kaliteli kömürler daha çok elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Ancak, nem içeriği yüksek kömürlerin elektrik üretimi amacıyla kullanılması, yanma esnasında daha fazla enerji ihtiyacı, yüksek baca gazı debisi, yüksek taşıma maliyetleri, düşük tesis verimi vb. sorunları beraberinde getirmektedir [17].

Kurutma prosesi ile kömür parçacığına verilen ısı, kömür parçacığının ısıtılarak suyun buharlaşması ve su ile kömürü bir arada tutan fiziksel ve kimyasal bağ kuvvetini yenmek için gerekli olan enerjidir.

Kömür kurutma işlemi, ısı (buharlaştırma) ve mekanik (susuzlaştırma) yöntemlerle yapılabilir. Mekanik yöntemler filtreleme, sıkıştırma, çökeltme ve eleme olarak sıralanabilir. Isıl yöntemler, kömürün ihtiva ettiği nemin ısı yöntemlerle buharlaştırılması prensibine dayanır. Bu yöntemde ısı ve kütle transferi aynı anda gerçekleşmektedir. Yaygın olarak kullanılan kurutucular akışkan yatak, titreşimli yatak, flaş (pnömatik) ve döner tiptir [17].

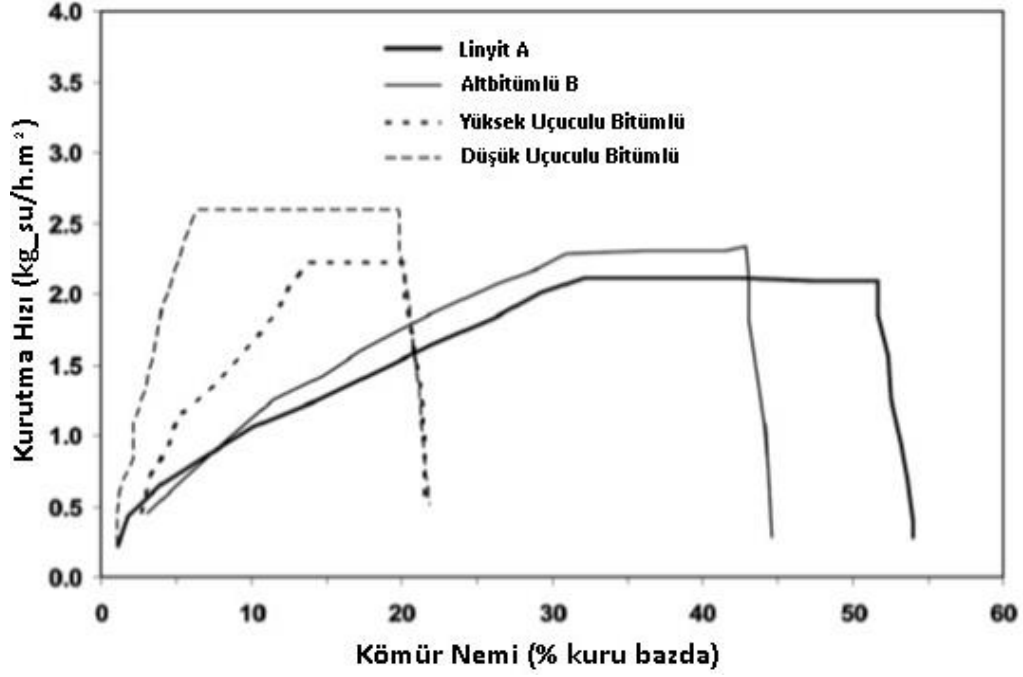
Kömürün ısı yöntemlerle kurutulmasında, kömürün yapısı, ihtiva ettiği nem miktarı, nemin kömür içerisindeki dağılımı, bağlanma şekli ve gözeneklilik yapısı etkin parametrelerdir. Kömür nemi, temel olarak iki ana başlık altında incelenebilir [18].

Yüzey Nemi (Surface Moisture): Kömür yüzeyinde ve yüzeydeki çatlaklarda/boşluklarda yer alan neme verilen isimdir. Ayrıca kömür taneleri arasında yer alan nem de yüzey nemi olarak kabul edilir.

Bünye Nemi (Internal Moisture): Adsorpsiyon ve kapiler kuvvetler gibi fiziksel kuvvetlerin etkisiyle kömürün gözeneklerinde ve kılcal çatlaklarda yer alan nemdir. Kömürün kimyasal yapısında bulunan nem de bünye nemi olarak kabul edilir.

Nemin yüzeyde ya da kömürün bünyesinde yer alma oranı, kurutmada uygulanacak yöntemi (akışkan yatak, tambur kurutucu vb.) ve yöntemin proses parametrelerini (sıcaklık, basınç vb.) belirlemektedir. Kurutma işleminde gerekli enerji miktarını, süre ve kapasiteyi belirleyebilmek için kömürde yer alan nemin özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Kömürleşme oranı arttıkça nem oranı azalmaktadır. Dolayısıyla linyitler yüksek nem içeriğine sahiptir. Bünye neminin çoğunluğu gözeneklerde yer almaktadır. Bu nedenle kömürün gözenekliliği ve gözenek boyutları kurutmada önemli parametrelerdir. Yapılan bir çalışmada, deney kömürü neminin % 20'sinin sıkı bir şekilde bağlı olduğu, geri kalan % 80'inin ise buharlaşma gizli ısısına yakın bir enerji ile buharlaştırılabileceği gösterilmiştir [19].

Başka bir çalışmada, 4 farklı kömür için kurutma eğrileri belirlenmiştir [20]. Kömür sınıfına ve kömür yapısına bağlı olarak kurutma karakteristiği şekilde görüldüğü gibi farklılık göstermektedir (Şekil 1.16). Ayrıca kömürlerin denge nem içeriği de farklı olarak belirlenmiştir.



Şekil 1.16 Farklı kömürler için kurutma hızı eğrileri¹ [20]

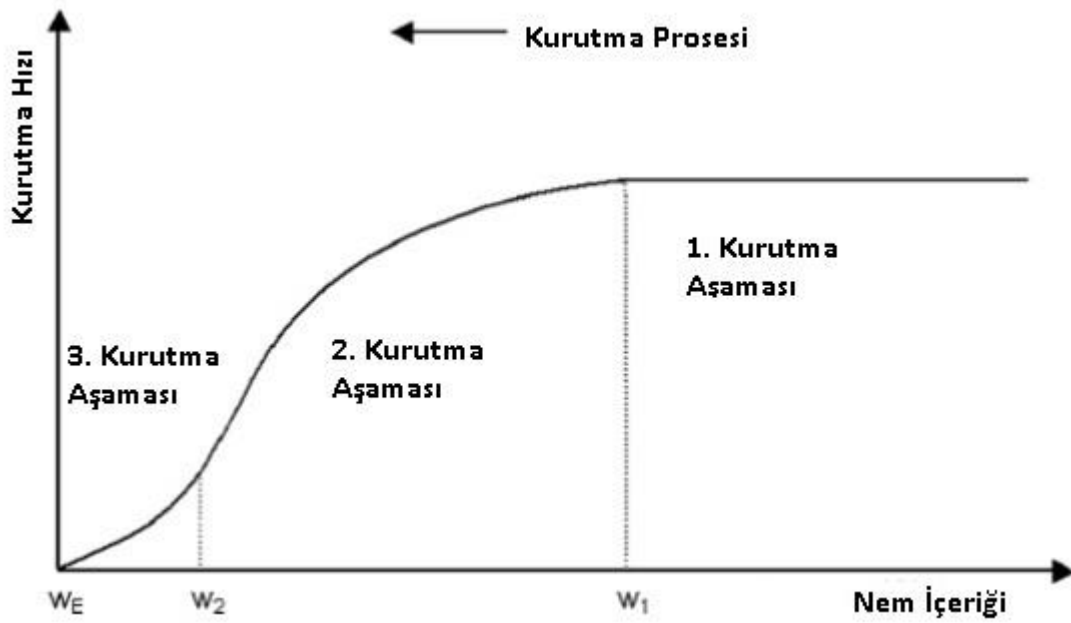
Bitümlü ve yıkanmış bitümlü kömürler çoğunlukla yüzey nemi içerir. Dolayısıyla, bitümlü kömürlerin ısı yöntemlerle kurutulmasında kömür yüzey nemini buharlaştıracak sıcaklığa kadar ısıtılması gerekmektedir; bu nedenle de kömür parçacığının iç kısımlarının ısıtılmasına gerek yoktur [21].

Linyit gibi düşük kaliteli kömürlerdeki nemin çoğu küçük kılcal çatlaklar ve gözeneklere kapiler kuvvetlerle sıkıca bağlıdır. Kimyasal bağlı nem, kömür ve su arasındaki kimyasal bağlar tarafından tutulur. Düşük kaliteli kömürlerin ısı yöntemlerle kurutulmasında kömür parçacığının tamamının ısıtılması gerekmektedir ve fiziksel olarak bağlı iç nemi buharlaştırmak için yeterli sıcaklığa kadar ısıtılması gerekmektedir [22,23]. Yüzeydeki serbest nem suyun buharlaşma entalpisi kadar bir enerji ile buharlaştırılabilirken, kılcallardaki nemin buharlaşması için daha büyük bir ısı enerjisi gerekmektedir.

Kurutma prosesi, genellikle 3 aşamaya ayrılarak incelenmektedir [24,25] (Şekil 1.17). Birinci aşamada, sabit bir kurutma hızı ile yüzeye yapışık (adhesion) nem ile yüzeydeki çatlaklarda ve kömür parçacıkları arasında yer alan nem buharlaştırılmaktadır. Bu

¹ Türkçeleştirilerek düzenlenmiştir.

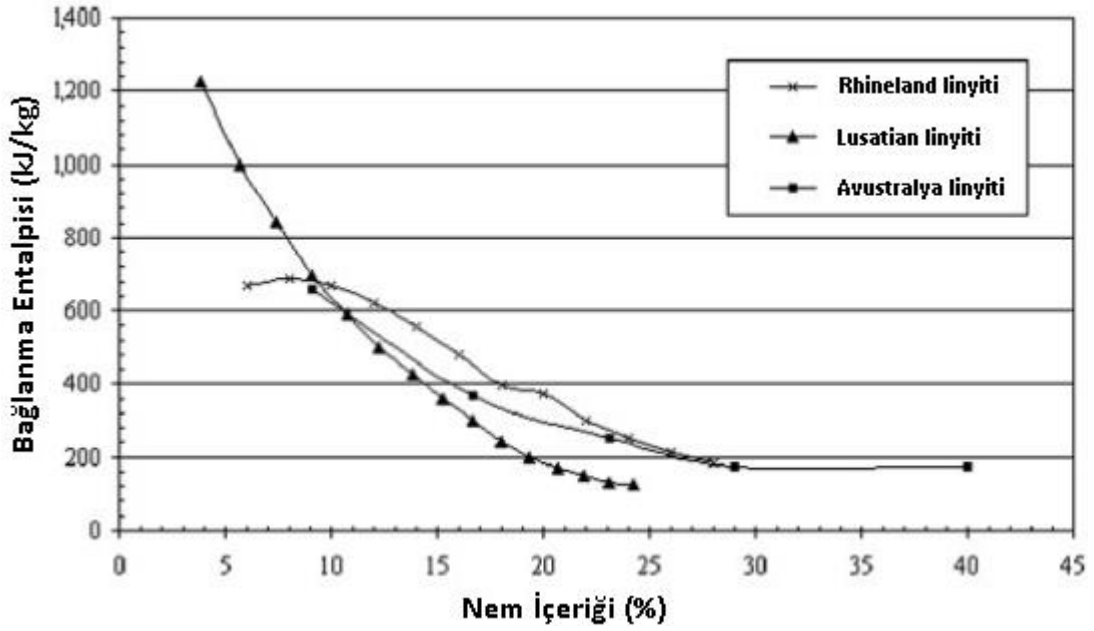
aşamadaki nemin buharlaşması için gerekli enerji suyun buharlaşma enerjisine denktir. Bu aşamada bir miktar boyut küçülmesinden (büzülme) bahsedilebilir [26]. İkinci aşamada, bünye nemi buharlaşmaya başladığı için kurutma hızı azalmaktadır. Bunun nedeni bünye neminin adsorpsiyon ve kapiler kuvvetlerin etkisinde olmasıdır. Bünye neminin önemli bir kısmı bu fazda buharlaştırılmaktadır. Üçüncü aşamada ise, kömür nemi denge nemine ulaşınca kadar kurutulur. Bu fazda küçük gözenek ve kılcal çatlaklardaki nem buharlaştırılmaktadır. Dolayısıyla kurutma hızı sıfıra doğru yaklaşmaktadır.



Şekil 1.17 Linyit nem içeriği ile kurutma hızı değişimi² [25]

Nemin kömürle olan bağının kopartılması için gerekli enerjinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalardan çıkan sonuç Şekil 1.18'deki gibi elde edilmiştir [27–29]. Şekilden de görüldüğü üzere, nem oranının % 30'un altına düşmesiyle bağ enerjisi önemli miktarda artış göstermektedir.

² Türkçeleştirilerek düzenlenmiştir.



Şekil 1.18 Farklı linyitler için neminin bağ enerjisi³ [27–29]

Kömür kurutma işleminde yüksek sıcaklıklara çıkmak, kömürün kendiliğinden yanması ve uçucularının kaybolması problemlerinden dolayı uygun değildir. Kömürdeki uçucuların kurutma sırasında kaybedilmesi de önemli bir problemdir [17]. Bu problemlerden dolayı kömür kurutmada, kurutucu akışkan ile kömürün doğrudan temasının olmadığı, düşük sıcaklıkta kurutma ve buhar ile kurutma yöntemleri öne çıkmaktadır.

Mevcut elektrik üretim sistemlerinde kullanılan konvansiyonel buharlaştırmalı kurutucularda genellikle kurutucu akışkan hava ya da yanma gazlarıdır. Kurutucu giriş sıcaklığı 700-900 °C iken çıkış sıcaklığı da 60-120 °C'dir [15].

Linyitin kullanıldığı bütün uygulamalarda (gazlaştırma, birikitleme, koklaştırma vb.) ön işlem olarak kurutma yapmak gerekmektedir [15]. Düşük kaliteli kömürler reaktif bir yapıya sahip olduğu için kendiliğinden yanma riski vardır [30]. Kömürün tanecik boyutu ve sıcaklığı, kendiliğinden yanmayı etkileyen en önemli parametrelerdir. Dolayısıyla kömür kurutma işlemi yapılırken, kömürün kendiliğinden yanma riski de dikkate alınmalıdır.

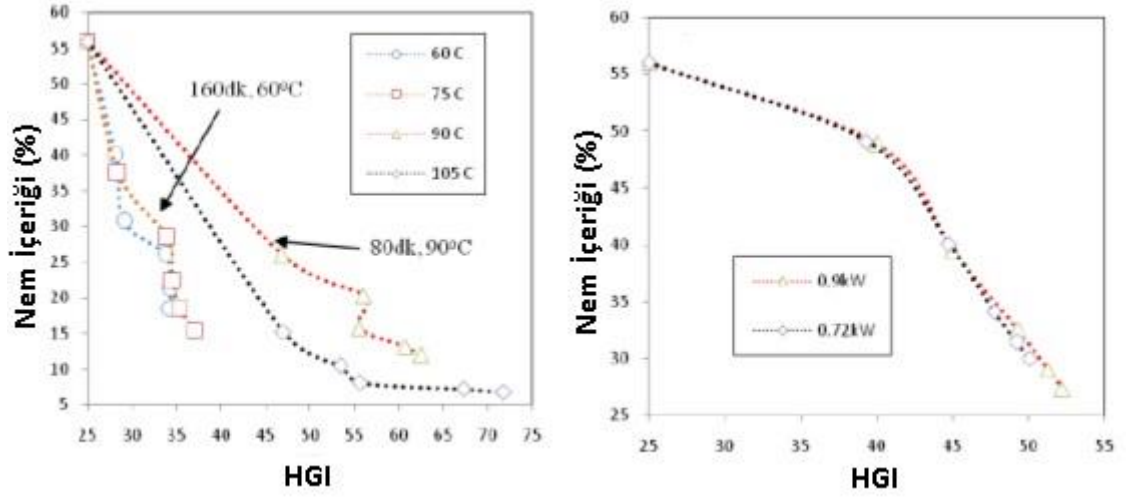
³ Türkçeleştirilerek düzenlenmiştir.

Kömürün oksitlenmesini önlemek için kurutma akışkanı olarak inert akışkanlar (hava ayrıştırma ünitesinden azot ya da düşük basınçlı CO₂) kullanılabilir [31]. Bu durum, kendiliğinden yanmaya karşı çok duyarlı ve eğilimli olan özellikle Avrupa linyitleri için önemlidir. Muhtemelen buharı kurutma akışkanı olarak kullanan Avrupa'daki kurutucu tasarımlarının nedeni budur. İnert gaz atmosferi kurutucu akışkanın kesildiği durumlarda kendiliğinden yanma ve tekrar nem almayı önler.

Akışkan yatak kurutma koşulları altında, azalan parçacık boyutu kurutucu akışkandan parçacığa ve parçacıktan parçacığa ısı transferini geliştirir [32]. Parçacık çapının azalması iç ısı transfer direncinin azlığı anlamına gelir. Parçacık çapındaki azalma beraberinde ısı ve kütle transfer alanının artışı getirir, bu da kurutma hızını azaltır [33].

Kim ve arkadaşları Japonya'daki Loy Yang kömürleri içerisindeki suyun sınıflandırılması için 2 kimyasal yöntem kullanmışlardır [34]. Bu yöntemlerin kullanılmasındaki amaç, başka bir çalışmada da belirtildiği gibi [19] kömür neminin çoğunlukla kömürün 105 °C'de kurutulması ile belirlendiğinde kömür içerisindeki fonksiyonel grupların ayrışması ile ortaya çıkan su buharının da dâhil edilmesi durumunu ortadan kaldırmaktır. Kullanılan kimyasal yöntemler kurutma ile ortaya çıkan su buharının sınıflandırılmasını (kimyasal/fiziksel bağlı) sağlayacaktır. Öncelikle kömürdeki nemi bağlı ve bağıl nem olarak ikiye ayrılmıştır. Daha sonra, bağıl nemi yüzey nemi ve kapiler kanallardaki nem, bağıl nemi ise tek ve çok katmanlı bağıl su olarak sınıflandırmışlardır.

Diğer bir çalışmada, konvansiyonel ve mikrodalga kurutmanın Afşin-Elbistan linyitlerinin öğütülebilirliğine etkisi incelenmiştir [35] (Şekil 1.19). Mikrodalga kurutmanın konvansiyonel kurutmaya göre 4-10 kat daha hızlı olduğu belirtilmiştir. Öğütülebilirlik analizi için Hardgrove öğütülebilirlik test cihazı ile bilyalı değirmen öğütücü kullanılmıştır. Konvansiyonel kurutma deneyleri için sıcaklık artışı ayarlanabilen bir fırın kullanılırken, mikrodalga kurutma deneylerinde gücü ayarlanabilen bir fırın kullanılmıştır. Mikrodalga kurutma yöntemi ile kısa sürede (örneğin 20 dakika) daha yüksek oranda öğütülebilirlik artışı sağlanabilmektedir. Ancak, konvansiyonel kurutma yönteminde yeteri kadar süre (örneğin 240 dakika) verilirse öğütülebilirlik artışı daha yüksek seviyelere çıkabilmektedir.



Şekil 1.19 Öğütülebilirlik nem içeriği ilişkisi⁴ [35]

Kömürün öğütülebilirliğinin farklı parametrelere bağlı olarak tahmini üzerine birçok çalışma mevcuttur [36–42]. Khoshjavan ve arkadaşları Hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) değerinin kömürün kimyasal yapısına bağlı olarak yapay sinir ağı ve çok değişkenli regresyon yöntemleri ile hesaplanması üzerine çalışmışlar [36]. Çalışmanın sonucunda, regresyon yöntemi ile korelasyon katsayısını 0.76, yapay sinir ağı yöntemi ile ise eğitim aşamasında 0.96, test aşamasında 0.82 olarak elde etmişlerdir. Sengupta, regresyon yöntemi ile kaba (proximate) analiz parametrelerini kullanarak 0.93 korelasyon katsayısı değerine sahip bir denklem elde etmiştir [37].

Delibalta ve Toraman mikrodalgaya maruz kalan Çayırhan (Ankara) linyitinin öğütülebilirliğine etkisini incelemişlerdir [43]. Farklı güç ve sürelerde mikrodalgaya maruz kalan linyitlerin öğütülebilirliklerinin önemli oranda arttığı görülmüştür. Düşük kaliteli kömürlerin yüksek nem içeriğine sahip olmalarından dolayı mikrodalga enerji nedeniyle kömür gözeneklerindeki nemin buharlaşmasıyla gözenek sayıları artmakta ve gözenek boyutları büyümektedir. Bunun sonucu olarak da öğütülebilirliğin arttığı söylenmektedir.

Kömürlerin yapısındaki gözenekler temel olarak mikro ve makro gözenekler olmak üzere 2 sınıfta incelenebilir [44]. Gözenek çapları 2 nm'nin altında olduğunda mikro gözenek olarak isimlendirilirler. ASTM standartlarına göre ise gözenekler mikropor, mezopor ve

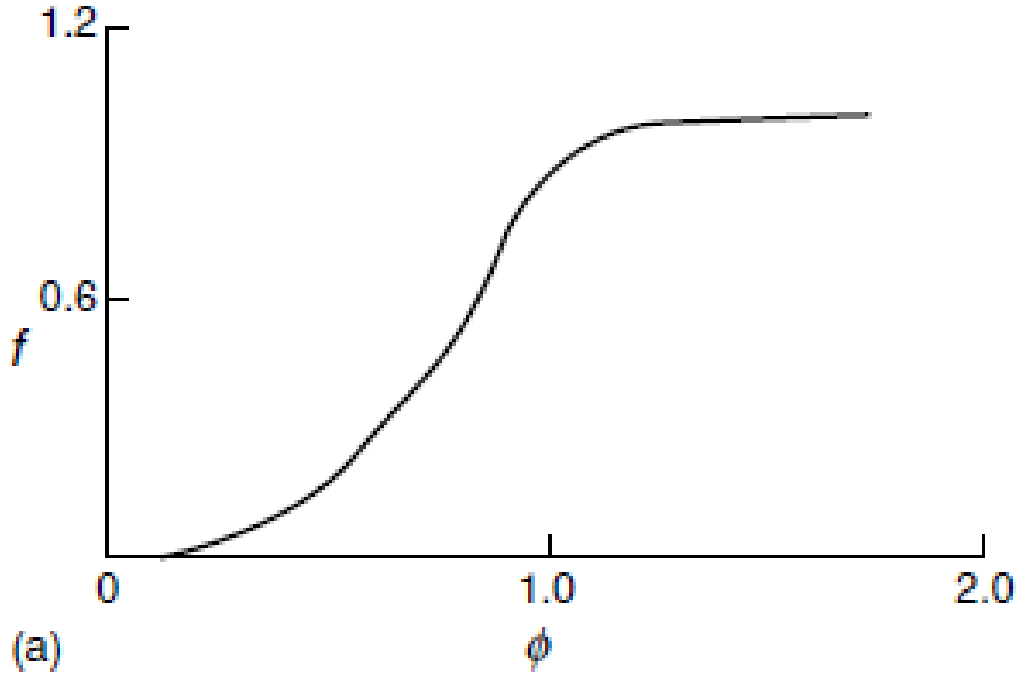
⁴ Türkçeleştirilerek düzenlenmiştir.

makropor olmak üzere 3 sınıfa ayrılır [45]. Düşük kalitedeki kömürlerde makro gözenekler etkindir.

Gözenekli maddelerdeki gözenek çapları kurutma için önemli bir parametredir. Gözenek çapının 0.1 mikronun altında olması durumunda gözenek içerisindeki nemin sahip olduğu buhar basıncı düz bir yüzey üzerindeki % 1 daha azdır [46]. Dolayısıyla, kurutulacak maddenin gözenek boyutları kurutma prosesinin anlaşılabilmesi için önemli bir parametredir. Maddelerin gözenekliliği ve nem içeriği ısı iletkenliği de etkilemektedir [46].

1.1.2 Kurutmanın Modellenmesi ve Kurutma Teknolojileri

Kurutmanın en temel kavramlarından biriside kurutma karakteristiğidir. Kurutma karakteristiği eğrisi kurutma hızı ile ürün nemi arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir [47] (Şekil 1.20). Grafikteki yatay eksen boyutsuz (ϕ) boyutsuz karakteristik nem içeriği, dikey eksen (f) boyutsuz kurutma hızıdır.



Şekil 1.20 Karakteristik kurutma eğrisi [47]

Kurutma kinetiği, ürün neminin zamana bağlı değişimini ifade etmektedir. İnce tabaka kurutma modellerinde kullanılmaktadır.

Kurutma, ısı ve kütle transferinin beraber gerçekleştiği kompleks bir prosestir [48,49]. Kurutmanın doğru bir şekilde modellenenebilmesi için kurutma sırasında gerçekleşen ısı ve kütle transferi mekanizmalarının iyi bir şekilde anlaşılması gerekmektedir. Kurutmanın bazı anlarında ısı transferi etkin ya da kütle transferi etkin olurken bazı aşamalarında iki mekanizma da beraber etkili olabilmektedir.

Literatür incelendiğinde, birçok kurutma modelinin birçok farklı ürün için kullanıldığı görülmüştür. Bunlardan bazıları kompleks iken bazıları da basit kullanıma sahiptir. Uygun kurutucu tasarımı çoğunlukla deneysel çalışmalarla belirlenen kurutma eğrilerine bağlıdır [50]. Dolayısıyla, kurutucu tasarımı için kurutma modellerinin kullanılması standart bir uygulamadır.

Woo ve arkadaşları, gözenekli parçacıkların kızgın buharda kurutulması için bir model geliştirmişler [51]. Literatürdeki deneysel seramik kurutma verilerini kullanarak, farklı buhar kızgınlık dereceleri ve bağıl hızlar için temel eğri (master curve) kurutma karakteristikleri elde edilmiştir. Deneysel bulgular ile temel eğri yöntemlerinin benzerlik gösterdiği gösterilmiştir. Çalışmanın teorik kısmı küçülen çekirdek modeline dayanmaktadır. Sadece azalan kurutma hızı periyodunun tahmin edilmesi amaçlanmaktadır, dolayısıyla ısıtma periyodu dikkate alınmamaktadır.

Hasatani ve arkadaşları, granül yapılı (kömür, silika kumu ve tuğla) malzemelerin hibrit (konveksiyon ve ışınlam) yöntem ile kurutulmasını incelemişler [52]. Deneysel çalışmalarla elde edilen bulguları geliştirilen teorik yöntemin sonuçları ile karşılaştırmışlar ve sonuçların benzerlik gösterdiğini göstermişlerdir.

Bir diğer çalışmada, kızgın buharlı kurutma prosesinin azalan kurutma hızı periyodundaki kurutma hızının tahmini üzerine çalışılmıştır [53]. İlk aşama olan buharın alçıtaşı üzerindeki yoğuşması (numunenin kısa sürede ısınmasını sağlamaktadır) çok kısa sürmesinden dolayı dikkate alınmamıştır. Buhar sıcaklığının buhar hızından daha etkin bir parametre olduğu belirlenmiştir. Azalan kurutma periyodundaki kurutma hızının tahmininde numune yüzey sıcaklığının doğru bir şekilde bilinmesi gerekmektedir.

Schlünder, hâlihazırda gözenekli cisimlerin kurutulmasının incelenmesinde kullanılmakta olan nemli küçülen çekirdek modelinin çok fazlı kütle transferinin temel

yasalarına ve deneysel bulgulara uygun olmadığını göstermiştir [54]. Ayrıca, modelin eksik taraflarının bertaraf edildiği yeni bir modeli (ıslak yüzey modeli) de önermiştir.

Chou ve arkadaşları nemli küçülen çekirdek modeli için ıslak/kuru yüzeyin ilerleme hızı konusunda çalışmışlar [55]. Yaptıkları deneysel çalışmalarda patates tabakası içerisine yerleştirdikleri sıcaklık sensörleri ile kurutma esnasındaki sıcaklık dağılımları belirlenmiştir. Islak/kuru yüzeyin yüzeyden merkeze doğru ilerlemesi üzerindeki kurutucu hava sıcaklığı ve hızı ve kurutmaya dik yüzey alanının etkileri incelenmiştir. Bu parametrelerin önemli olduğu sonuçlarla gösterilmiştir.

Luikov gözenekli cisimdeki sıcaklık, nem ve basınç dağılımlarını açıklayabilmek için termodinamikteki tersinmezlikleri kullanmıştır [56,57]. Bu yaklaşımda, gözenekli cisimdeki ısı ve kütle transferi denklemlerinin katsayılarını belirlemek çok zordur. Bazı katsayılar fiziksel büyüklük değildir ve proses değişkenleridir.

Whitaker gözenekli cisimdeki akışı ve ısı transferini sürekli ortam teorisine göre ortalama hacim tekniği ile açıklamıştır [58]. Elde edilen denklemler Luikov'unakilere benzemekle beraber katsayıları belirlemek çok daha kolaydır. Ancak bu yaklaşım da çözümü zor çok fazla lineer olmayan denklemi içermektedir.

Zhang ve arkadaşları gözenekli cisimlerin konveksiyonla kurutulması için matematiksel bir model geliştirmişlerdir [59]. Geliştirdikleri model sürekli ortam teorisine dayanmaktadır ve ortalama hacim tekniğini [58] kullanmaktadır. Ayrıca, iteratif bir sayısal çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Literatürdeki tuğla kurutma ile ilgili sonuçlarla geliştirilen teorik modelin sonuçlarının diğer modellere göre daha doğru sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Bir diğer çalışmada, deneysel bulguları kullanarak efektif nem difüzyon katsayısının tahmini yapılmıştır [60]. 2 basit 2 detaylı olmak üzere 4 yöntem değerlendirilmiştir. 3 farklı gıda ürünü için deneyler yapılmıştır. Analiz sonuçları arasında önemli farklar olduğu belirlenmiştir.

Hager ve arkadaşları gözenekli seramiğin tek tanecik olarak buhar ortamında kurutulmasını incelemişlerdir [61]. Deneylerdeki seramik taneleri küresel şekilde ve 10 mm çapındadır. Geliştirdikleri matematiksel modeldeki etkin parametreler nem, sıcaklık

ve basınç gradyenleridir. Deneysel bulgularla geliştirilen model sonuçları benzerlik göstermiştir.

Wang ve arkadaşları literatürdeki gözenekli cisimlerin kurutulması ile ilgili matematiksel modelleri kullanarak genel bir model oluşturmayı amaçlamışlardır [62]. Oluşturdukları genel modeli spesifik kurutma uygulamalarında (düşük yoğunlukta konvektif kurutma, sabit yatak kurutma, akışkan yatak kurutma ve mikrodalga destekli/desteksiz dondurarak kurutma) denemişler. Teorik çalışmalarla elde ettikleri sonuçları deneysel çalışmalarla doğrulamışlardır.

Literatür incelendiğinde, kurutmanın modellenebilmesi için birçok farklı durumu değerlendirme olanağı sunan tek bir kurutma modelinin hala ortaya çıkarılamadığı görülebilir [62]. Kurutmanın modellenmesinde kullanılan detaylı teorik modellerin gözenekliliği daha detaylı bir şekilde modele entegre etmeleri ile beraber gözeneklilik esaslı modeller ortaya çıkmıştır.

Gözenek yapısını değerlendirirken kullanılan 2 yöntem vardır [63]. (1) Gözenekli cisim için rastgele bir tipik eleman hacmi seçilerek mikro ölçekteki gözenek yapısı da dikkate alınarak ortalama hacimsel denklem sistemlerinin çözümüyle kurutma modellenabilmektedir. Bu yaklaşımda cisim sürekli varsayılmaktadır ve çözüm Whitekar yöntemi ile geliştirilebilmektedir. (2) İkinci yaklaşımda, gözenek ağı yöntemi kullanılarak cismin tamamı değerlendirilmektedir. Cismin gerçek gözenek yapısını kullanarak bu yöntemler çözüm sağlanabilmektedir. Gözenek ağı yönteminde cisim süreksiz kabul edilmektedir. Gözenek yapısı esaslı modellerin kullanıldığı çalışmalardan bazıları şu şekildedir: [64–69].

Gözenek yapısı esaslı modellerde hala tam olarak çözülemeyen ve kurutma prosesini tam olarak açıklamakta yetersiz olan bölümler vardır ve literatürde bu konular üzerindeki çalışmalar sürdürülmektedir [63].

Prachayawarakorn ve arkadaşları, rastgele bir düzende gözenek ağına sahip (cismin ölçülen gözenekliliğiyle aynı) cisimlerin kurutulmasını incelemişlerdir [70]. Gözenek çap dağılımının ve gözenek dağılımının etkisi teorik olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular şu şekildedir:

- Aynı ortalama gözenek çapı için, çap dağılımının standart sapması arttıkça nem miktarındaki azalma düşmektedir.
- Farklı gözenek çap dağılımları için, bütün gözeneklerin aynı çapta olduğu durumda kurutma daha kısa sürede gerçekleşmektedir.
- Gözeneklerin farklı mimarilerde dağılması durumunda ise küçük gözeneklerin iç kısımlarda büyük gözeneklerin ise dış kısımlarda bulunduğu mimari en hızlı kurutmanın olduğu durum olarak belirlenmiştir.

Literatürdeki kurutma modelleri genel olarak değerlendirildiğinde, ince tabaka kurutma modellerinin birçok farklı ürün ve kurutma prosesinde başarıyla uygulandığı görülmüştür. İnce tabaka kurutma modellerinin kullanımı kolay ve sonuçları oldukça başarılıdır [71].

Linyit kılcal gözenekli madde olarak bilinmektedir. Kılcal damarları elastiktir ve elastisitesine göre su alarak şişebilmektedir. Kömür içerisindeki nem yüzey ve iç nem olarak ikiye ayrılır. Nemin bağlanma şekli kurutma için gerekli enerji ve uygulanması gereken uygun yöntemin belirlenmesinde önemli bir etkidir [24].

Linyiti kurutmak için gerekli enerji: linyitin ısıtılması, nemin buharlaşması, ısı kayıpları ve nemi kömüre bağlayan fiziksel ve kimyasal bağların koparılması için gerekli enerjilerin toplamına eşittir. Verilen enerji şunlara bağlıdır: nem miktarı, linyitin yapısı (gözeneklerin sayısı, genişliği, dağılımı ve uzunluğu) ve kurutma basıncı [24].

Kömür kurutma prosesleri için birçok farklı kurutma yöntemi kullanılmıştır. Bunlardan bazıları akışkan yatak kurutucu, sabit yatak kurutucu, döner kurutucu, flaş kurutucu, mikrodalga kurutucudur. Sabit yatak kurutucular birçok organik ve inorganik ürünün kurutulmasında kullanılmaktadır [72,73]. Sabit yatak kurutucu deneylerinin bulguları bantlı kurutucu tasarımında doğrudan kullanılabilir. Sabit yatak kurutucuların maliyeti düşüktür ve konstrüksiyonu kolaydır [74]. Bununla birlikte, uzun kurutma süreleri ve homojen olmayan kurutucu çıkışı sabit yatak kurutucunun dezavantajıdır [75].

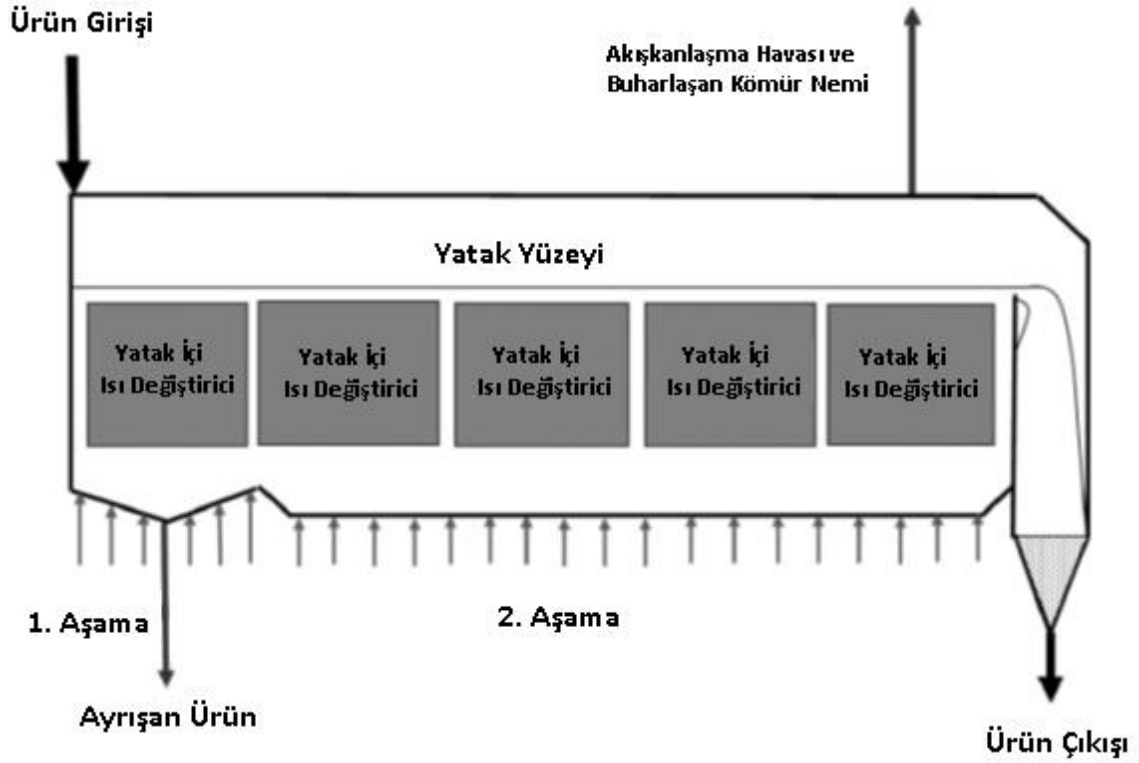
1.2 Literatür Özeti

Bu tez kapsamında, kömürün kurutulması konusunda yapılan çalışmalar incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Komatina ve arkadaşları tek bir kömür tanesinin akışkan yataklı yakıcıdaki kurumasını teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir [76]. Nemli küçülen çekirdek yöntemini kullanarak bir yöntem geliştirmişler ve yapılan deney bulguları ile teorik sonuçları karşılaştırmışlar. Kuruma esnasında kömürün şeklinin ve çapının değişmediği, aynı zamanda kömürün parçalanmadığı ve bölünmediği kabul edilmiştir. Nem ve kütlenin parçacıkta düzgün dağıldığı kabul edilmiştir. Kömür ısı özelliklerinin sıcaklığa bağlı değişimi dikkate alınmıştır. Analizler yanma öncesi olduğu için sıcaklıklar 800 °C'lere kadar çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, yakılacak kömür parçacığının kuruma periyodundaki sıcaklık dağılımının ve kuruma zamanının tahmin edilmesini sağlayacak modelin sunulmasıdır. Model sonuçları ile deneysel bulgular uyum sağlamıştır. Bu modelin genel olarak kömürün kurutulmasının matematiksel olarak açıklanmasında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Agarwal ve arkadaşları, düşük kaliteli kömürlerin akışkan yataklı yakıcıda yakma işlemi sırasındaki nemin ve uçucuların uzaklaşmasının analizini deneysel ve teorik olarak gerçekleştirmişlerdir [77]. Nemli küçülen çekirdek yöntemini kullanarak bir yöntem geliştirmişler ve yapılan deney bulguları ile teorik sonuçları karşılaştırmışlar. Model ve deney sonuçlarının benzerlik gösterdiği ve bu modelin genel olarak kömürün kurutulması ve uçucuların uzaklaştırılması proseslerinin açıklanmasında kullanılabileceği belirtilmiştir.

Bir diğer çalışmada, düşük kaliteli kömürlerin iyileştirilmesi amacıyla, nem içeriğini azaltmak için yeni bir akışkan yatak kurutma prosesi geliştirilmiş ve aynı zamanda yoğunlukla ayrıştırma yöntemiyle sülfür ve cıva miktarı azaltılmıştır [78,79] (Şekil 1.21). Yüksek nemli kömürlerin yakıldığı santrallerde yüksek nem içeriğinden dolayı termik verimin, kazandaki enerjinin önemli bir kısmının kömür nemini buharlaştırmak için harcanmasından dolayı düştüğü (kuzey Amerika kömürü için yaklaşık % 7) belirtilmiştir. Bu sistem kömürün kendiliğinden yanmasını engellemek için düşük sıcaklıklara göre tasarlanmıştır.



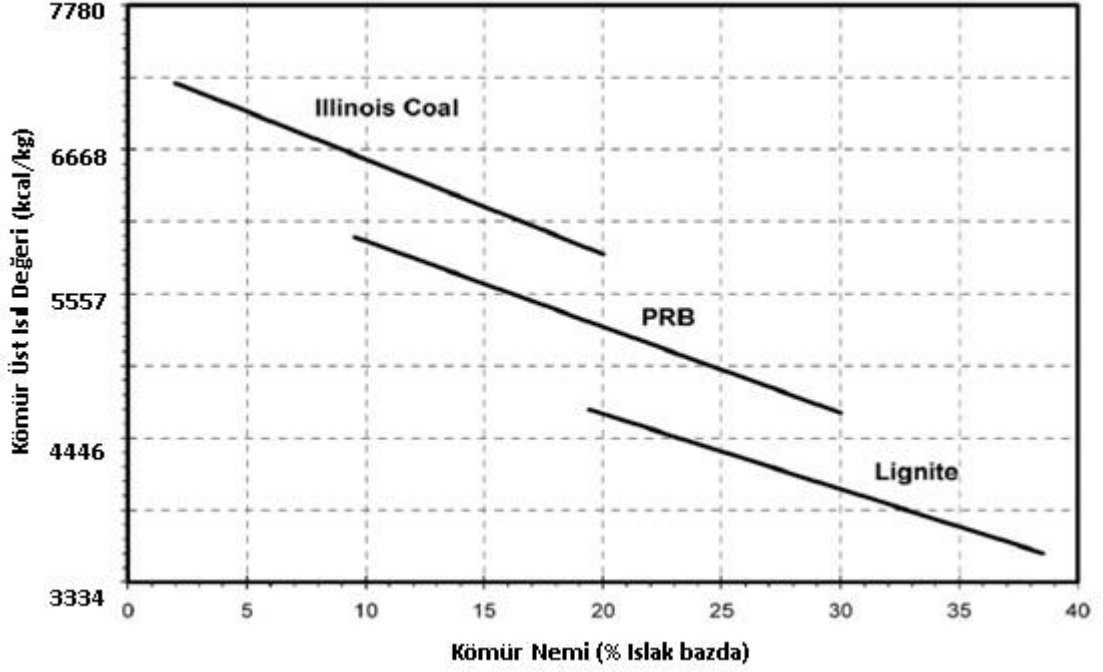
Şekil 1.21 Hareketli akışkan yatak kurutma prosesi şematik gösterimi⁵ [78]

Geliştirilen akışkan yatak kurutucunun ilk aşamasında yoğunluğu yüksek ağır parçacıklar ile akışkanlaşamayan parçacıklar (büyük kömür parçaları, taşlar, kayalar ve döküntü demir) yatak altına ayrıştırılır ve boşaltılır. İlk aşamada ayrılan parçacıklar genellikle yüksek mineral içeriğine sahip olduğundan, cıva ve sülfür oranı azaltılmış olmaktadır. Prototip ölçekli deney sistemi ile yapılan çalışmaların sonucuna göre kömür sülfür ve cıva miktarındaki azalma sırasıyla % 22 ve % 34 olarak gerçekleşmiştir. İlk aşamada, kömür henüz ısınmaya başladığı için nem miktarı sadece % 5 oranında azalmaktadır. Asıl nem azaltımı ikinci aşamada gerçekleşmektedir.

Kömür nemindeki azalma santral üzerinde önemli iyileştirmeler sağlamaktadır:

- Kömürün ısı değeri artar. Şekil 1.22’de görülebileceği üzere farklı kömürlerin nem içeriğindeki azalma ile ısı değerinde artış sağlanır.

⁵ Türkçeleştirilerek düzenlenmiştir.



Şekil 1.22 Kömür ısı değeri ve nem içeriği ilişkisi⁶ [78]

- Aynı santral gücü için, daha az kömür debisi ve değirmen, bant ve besleme sistemleri dâhil olmak üzere kömür sevk sisteminde daha az yük gerektirir. Düşük kömür debisi ve kuruyan kömürün artan öğütülebilirliği de daha az değirmen gücü demektir.
- Kömür nem miktarı ve kömür debisi azaldıkça yanma havası ve egzoz gazı debisi azalır. Kömür nem içeriğindeki 15 puanlık azalma, egzoz gaz debisinde 6 puanlık bir azalmayla ve net ünite veriminde 1.65 puanlık bir artışla sonuçlanır.
- Azalan egzoz debisi kirlilik kontrol sistemi üzerinde egzoz kalma süresini arttırarak olumlu etki yapmaktadır.
- Son olarak da kurutulan kömürlerin mikro yapıları incelendiğinde, kurutmayla beraber kömürde büzülme ve çatlak oluşumu gözlenmiştir.

Başka bir çalışmada, akışkan yatakta Çin linyitlerinin kuruma analizleri azot ve hava ortamında gerçekleştirilmiştir [80]. Kurutma analizlerinde sıcaklığın, parçacık boyutunun, kurutucu akışkan debisinin ve örnek kütlesinin etkisi incelenmiştir. Kömürdeki kimyasal değişimler FTIR analizleri ile gözlenmiştir. Hava için 250 azot için

⁶ Türkçeleştirilerek düzenlenmiştir.

300 dereceye kadar farklı sıcaklıklarda kurutma deneyleri yapılarak kömürün oksitlenmesi incelenmiştir.

Parçacık boyutunun küçülmesi ile kurutma süresi kısalmış ve nem buharlaşma miktarı artmıştır. Ayrıca, küçük parçacık boyutları ile daha yüksek kurutma hızı elde edilmiştir. Küçük parçacıklı numunede daha geniş yüzey alanı olması daha hızlı parçacık ısınmasını ve kurutucu akışkandan parçacıkların merkezine daha iyi ısı transferi olmasını sağlamaktadır.

Artan kurutma sıcaklığıyla ağırlık kaybı da önemli oranda artmaktadır; bu da daha hızlı kurutma olduğunu göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda kurutma hızının arttığı yapılan deneysel çalışmalarla gösterilmiştir.

Artan kurutucu akışkan debisi ile kütle kaybı artmaktadır bu da daha hızlı kurutma anlamına gelmektedir. Yüksek gaz debisi akışkan yataktaki parçacık karışımını iyileştirmekte bu da kömür parçacıklarına olan ısı transferini iyileştirmektedir.

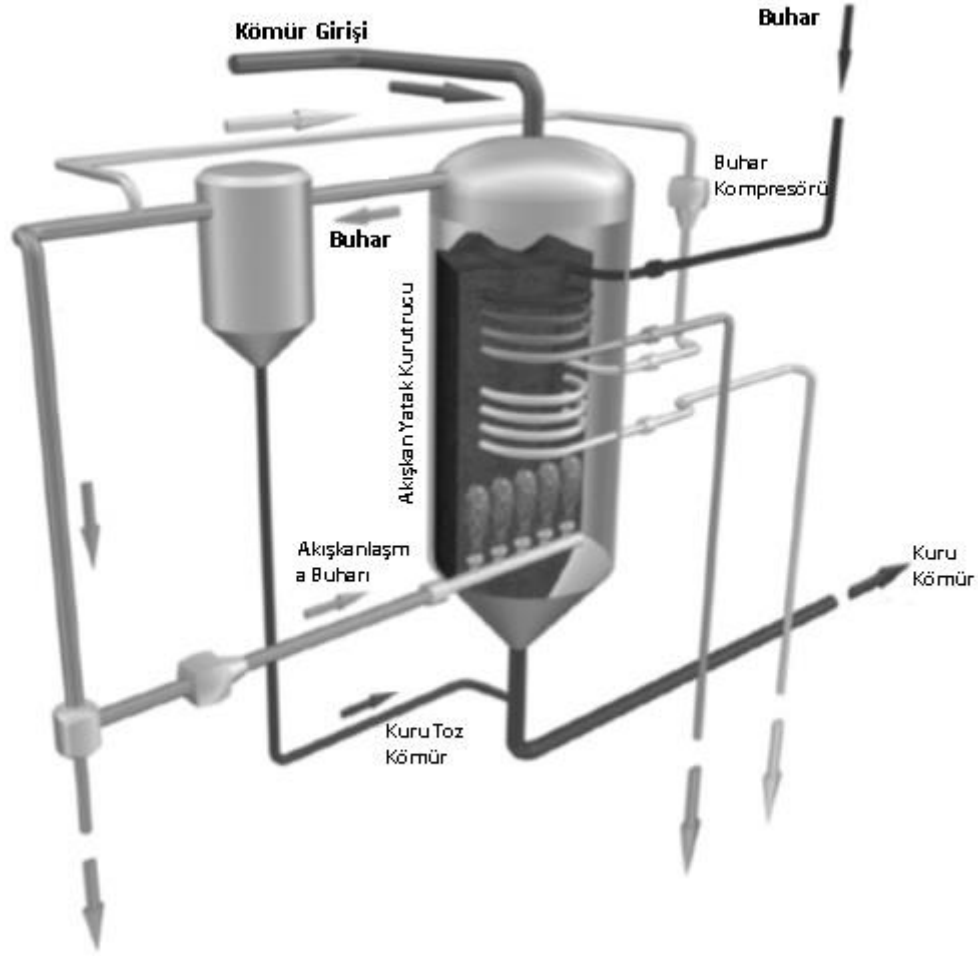
Kurutma prosesini analiz edebilecek bir benzetim aracı üzerine yapılan bir çalışmada, oluşturulan model 4 ton/h kapasiteli bir pilot tesis ile doğrulanmıştır [81]. Kurutma analizlerinde TGA cihazı kullanılmıştır ve incelenen parametreler parçacık boyutu ve kurutucu akışkan nemi ve sıcaklığıdır. Her testte yaklaşık 50 g kömür kullanılmış ve 2 farklı kömürle deneyler yapılmıştır. Ayrıca akışkanlaştırma deneyleri yapılarak kömür parçacıklarının yatak boyunca nasıl dağıldıkları incelenmiştir.

Akışkan yatakta buharlı kurutma analizinin yapıldığı bir çalışmada, atmosferik, vakum ve yüksek basınçlar için analizler yapılmıştır [82]. Buhar yoğunlaşmasını önlemek için başlangıç ve bitiş zamanlarında farklı bir akışkan (duman gazı) kullanılarak yatak içinin ısıtılması sağlanmaktadır. Ayrıca yatak çevresi ve buharın geçtiği borular yalıtılarak yoğunlaşma engellenmelidir.

Looi ve arkadaşları, linyit ve seramik için basınçlı kızgın buharlı akışkan yatakta tek parçacık kurutma kinetiği deneysel olarak incelenmiştir ve numerik çözüm geliştirilmiştir [83]. Farklı parçacık boyutları ve buhar hızı, sıcaklığı ve basıncı incelenmiştir. Geliştirilen matematiksel model (nemli küçülen çekirdek) seramik için daha iyi sonuçlar vermiştir. Kömür için düşük tahminler çıkmasının nedeninin parçacıktaki çatlamlar (ısı transfer alanını artırır) olduğu düşünülmektedir.

Basıncın kurutma hızı üzerine etkisinin olmadığı, ancak denge nemini etkilediği görülmüştür. Kömür parçacığı içerisindeki sıcaklık dağılımı 'nemli küçülen çekirdek' modelinin uygun olduğunu göstermiştir. Bu model kullanılarak matematiksel çözüm geliştirilmiştir. Bu model kurutma hızı, kurutma zamanı ve nem içeriğini hesaplayabilmektedir. Yapılan çalışma göstermiştir ki tek parçacık için kurutma hızı dış konvektif ısı transfer hızı ile sınırlandırılmaktadır.

Bir diğer çalışmada, linyitin basınçlı buharlı akışkan yatakta kurutulması incelenmiştir [24] (Şekil 1.23). Bu sistemde kurutma enerjisi ana olarak yatak içi borularla sağlanmaktadır. Boru içerisinde herhangi bir sıcak akışkan olabilmekle beraber bu çalışmada buhar kullanılmaktadır. Kullanılan buhar aynı zamanda besleme suyunun ön ısıtılmasında kullanılabilmektedir.

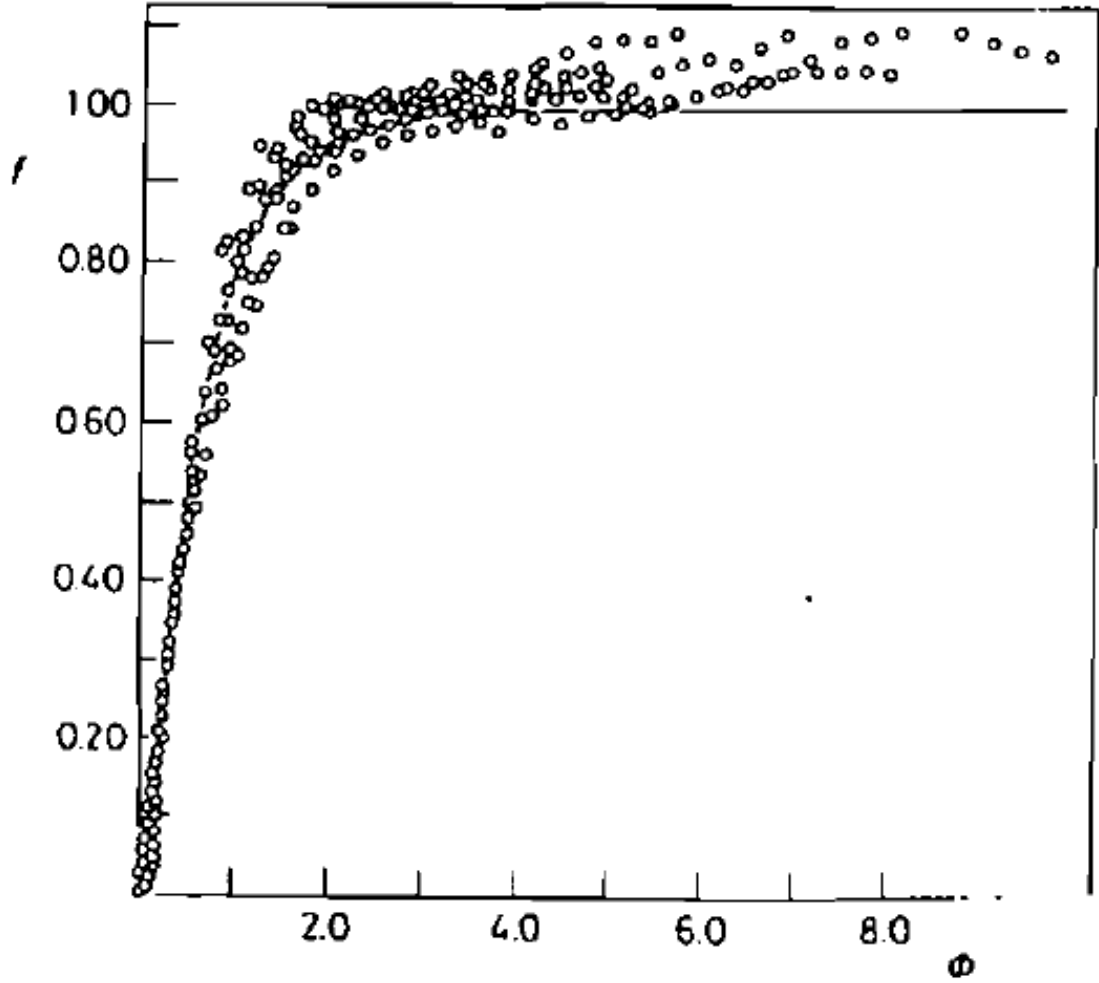


Şekil 1.23 Kızgın buharlı akışkan yatak kurutma prosesi şematik diyagramı⁷ [24]

Bu çalışmada, basıncın ısı transfer katsayısını etkilediği ve parçacık boyutu da ısı transfer yüzey alanını değiştirerek ısı transfer katsayısını etkilediği deneysel çalışmalarla gösterilmiştir. Aynı basınçta, kılcal gözeneklerdeki suyun buharlaşma sıcaklığı normal şartlardaki suyun buharlaşma sıcaklığından yüksek olduğu belirtilmiştir. Büyük parçacıkların daha fazla kurutma zamanı gerektirdiği belirtilmiştir. Sonuç olarak, test sistemi kullanılmış ve pilot tesis için gerekli tasarım hesapları yapılmıştır.

Bueno ve arkadaşları, kahverengi kömür tozunun çevresel ve yapısal özelliklere bağlı olarak kurutma hızının değişimi incelenmiştir [84]. Şekil 1.24’da boyutsuz kömür kurutma karakteristiği eğrisi elde edilmiştir.

⁷ Türkçeleştirilerek düzenlenmiştir.



Şekil 1.24 Boyutsuz karakteristik kurutma eğrisi [84]

Bir diğer çalışmada, iki farklı kömür için TGA cihazı ile sıcaklık, akışkan debisi ve kömür boyutlarına bağlı olarak nitrojen gazı ile kuruma analizleri yapılmıştır [85]. Sonuç olarak, zamana bağlı kömür ağırlık değişim grafikleri verilmiştir.

Endonezya kömürü için kurutma ve kurutma sonrası nem alma özelliklerinin incelendiği bir çalışmada kurutmanın en iyi 2 aşamada (sabit ve azalan) tarif edildiği gösterilmiştir [26]. Kurutma hızı ana olarak kurutma sıcaklığı ve kömür boyutlarına bağlıdır. Nem alma hızı ise kurutma sıcaklığı, kömür boyutu ve atmosfer bağıl nemine bağlıdır.

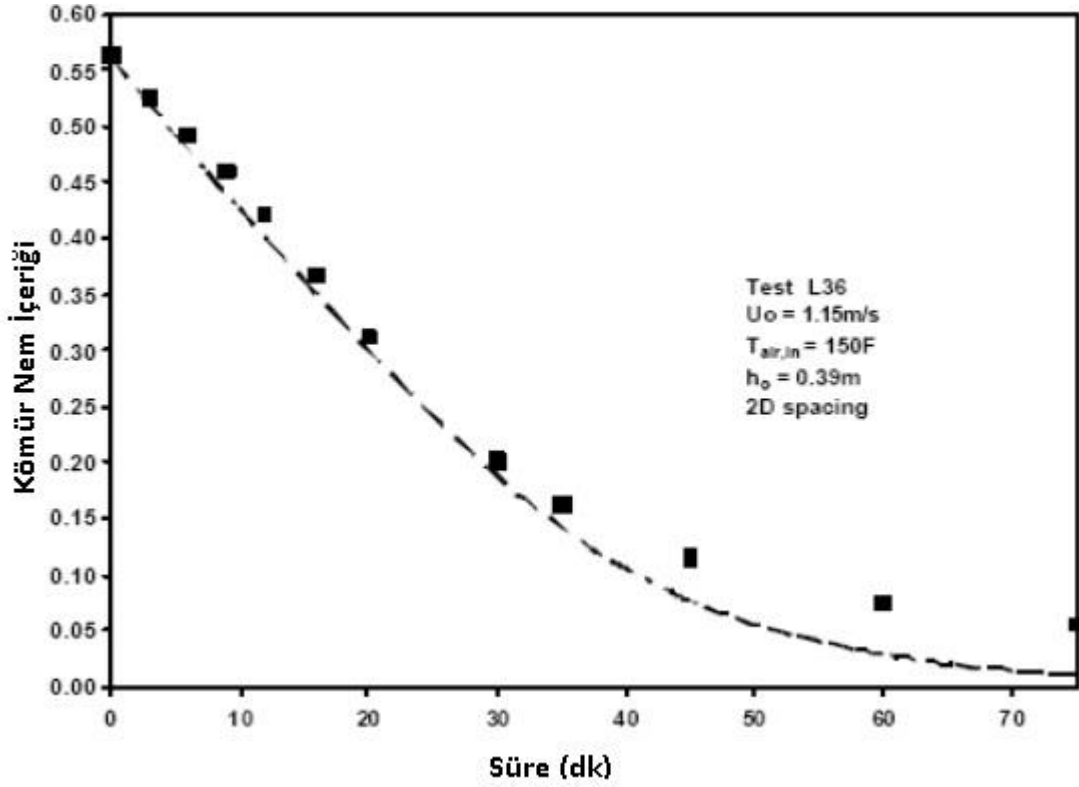
Tahmasebi ve arkadaşları, Çin ve Endonezya kömürleri için mikrodalgada kurutma deneyleri gerçekleştirmiştir [86]. Kömür boyutu, mikrodalga güç seviyesi ve kömür miktarının kuruma karakteristiğine etkisi incelenmiştir. Literatürdeki diğer ticari kurutma yöntemlerinin tersine kömür parçacık boyutu artışı ile kuruma hızının arttığı belirlenmiştir. İki farklı kömür kullanılarak kömür tipinin etkisi incelenmiştir. Kül

miktarının etkisi de incelenmiş: küçük kömür boyutları için kül miktarı etkili bir parametre (mikrodalga emilimi açısından) olduğu sonucuna varılmıştır. Endonezya kömürünün Çin kömürüne göre daha kaliteli olması dolayısıyla kurutma hızının daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Bir diğer çalışmada, kurutma analizlerinde kullanılabilecek sorpsiyon (kurutma – nem alma) eğrileri elde edilmiştir [87]. Farklı sıcaklıklarda deneyler yapılmıştır. Su aktivitesi, nem içeriği ve sıcaklık arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Elde edilen bulgular literatürdeki modellerle karşılaştırılmıştır.

Jeon ve arkadaşları tarafından laboratuvar ölçekli akışkan yatakta linyit kurutma deneyleri gerçekleştirilmiştir [88]. Kömür boyutu ve hava sıcaklığı incelenen parametrelerdir. Kömür hazırlama aşamasında, kırıcı ve elek kullanılmıştır. Hava hızı minimum akışkanlaştırma hızının 1.5 katı olarak seçilmiştir. Her deney 10 dakika yapılmıştır ve hemen hemen bütün nem buharlaştırılmıştır. Parçacık boyutu arttıkça sıcaklığın etkisinin azaldığı deneysel çalışmalarla gösterilmiştir.

Bir diğer çalışmada kömürün kurutma kinetiğini belirlemek için kabarcıklı akışkan yatakta yapılan deneysel çalışmalar ve teorik model anlatılmıştır [89]. Kömür 6 mm'nin altına kırılmıştır, hava sıcaklığı 66 °C'ye kadardır ve hava hızı da 0.9 - 1.7 m/s aralığındadır. Kurutmaya ek ısı enerjisi sağlayan yatak içi ısıtıcılar vardır. Deneylerde hava hızı, kurutma sıcaklığı ve kurutma havasının nemi incelenmiştir. Sonuç olarak, kurutma hızının kabarcık davranışı ya da gaz-kömür temasına bağlı olmadığı; yatak içi ısı transferi, besleme havasının debisi, nemi ve sıcaklığı ve kömürün denge nem içeriği tarafından kontrol edildiği belirlenmiştir. Kurutma hızının, hava hızı ve sıcaklık ile arttığı deneylerle ortaya konulmuştur. Şekil 1.25'de deneysel çalışmaların bulguları ile teorik modelin sonuçlarının mukayesesi verilmiştir.



Şekil 1.25 Deneysel ve teorik kömür kurutma eğrisi⁸ [89]

Wang tarafından kömür kurutma prosesini incelemek için 3 farklı kömürle deneysel ve teorik (akışkan yatak) çalışmalar yapılmıştır [90]. Uçan kömür parçalarının ağırlığı ve nemi de ölçülmüştür. Bu çalışmada ve Referans [78,79,89]'de aynı deney seti kullanılarak benzer deneyler yapılmıştır.

Sıcaklık arttıkça kömür nem oranındaki azalmanın arttığı belirlenmiştir. Aynı zamanda, sıcaklık arttıkça denge nemine ulaşma süresinin azalığı gösterilmiştir. Çıkış hava sıcaklığının düzgün artması kömürün iyi akışkanlaştığı ve karıştığı anlamına gelmektedir. Çıkış havası ile doymuş havanın özgül nemi arasındaki farkın artışının kömür nem içeriğinin azalması olarak düşünülebileceği belirtilmiştir. Benzer durumun, çıkıştaki yaş ve kuru termometre sıcaklıkları için de düşünülebileceği belirtilmiştir.

Bir diğer çalışmada ise basınçlı flash kurutma deneysel çalışması yapılmış ve matematiksel model ile mukayese yapılmıştır [91]. Dizel yakıt yakılarak 800 °C ve 10

⁸ Türkçeleştirilerek düzenlenmiştir.

atm'de hava elde ediliyor. Kömürün beslemesi ile ilgili çalışmalar yapılmış. Sıcaklık, kömür debisi ve kömür parçacık boyutu için analizler yapılmıştır.

Bongers ve arkadaşları, basınçlı bir fırında 3 farklı kömür için farklı sıcaklık ve basınçta kurutma deneyleri yapmıştır [92]. Buharla kurutmanın probleminin kurutulan maddedeki bazı organik moleküllerin buharla uzaklaştığını belirtmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda kömür için bu oranın kuru bazda % 0.5 mertebesinde olduğu belirtilmiş. Bu oran santrallerde önemli olmaktadır. Deneylerde kullanılan kömürler 4 mm'nin altına kırılmış ve denge nemi ile buharın kızgınlık derecesi arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise, basınçlı buharlı kurutmanın kömürün büzülmesi ve fiziksel yapısına etkisi incelenmiştir [93]. Kurutma ile gözeneklerin büyüdüğü belirtilmiştir.

Chen ve arkadaşları, tanecikli ürünlerin kızgın buhar ve sıcak hava ile kurutulmasını benzetim yapabilen tek parçacık modeli geliştirilmiştir [94]. Sonuçlar literatürden alınan deneysel bulgular ile karşılaştırılmıştır. Hava ve buhar kurutma için kurutma hızı açısından buharın üstün olmaya başladığı bir dönüm noktasından bahsetmektedir.

İlk makalede geliştirilen tek parçacık modeli iki fazlı hidrodinamik modele entegre edilerek kızgın buharlı akışkan yatakta sürekli kurutma prosesi benzetim yapılmıştır [95]. Model, yatak içerisinde kalma süresine bağlı olarak parçacık sıcaklık ve nem değişimi, ısıtma periyodundaki yoğunlaşmanın etkisi ve kömürden alınan buharın yataktaki buhar debisine etkisini dikkate almaktadır.

Bir diğer çalışmada, laboratuvar ölçekli kabarcıklı akışkan yatak kurutucu kurulmuş ve sıcaklık, hız ve yatak yüksekliği oranı ile ilgili analizler yapılmıştır [96].

Bir diğer çalışmada, atmosferik kızgın buharla kurutma ve kaplama işlemleri ile kömürün iyileştirilmesi anlatılmaktadır [97]. İncelenen parametreler: kömür boyutu, buhar sıcaklığı, kurutma süresi ve kaplama işlemidir.

Lytle ve arkadaşları santrallerde kullanılan kömürler için ön ısıtma yapılması durumunda öğütülebilirliğin nasıl değişeceği üzerine çalışmışlardır [98]. Atık ısı ile ön ısıtma yapılması durumunda elektrik üretim maliyetlerinin düşeceğini belirtmişlerdir. Sabit santral gücü için, kömürün ön ısıtılması ile kömürün ısı değeri artacağı ve gerekli kömür miktarının

azalacağı dolayısıyla da değirmen, bant ve besleme sistemleri dâhil olmak üzere kömür sevk sisteminin yükünün azalacağı gösterilmiştir. Azalan kömür debisinin ve kuruyan kömürdeki öğütülebilirlik artışının gerekli değirmen gücünün azalması anlamına geldiği belirtilmiştir.

Jentzsch ve arkadaşları basınçlı buharlı akışkan yatak kurutma yöntemini pilot ölçeğe uygulayarak incelemişlerdir [99]. Tesis 10 ton/h kapasiteli ve 6 bar basınçta buhar kullanılmıştır. Kullanılan kömür 0-6 mm boyutlarından 0-2 mm boyutlarına küçültülmüştür. Basınçlı buhar kullanılması durumunda, buhar kayıplarının önemli bir sorun teşkil edebileceği bu nedenle de gerekli çalışmalar yapıldığı belirtilmiştir. Kurutma parametreleri değiştirilerek çıkıştaki kömür neminin ayarlanabileceği belirtilmiştir.

Bir diğer çalışmada, Kim ve arkadaşları havalı akışkan yatakta Victorian kahverengi kömürlerinin kurutulmasını incelemişlerdir [100]. İncelenen parametreler: hava sıcaklığı 40-80 °C, % 0-40 bağıl nem ve akışkanlaştırma hızı ise 10–35 cm/s'dir. Yüksek sıcaklık, düşük bağıl nem ve yüksek akışkanlaştırma hızlarının kurutma hızını artırdığı gösterilmiştir. Kurutma hızını hesaplamak için çok basit bir denklem ($dw/dt = -k(1-X)^n$) elde edilmiştir. Bu denklemde k kurutma hızı sabiti, X kurutma oranı ve n kurutma hızı derecesidir.

Tahmasebi ve arkadaşları, Çin linyitlerinin azotlu akışkan yatak, kızgın buharlı akışkan yatak ve mikrodalga yöntemleri ile kurutulmasını incelemişlerdir [101]. Farklı kurutma şartları için deneyler yapılmış ve bu deney bulguları ile literatürdeki ampirik kurutma modelleri kullanılarak mukayeseler yapılmıştır. Çeşitli kurutma parametrelerinin kurutma üzerine etkileri çoklu regresyon analizleri ile çalışılmıştır. Üç yöntem için en uygun model belirlenmiştir.

Bir diğer çalışmada farklı bir kurutma yöntemi için modelleme ve benzetim çalışmaları yapılmıştır [102]. Bu yöntemde öncelikle, kömür sabit bir yatakta yüksek basınçlı buhar ile ısıtılmıştır. Yoğuşan buhar sayesinde kömürün sıcaklığı hızlı bir şekilde yükseldiği belirlenmiştir. Daha sonra, ısınan kömür sabit bir yatağa aktarılır ve alttan üste doğru dış ortam havası gönderilir. Bu aşamada kömürün sıcaklığı havanın sıcaklığından çok daha fazladır. Dolayısıyla ısı ve kütle akışı klasik konveksiyonla kurutmadan farklı olarak

kömürden havaya doğru aynı yönde gerçekleşir. Bu yöntemle çok düşük nem oranlarına düşülemez ancak kömürün başlangıç nemine bağlı olarak bir miktar nem düşüşü sağlanabilir. Geliştirilen model literatürdeki deney bulguları ile karşılaştırıldıktan sonra daha büyük bir kurutma kapasitesi için benzetimler yapılmıştır.

Olufemi ve Udefiagbon, kömürün kızgın buharda kurutulmasını modellemişlerdir [103]. Kömür tanelerinin büzülmesini de dikkate alarak sonlu elemanlar yöntemiyle kurutma prosesini çözmüşler. Deneysel bulgularla benzetim sonuçlarının uyumlu olduğunu göstermişler. Bu çalışmada nemli küçülen çekirdek modeli kullanılmıştır. Deneysel verilerden olan yüzdesel sapma % +8 ile % -7 aralığında gerçekleşmiştir.

Zhang ve You hareketli yataklı kurutucuda linyit kurutulmasını incelemişlerdir [104]. Tek bir linyit tanesi için geçerli formülasyon ve korelasyonları kullanarak hareketli yatak grup kurutma için numerik bir model geliştirilmiştir. İncelenen parametreler şunlardır: kurutucu gaz hızı, linyit parçacık boyutları, linyit parçacıklarının ilerleme hızı ve linyit yüksekliğidir. Yapılan analizler sonucunda, deney bulguları ile model sonuçlarının benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

Kang ve arkadaşları, Endonezya düşük kaliteli kömürleri için izotermal ve izotermal olmayan 2 yöntemle kurutma karakteristiklerini incelemişlerdir [105]. Analizlerde kurutucu akışkan sıcaklığı, parçacık boyutu, kurutma süresi, kurutucu akışkan hızı, akışkan yatak yükseklik oranı gibi parametreler incelenmiştir.

Liu ve arkadaşları, linyit yakıtlı termik santrallerde kullanılan linyitlerin kurutulmasının santral performansına etkilerini incelemişlerdir [106]. Farklı kurutma yöntemleri (rotary, pnömatik, akışkan yatak ve karıştırıcılı tank kurutucu) için kurutucu akışkan olarak buhar ve egzoz gazı kullanımının etkilerini değerlendirmişler. İki kurutucu akışkan kullanımının da termik verimi artırdığı ancak egzoz gazı kullanımının kurutucu egzoz gaz sıcaklığının çok düşük ve kurutucu veriminin çok yüksek olduğu durumlarda kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Buhar kullanımının ekserji açısından daha avantajlı olmasında dolayı santral termik verimine etkisi daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Aziz ve arkadaşları yaptıkları ilk çalışmada, yatak içi ısı değiştiricili akışkan yatakta kurutmada enerji tüketimini azaltacak ısı geri kazanım sistemi geliştirilmiştir [107].

Mekanik buhar sıkıştırımlı sistem ile mukayese yapılmıştır. Farklı akışkanlaşma hızları ve yatak yükseklik oranı ile analizler yapılmıştır.

Aziz ve arkadaşlarının yaptığı diğer çalışmada, düşük kalitedeki kömürlerin kurutulması için geliştirilen çok düşük enerji tüketimli ısı geri kazanımlı gelişmiş kurutma sistemi anlatmışlardır [108]. Geliştirilen sistemin konvansiyonel ısı geri kazanımlı kurutma sistemine göre % 70 daha az enerji tükettiği öne sürülmüştür. Akışkan yatak içerisindeki ısı transferi de iyileştirilmiştir. Önceki çalışmada geliştirilmiş olan sıkıştırımlı geri kazanımlı kurutmaya benzediğini ancak daha avantajlı bir sistem olduğunu belirtmişler. Akışkanlaşmada kullanılan akışkan çıkışta ayrıştırılıyor buhar ve diğer gaz şeklinde ve buhar sıkıştırılıp tekrar kullanılmıştır. Bu da daha iyi ısı transferi sağlayarak, akışkan yatak boyutlarının küçülmesini sağlamıştır.

Sonuç olarak bu sistemin, havalı ve konvansiyonel ısı geri kazanım sistemli kurutmaya göre % 15-75 civarında enerji tüketimini azalttığı belirtilmiştir.

Liu ve arkadaşları, kızgın buharlı kurutma yöntemi için ekserji ısı geri kazanımlı bir sistem geliştirmişlerdir [109]. Bu sistem duyulur ve gizli ısıların tekrar kullanılarak ek enerjiye gerek duyulmadan kurutma temeline dayanmaktadır. Geliştirilen sistemin konvansiyonel ısı geri kazanım sistemlerine nazaran enerji tüketimini 1/7 - 1/12 oranında azalttığı iddia edilmektedir. Deneysel çalışmalar kömür ile yapılmıştır.

Geliştirilen ısı geri kazanım sistemi kademeli kurutma sistemi için çalışılmıştır. Kademeler kurutmanın evrelerine (ısınma, sabit hızda kurutma ve azalan kurutma hızı) göre oluşturulmuştur.

Pakowski ve arkadaşları düşük kaliteli kömürlerin atmosferik kızgın buhar (200 °C) ortamında kurutulması esnasındaki efektif nem difüzivitesini deneysel olarak çalışmışlardır [110]. Deney bulguları ile 3 boyutlu sonlu farklar yöntemi ile gerçekleştirilen çözümün sonuçları birbirine benzerlik göstermiştir. Efektif difüzivitenin nem içeriği ve sıcaklıkla olan ilişkisinin kurutucu tasarımında kullanılabileceğini belirtmişler. Ancak sıcaklığın daha etkin bir parametre olduğunu öne sürmüşler.

Nemli küçülen çekirdek modelinden farklı olarak kütle difüzyonunun da etkili bir parametre olduğundan bahsedilmiştir ve kurutmanın 3 mekanizmanın etkisiyle gerçekleştiğini öne sürmüşlerdir:

- Sıvı fazındaki nemin basınç farkından dolayı Darcy akışı ile uzaklaşması
- Buhar fazındaki nemin konsantrasyon farkından dolayı difüzyonla uzaklaşması
- Bağlı nemin konsantrasyon farkından dolayı difüzyonla uzaklaşması

Zhang ve You büyük linyit (2 farklı kömür) parçacıklarının konveksiyonla kurutulmasını deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir [111]. Geliştirilen teorik model serbest suyun konveksiyonunu, bünye neminin difüzyonunu ve linyit parçacığı içerisindeki gaz karışımının konveksiyonunu ve difüzyonunu içermektedir. Kurutucu havanın sıcaklığı (100 ve 140 °C), hızı (0.7 ve 1.5 m/s) ve mutlak nemi (0.012 ve 0.065) ile beraber kömürün boyutu (20 ve 30 mm) incelenmiştir ve deneysel bulgularla matematiksel modelin sonuçlarının uyum gösterdiği belirlenmiştir.

Zhang ve You diğer çalışmalarında, bir önceki çalışmayla geliştirdikleri tek parçacık kurutma modelini sabit yatak linyit kurutma prosesi için uygulamışlardır [112]. Mikroskopik (tanecik) ve makroskopik (yatak) ince tabaka yaklaşımları kullanılmıştır. Kurutucu hava sıcaklığı ve hızı ile beraber yatak yüksekliği 2 farklı kömür için incelenmiştir. Geliştirilen modelin deneysel çalışmalarla benzer sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Shi ve arkadaşları linyitin grup halinde kızgın buhar ve hava ortamında kurutulmasını deneysel olarak incelemişlerdir [113]. Kurutma prosesinin 2 aşamadan (sabit ve azalan kurutma hızı) oluştuğu gösterilmiştir. Buhar ve hava ile kurutma arasındaki dönüm noktasının 120-140 °C aralığında olduğu belirlenmiştir. Hava ile kurutmada 180 °C'nin üzerinde yanmanın başlayabildiği görülmüştür. Buhar sıcaklığı arttıkça kritik nem değerinin düştüğü tespit edilmiştir.

Türkiye kömürleri üzerine bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Türkiye kömürleri üzerine yapılan bir çalışmada, akışkan yatak kurutma deneylerinde kurutma havasının sıcaklık ve hızı ve kömür boyutları incelenen parametreler olmuştur [114]. En etkin parametre sıcaklık olarak ortaya çıkmıştır. Hava hızının önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Parçacık boyutu azaldığında ise kurutma hızı artmıştır ve bu etkiyi yüzey alanının artması ve nem taşınım mesafesinin azalması olarak yorumlamışlardır.

Çalban tarafından kömür nem içeriği ve yatak yüksekliğinin kurutma üzerine etkileri akışkan yatak kurutma deneyleri yapılarak incelenmiştir [115]. Sonuçlar yatak yüksekliğinin azalması ile kurutma hızının arttığını ve ilk nemin azalması ile hızın azaldığını göstermiştir.

Yatak yüksekliğinin denge nem değerini etkilemediği, ancak yüksekliğin azalması ile kurutma süresinin kısaldığı belirtilmiştir. Düşük nemli kömürlerin daha düşük kurutma hızına sahip olduğu gösterilmiştir. Kritik nem değeri yatak yüksekliğinin azalması ile arttığı belirtilmiştir.

[114] ve [115] referans numaralı çalışmalarda, İspir-Karahan linyiti kullanılmış ve deneysel çalışmalar kesikli akışkan yatak kurutucu ile yapılmıştır. Çalışmalar incelendiğinde, uygulamaya dönük herhangi bir yorum bulunamamıştır. Çalışmaların sadece, belirli deney şartları için kurutma karakteristiği belirleme çalışması olduğu görülmüştür.

Bir yüksek lisans çalışmasında Türk linyitlerinin (Elbistan ve Sivas-Kangal linyiti) tünel kurutucuda (sıcaklık aralığı 55-90 °C) kurutulması incelenmiş ve sıcaklıkla kurutma hızının arttığı belirlenmiştir [116]. Bu çalışma ile ilgili detaylı bilgi bulunamamıştır.

Delibalta ve Toraman mikrodalgaya maruz kalan Çayırhan (Ankara) linyitinin öğütülebilirliğine etkisini incelemişlerdir [43]. Farklı güç ve sürelerde mikrodalgaya maruz kalan linyitlerin öğütülebilirliklerinin önemli oranda arttığı görülmüştür.

Diğer bir çalışmalarda, kömür nem içeriğinin öğütülebilirliğe etkisi incelenmiştir [35,117]. Bu amaçla, farklı kurutma sıcaklığı ve sürelerinde mikrodalga kurutucu ve fırın kullanılarak kömür nem içeriği farklı değerlere getirilmiştir. Kurutma sıcaklığı arttıkça ve nem içeriği azaldıkça linyitin kırılganlığının arttığı belirlenmiştir. Mikrodalga kurutmanın konvansiyonel kurutmaya göre 4-10 kat daha hızlı olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada Afşin-Elbistan linyiti kullanılmıştır ve çalışmanın asıl amacı öğütülebilirliği incelemektir. Afşin-Elbistan termik santrali ile ilgili öğütülebilirlik konusunda önemli sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmanın kurutma ile ilgili doğrudan bir katkısı olmamakla birlikte öğütülebilirlik ile ilgili önemli bilgiler vermektedir.

Bir yüksek lisans tezinde, Çatalağzı termik santralinde kullanılan filtrasyon ürünü taşkömürünün akışkan yatakta kurutulması incelenmiştir [118]. Hava hızının kurutmayı

önemli oranda etkilediği ancak hava hızının önemli bir parametre olmadığı belirtilmiştir. 0-10 mm boyut aralığında ve yaklaşık % 20 nem içeriğine sahip kömür ile yapılan deneyler Çatalağzı termik santrali için önemli bir çalışmadır.

Bir diğer yüksek lisans tezinde, Türkiye'deki kamuya ait kömür yakıtlı termik santraller için kurutmanın teknik ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır [119]. Bu çalışmada, kurutma yöntemi ve kurutma ile ilgili detaylarla ilgilenilmemiş ve sadece kurutma yapılması durumunda santral üzerindeki etkilerin değerlendirilebileceği model verilmiştir. Santral açısından oluşacak faydaların teknik ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi yapılarak önemli bilgiler verilmiştir. Yakıt tüketiminde önemli oranda azalmaların olacağı ve buna bağlı olarak santral işletme problemlerinin önemli oranda çözülebileceği vurgulanmıştır. Sonuç olarak da kurulabilecek kurutma sistemi için ekonomik üst limit verilmiştir. Bu çalışma, yerli linyitlerin önemli kısmının tüketildiği termik santrallerde kurutmanın ne kadar gerekli olduğu ve kurutma sonucunda santrallerdeki iyileşmenin ne denli yüksek olduğunu göstermesi açısından çok önemlidir ve aynı zamanda Türkiye için kurutmanın gerekliliğini ve önemini ortaya koyması açısından değerli bir çalışmadır.

Literatürdeki çalışmaların kısa bir özeti Çizelge 1.5'de verilmiştir. Literatürdeki çalışmalar çoğunlukla akışkan yatak kurutucu yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntem, tane boyutunun küçük (6 mm altı) olduğu durumlarda iyi sonuçlar vermektedir. Ancak, tane boyutunun daha büyük olduğu durumlarda akışkan yatak kurutma yöntemi uygun olmamaktadır. Isıtma amacıyla kullanılan yerli kömürlerin ve termik santrallerde değirmenlere beslenen kömürlerin tane boyutunun büyük olması kurutma yönteminin belirlenmesi açısından önemli bir husustur. Bu açıdan literatüre bakıldığında büyük tane boyutlu kömürlerin kurutulması hususunun önemli bir eksiklik olduğu görülmektedir.

Literatürdeki çalışmalarda incelenen kurutucu akışkan ve kömür ile ilgili parametrelere bakıldığında, kurutucu akışkan sıcaklığı ve hızı ile kömür türü ve tane boyutunun en çok incelenen parametreler olduğu belirlendi. Bu tez kapsamında ise, kurutucu akışkan sıcaklığı ve hızı ile kömür tane boyutu ve yığın yüksekliği parametreleri incelenmiştir. Deney cihazı, bu parametrelerin etkilerinin incelenebileceği şekilde tasarlanmıştır.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde Türkiye linyitleri için uygulamaya yönelik olarak herhangi bir çalışmanın olmadığı görülmüştür. Türkiye için en önemli yerli enerji kaynağı olan linyitlerin gerek ısıtma gerekse santrallerde kullanılması durumunda, efektif bir kullanım sağlayabilmek için kurutma yapılması önem arz etmektedir.

Bu çalışma, literatürdeki eksiklikleri göz önünde bulundurarak, yerli linyitlerin kurutulması konusunda önemli bir girişimdir. Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde kullanılan kömür tanelerinin boyutu 20 mm üstü olduğu için sabit yatak kurutma yöntemi daha uygun olmaktadır. Nem oranı % 50'nin üzerinde olan Konya-İlgın linyiti bu çalışma için seçilmiştir. Öncelikle sabit yatak kurutucu deney seti ile Konya-İlgın linyitinin kurutma karakteristiği belirlenmiştir. Daha sonra, elde edilen kurutma karakteristiği eğrileri kullanılarak bantlı kurutma sistemi tasarımı yapılmıştır.

Literatür incelemesi sonucunda, dünyada büyük taneli kömürlerin kurutulması konusunda çalışma yapılmamış olduğu ve Türkiye linyitlerinin kurutulması konusundaki çalışmaların yeterli sevide olmadığı görülmüştür. Bu açılarından bakıldığında, bu tez kapsamında yapılan çalışmaların Türkiye ve dünya literatürüne önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çizelge 1.5 Kömür kurutma ile ilgili yapılan çalışmaların özeti

REF.	Kurutucu / Kömür	Yöntem / Model	PARAMETRELER								
			Kurutucu Akışkan Parametreleri					Kömür Parametreleri			
			Türü	Sıcaklık	Basınç	Debi/ Hız	Nem	Türü	Boyut	Nem	Yükseklik
Toplam Sayılar			5	29	6	17	6	10	23	4	4
[76]	Akışkan Yatak Reaktörü	Matematiksel Model (Nemli Küçülen Çekirdek Modeli) / Grup kurutma						+	+	+	
[77]	Akışkan Yatak Reaktörü	Matematiksel Model (Nemli Küçülen Çekirdek Modeli) / Grup kurutma		+							
[78,79]	Akışkan Yatak	Termodinamik Denge / Düşük sıcaklıklı kurutma / Grup kurutma		+		+	+	+	+		
[80]	Akışkan Yatak	Grup kurutma	+	+		+			+		
[81]	TGA Cihazı	Matematiksel Model / Grup kurutma		+			+	+	+		
[82]	Akışkan Yatak (Buhar)	Grup kurutma			+						
[83]	Akışkan Yatak (Buhar)	Matematiksel Model (Nemli Küçülen Çekirdek Modeli) / Tek tane		+	+	+			+		
[24]	Akışkan Yatak (Buhar)	Grup kurutma		+	+	+			+		
[84]	Özel (TGA benzeri) (Hava)	Karakteristik Kurutma Karakteristiği / Grup kurutma / Tek tane		+		+			+		
[85]	TGA Cihazı (Azot) (2 farklı kömür)	Grup kurutma		+		+			+		
[26]	Nem Tayin Cihazı	Matematiksel Model / Grup kurutma		+			+		+		

Çizelge 1.5 Kömür kurutma ile ilgili yapılan çalışmaların özeti (devamı)

[86]	Mikrodalga Fırın	Grup kurutma						+	+		
[87]	Fırın (Hava)	Matematiksel Model / Grup kurutma		+							
[88]	Akışkan Yatak	Grup kurutma		+					+		
[89]	Akışkan Yatak	Matematiksel Model (Termodinamik Denge) / Grup kurutma		+		+		+	+		
[90]	Akışkan Yatak	Matematiksel Model (Termodinamik Denge) / Grup kurutma		+			+	+	+		
[91]	Flash Kurutma	Matematiksel Model / Grup kurutma		+				+	+		
[92]	Fırın (Buhar)	Grup kurutma		+	+			+			
[93]	Fırın (Buhar)	Grup kurutma		+	+			+			
[94]	Fırın	Matematiksel Model (Nemli Küçülen Çekirdek Modeli) / Tek tane	+	+					+		
[95]											
[96]											
[97]											
[98]	Akışkan Yatak	Grup kurutma		+		+					+
[99]	Fırın (Buhar)	Grup kurutma		+					+		
[100]	Akışkan Yatak	Grup kurutma		+		+			+		
[101]	Akışkan Yatak	Grup kurutma								+	+
[102]	Tünel Kurutucu	Grup kurutma		+				+			

Çizelge 1.5 Kömür kurutma ile ilgili yapılan çalışmaların özeti (devamı)

[103]		Kömürün ön ısıtma ile neminin azaltılmasının öğütülebilirliğe etkisi incelenmiştir.									
[104]	Akışkan Yatak (Buhar)	Sadece Almanya'daki basınçlı kızgın buharlı kömür kurutma pilot tesisinden bahsediyor.									
[105]	Akışkan Yatak	Matematiksel Model / Grup kurutma		+		+	+				
[106]	Akışkan Yatak / Mikrodalga	Matematiksel Model / Grup kurutma	+	+		+			+		
[107] [108] [109]	Kesikli Sabit Yatak	Matematiksel Model (Termodinamik Denge, Numerik çözüm) / Grup kurutma		+		+	+		+		
[110]	Buharlı kurutma	Matematiksel Model (Nemli Küçülen Çekirdek Modeli, Numerik çözüm) / Tek tane		+	+	+			+		
[111]	Hareketli Yataklı Kurutucu	Matematiksel Model (Termodinamik Denge, Numerik çözüm) / Grup ve Tek tane				+			+		+
[112]	Sabit Yatak Kurutucu ve TGA Cihazı	Matematiksel Model / Grup kurutma		+		+			+		+
[113]		Kurutmanın santral üzerine etkileri incelenmiş.	+								
[114]											
[115]											

Çizelge 1.5 Kömür kurutma ile ilgili yapılan çalışmaların özeti (devamı)

[116]	Akışkan Yatak	Matematiksel Model (Termodinamik Denge) / Grup kurutma	+	+		+			+	+	
[43]	Mikrodalga	Öğütülebilirlik analizi yapılmıştır									
[35,117]	Mikrodalga ve Fırın	Öğütülebilirlik analizi yapılmıştır		+						+	
[118]	Akışkan Yatak			+		+					
[119]		Termik santrallerdeki kömür kurutma prosesi için ekonomik üst limit konusunda çalışılmıştır									

1.3 Tezin Amacı

Literatürde, Türkiye linyitlerinin kurutulmasını konu edinen çok fazla çalışma bulunmamaktadır. En önemli yerli enerji kaynağı linyit olan Türkiye için yerli linyitlerin farklı ihtiyaçları karşılayacak şekilde değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Nem ve kül oranı yüksek yerli linyitlerin etkin bir şekilde kullanılması Türkiye'nin son yıllardaki enerji politikalarında da en ön sıralarda yer almaktadır. Termik santrallerde ve endüstriyel tesislerde gerek enerji üretimi amacıyla gerekse de ısıtma amacıyla kullanılsın, linyitlerin verimli bir şekilde tüketilmesi gerekmektedir.

Linyitlerin kullanım alanlarının belirlenmesinde, linyitlerin özellikleri önem arz etmektedir. Giriş bölümünde belirtildiği üzere, Türkiye linyitlerinin düşük ısı değer ve yüksek nem ve küle sahip olmaları önemli bir dezavantajdır ve özellikle ısıtma amacıyla kullanılmalarının engellemektedir. Mevcut hali ve kalitesi ile yerli kömürlerin en çok kullanım alanı elektrik üretimidir. Ancak, bu kullanım alanında bile neme bağlı çok sayıda işletme sorunu ve verim kaybı yaşanmaktadır. Linyitin neminin yüksek olması başta ısı değer olmak üzere yanma verimini ve kömürün öğütülebilirliğini olumsuz olarak etkilediğinden termik santrallerde nem azaltma ihtiyacını ortaya çıkartmaktadır. Ayrıca yerli kömürlerin neme bağlı ısı değerlerinin düşüklüğü nedeni ile ısıtma amacı ile kullanılmaları yasal olarak mümkün olmamaktadır. Bu ise hem ısıtma amacı ile yakıt temininde ithal yakıt kullanımını artırmakta hem de yerli kömürlerin ekonomik değerini düşürmektedir.

Linyitlerin nem oranının düşürülmesi daha verimli bir yanma prosesinin gerçekleştirilmesini sağlar. Isıtma amaçlı kullanılan linyitlerin kurutulması hususunda, Türkiye linyitleri için yapılan herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Her kömür farklı özelliklere (gözenek yapısı, kılcallık, nemin bağlanma şekli, nem içeriği vb.) sahip olduğu için kurutma karakteristiği belirleme çalışmalarının her kömür için ayrı ayrı yapılması gerekmektedir.

Nem oranı azaltılarak aynı zamanda kömür ısı değeri de artırılmış olur. Bu sayede, aynı enerjiyi daha az kömür harcayarak yapmak mümkün olabilmektedir. Daha az linyit tüketimi, yerli kaynaklarımızın daha uzun süreler kullanılabilmesini sağlayacaktır. Yerli kömürlerin neminin düşürülerek ısıtma amaçlı kullanım için belirlenmiş yasal sınırların

içerisine sokulması önemli bir ekonomik değer artışı da sağlayacaktır. Yerli kömürler ile ısıtma, ayrıca ithal yakıt kullanımını azaltarak Türkiye'nin ekonomik yapısına olumlu katkıda bulunacaktır.

Bu çalışmanın amacı, yüksek oranda nem içeren yerli linyitlerin kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi için gerekli deney setinin kurularak kurutma karakteristiği eğrilerinin elde edilmesidir. Ayrıca, kurutucu akışkan sıcaklığı ve hızı, kömür tane boyutu ve kömür yığın yüksekliğinin kurutma karakteristiğine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu parametrelerin etkilerinin değerlendirilmesi amacı ile çok sayıda deney planlanmış ve yapılmıştır. Elde edilen bulguların bir kurutma sistemi tasarımıda kullanılması da hedeflenmiştir. Konya ilinde bulunan linyit rezervleri içerisinde yer alan ve % 50 gibi yüksek bir nem içeriğine sahip olan Konya-İlgın linyiti bu çalışmadaki deneylerde kullanılmıştır. Konya-İlgın linyitinin mevcut özellikleri ile ısıtma amacıyla tüketilmesi yasal olarak mümkün değildir. Bu linyitin kurutma karakteristiği ve kurutmaya etki eden parametrelerin etkileri belirlenmiştir. Literatürde, Konya-İlgın linyiti üzerine herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

1.4 Hipotez

Başta kömür yakıtlı termik santraller olmak üzere, yerli kömürün kullanıldığı tüm alanlarda kömür neminin azaltılmasına ihtiyaç vardır. Dünyada ve Türkiye'de enerji kaynağı, sıcaklığı, kömür boyutları vb. farklılıkları olan çok sayıda farklı kömür kurutma teknolojileri bulunmaktadır. Dünyadaki gelişmeler incelendiğinde, her ülkenin kendi kömür kaynaklarının verimli kullanılması için kömür kurutma amaçlı çalışmalar yaptığı görülmektedir. Bu çalışmaların çoğunun son on yıl içinde hızlandığı görülmektedir. Kömür kurutma konusunda çok farklı yöntemler, gerek teorik gerekse pratik anlamda geliştirilmektedir. Bu yöntemlerin başlıcaları döner tip (rotary), akışkan yataklı, bant sistemli ve değirmenli kurutucularla yapılan kömür kurutma işlemleridir. Ancak, kömürden buharlaştırılacak nem miktarı, kömür kapasitesi, kurutmada kullanılacak enerji kaynağı, kömürün yapısı, nemin kömür içindeki yeri gibi farklı teknik ve işletme özelliklerinden dolayı farklı özelliklerdeki tüm kömürleri kurutabilecek tek bir teknoloji bulunmamaktadır. Belirli bir kömür için teknoloji seçiminde öncelikle kömürün kurutma karakteristiğinin iyi bilinmesi gereklidir.

Dünyadaki birçok çalışmada, öncelikle kömür kurutma karakteristiği belirlendikten sonra o kömürlere uygun teknolojinin seçimi ve geliştirilmesi yapılmışken Türkiye'deki kömürler için bu çalışmalar bugüne kadar yapılmamıştır. Sonuç olarak, kurutma teknolojisinin seçiminde öncelikle kurutulacak kömürlerin kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi, daha sonra bu kömüre uygun teknolojilerin yatırım ve işletme maliyetlerini dikkate alınarak optimum tasarımın yapılması gereklidir.

Türkiye'de ısıtma amacıyla tüketilen yerli linyitlerin kurutulması hususunda herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar bu anlamda literatüre önemli bir katkı sağlayacaktır. Konya-İlgin linyitinin kurutularak ısıtma amacıyla tüketilmesinin sağlanması yerli kömürlerin ekonomik değerini yükseltmede ve yerli linyitlerin kullanımının artırılması politikalarının gerçekleştirilebilmesinde önemli bir katkı sağlayacaktır. Ayrıca mevcut durumdaki ya da yeni kurulacak yerli linyit yakan termik santrallerin termik verimlerinin artırılması ve işletme sorunlarının giderilmesinde katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda, en önemli yerli enerji kaynağı linyit olan Türkiye için kurutma hususunda önemli bir bilgi birikimi oluşturulmuş olacaktır.

KONYA-ILGIN LİNYİTİ VE DENEY SETİNİN ÖZELLİKLERİ

2.1 Konya-Ilgın Linyitinin Özellikleri

Konya, Türkiye'nin önemli ve büyük şehirlerindendir (Şekil 2.1). Konya linyit rezervleri açısından oldukça zengindir [120]. Son yıllarda MTA tarafından yapılan çalışmalarla önemli rezervler tespit edilmiştir. Konya'nın farklı ilçelerinde yer alan linyit rezervleri ve bu rezervlerdeki linyitlerin bazı özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Karapınar ilçesinde önemli bir linyit rezervi vardır. Bu bölgedeki linyit kaynaklarını kullanacak bir termik santral projesi devam etmektedir. Konya'nın Ilgın ilçesinin konumu Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Konya'nın konumu [121]

Çizelge 2.1 Konya linyit rezervlerinin durumu ve bazı özellikleri [122]

Saha Adı	Rezerv (1000 ton)								Analiz Sonuçları				Eş değeri (1000 ton)		Kullanım Yeri	İşletme Şekli
	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam	Kaynak	Potansiyel	Genel Toplam	İşletilebilir	Su %	Kül %	S %	AİD KCal/kg	Petrol	Taş Kömürü		
Beyşehir-Karadiken	107.000	-	-	107.000	-	-	107.000	79.000	47,62	25,24	1,09	1108	11.856	16.937	Termik Santral	Açık
Beyşehir-Avdancık	52.000	-	-	52.000	-	-	52.000	36.000	45,57	23,03	1,10	1.155	6.006	8.580	Termik Santral	Açık
Beyşehir-Avdancık	-	80.000	-	80.000	-	-	80.000	-	45,35	22,71	-	1282	10.256	14.651	Termik Santral	Kapalı
Seydişehir-Akçalar	59.000	-	-	59.000	-	-	59.000	45.000	48,88	27,00	1,10	1083	6.390	9.128	Termik Santral	Açık
Seydişehir-Akçalar	-	10.000	-	10.000	-	-	10.000	-	53,42	16,55	-	1430	1.430	2.043	Termik Santral	Kapalı
Akburun-Eğirler	-	-	-	-	-	140.000	140.000	-	36,98	26,83	-	700	9.800	14.000	?	Kapalı
İlgin-Haramiköy	12.269	763	-	13.032	-	-	13.032	9.527	50,31	11,38	-	2239	2.918	4.168	Teshin	Açık
İlgin-Kurugöl	9.142	-	-	9.142	-	-	9.142	-	50,30	11,40	-	2180	1.761	2.515	Teshin	Açık
Ermenek-Boyalık	-	1.700	-	1.700	-	-	1.700	-	14,59	37,44	-	3262	555	792	Teshin	Açık Kapalı
Ermenek-Tepebaşı	2.010	3.908	-	5.918	-	-	5.918	-	22,90	13,30	4,42	4063	2.404	3.435	Teshin	Açık Kapalı
Karapınar	530.000	250.000	500.000	1.280.000	Rezervuar arama ve hesaplama çalışmaları devam ediyor							1300-2100	158.476	256.000	Termik Santral	Açık
TOPLAM	771.639	346.371	500.000	1.617.792	-	140.000	477.792	169.527					53.376	76.249		

Bu çalışmanın da konusunu teşkil eden Ilgın ilçesi linyitleri Maden Tetkik ve Arama (MTA) kurumunun 2010 yılındaki raporuna göre rezerv olarak 22 milyon ton civarındadır [122]. Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) kurumunun 2010 yılındaki raporuna göre ise kamu sektörünün elindeki rezerv miktarı 21 milyon ton civarında iken, özel sektörün elindeki rezerv miktarı 143 milyon ton civarındadır [123]. Konya-İlgin linyitinin ortalama nem oranı yaklaşık % 50, kül oranı yaklaşık %11 ve alt ısı değeri yaklaşık 2200 kcal/kg'dır [122]. Özellikleri incelendiğinde oldukça yüksek neme sahip bir kömür olduğu görülmektedir. Konya-İlgin linyitlerinin kullanım amacı ısıtmadır [122].



Şekil 2.2 Ilgın ilçesinin konumu¹ [121]

Tez kapsamında yapılan çalışmalar öncelikle deneylerde kullanılacak linyitlerin temini ile başlamıştır. Sahadan gelen linyitlerin ulaşım ve depolama sırasında nem kaybına uğramaması için biz dizi önlemler alınmıştır. Öncelikle 2 adet naylon torbaya konulan linyit numuneleri daha sonra da çuvala konularak hava ile olan teması en aza indirilmiştir. Bu sayede orijinal numunelerle çalışabilme imkânı elde edilmiştir. Laboratuvara getirilen linyit numuneleri için yapılan nem testlerine bakıldığında nem kaybının olmadığı tespit edilmiştir. Deneylerle beraber yapılan yaklaşık 50 nem ölçümü için elde edilen istatistiki bilgiler Çizelge 2.2’de verilmiştir. Elde edilen değerler temin edilen kömürlerin nem kaybına uğramadığını göstermektedir.

¹ [121] No’lu kaynaktan alınan resim düzenlenerek kullanılmıştır.

Çizelge 2.2 Nem ölçüm istatistikleri

Tane Boyutu, mm	Nem Oranı, %					
	Islak Bazda			Kuru Bazda		
	Ortalama	Minimum	Maksimum	Ortalama	Minimum	Maksimum
20	53.64	52.84	54.26	115.97	112.03	118.71
35	53.78	51.87	54.91	116.68	108.05	121.79
50	53.11	51.69	54.44	113.61	107.00	119.54

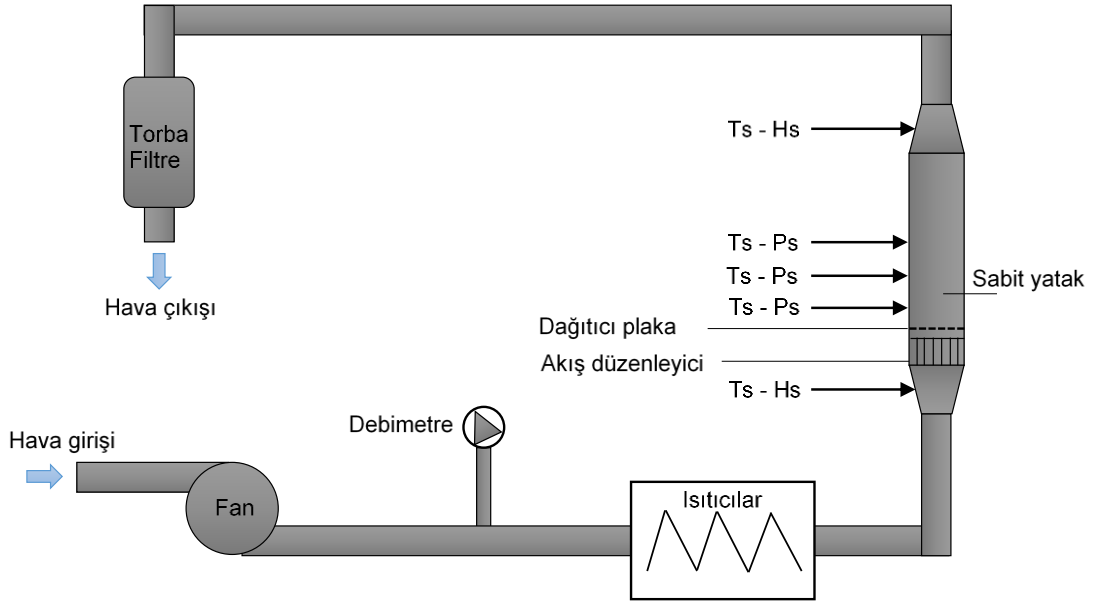
Konya-İlgın linyiti için yapılan ısıl değer tayini ve kısa analiz (proximate analysis) sonuçları Çizelge 2.3’de verilmiştir. Linyitin özelliklerine bakıldığında düşük kaliteli bir kömür olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.3 Konya-İlgın linyiti kısa analiz sonuçları ve ısıl değerleri (orijinal numune)

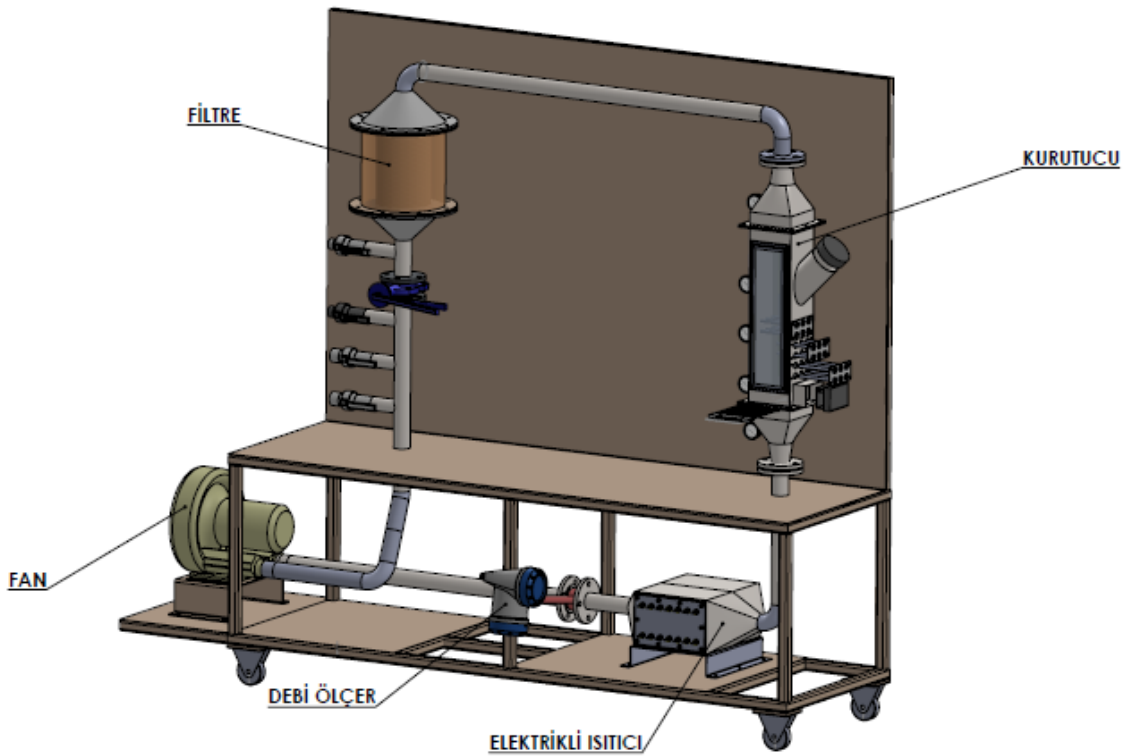
Parametre	Birim	Değer
Nem	%	52.42
Kül	%	8.79
Uçucu Madde	%	21.20
Sabit Karbon	%	17.59
AİD	kcal/kg	2144
ÜİD	kcal/kg	2561

2.2 Sabit Yatak Kurutucu Deney Sistemi

Kömür kurutma deneylerinde kullanılmak üzere kurutucu deney sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarım yapılırken farklı kurutma yöntemlerinin ve kurutma parametrelerinin analizinin tek deney seti ile uygulanabilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, kurutucu hem akışkan yatak hem de sabit yatak deneylerine uygun tasarlanmıştır. Ayrıca, hava, buhar ve azot olmak üzere 3 farklı akışkan ile kurutma deneyi yapılabilmesi planlanmıştır. Ek olarak, kurutucu yatak içerisine rezistans yerleştirilerek kurutucu içinin ısıtılmasının kurutmaya etkisi incelenebilmektedir. Yapılan tasarımın imalatı ASOS Mekatronik firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Cihazın şematik gösterimi, 3 boyutlu çizimi ve fotoğrafı sırasıyla Şekil 2.3, Şekil 2.5 ve Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.3 Deney setinin şematik gösterimi



Şekil 2.4 Deney setinin 3 boyutlu çizimi



Şekil 2.5 Deney setinin fotoğrafı

Hava sirkülasyonu frekans kontrollü fan yardımıyla sağlanırken, hava debisi orifis tipi bir debi ölçer ile ölçülmektedir. Hava sıcaklığı rezistanslarla ayarlanmaktadır. Toplam rezistans gücü $6 \times 1.5 = 9 \text{ kW}$ 'tır. Hava akışı kurutucunun hemen altındaki akış düzenleyici ile düzenlenmektedir. Numuneler paslanmaz çelikten imal edilen dağıtıcı plaka üzerinde durmaktadır. Deney seti üzerindeki sıcaklık (T_s), basınç (P_s) ve bağıl nem (H_s) sensörlerinin konumları Şekil 2.3'de verilmiştir. Deney setinin kontrolü Programlanabilir Mantıksal Denetleyici (PLC) ile sağlanmaktadır.

Kurutma deneylerinde kullanılan diğer ekipmanlar şu şekildedir:

- Nem tayin cihazı
- Hassas terazi
- Elek seti
- Fırın

Deney seti üzerindeki sensörlerin ve diğer ekipmanların özellikleri Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.4 Sensör ve ekipmanların özellikleri

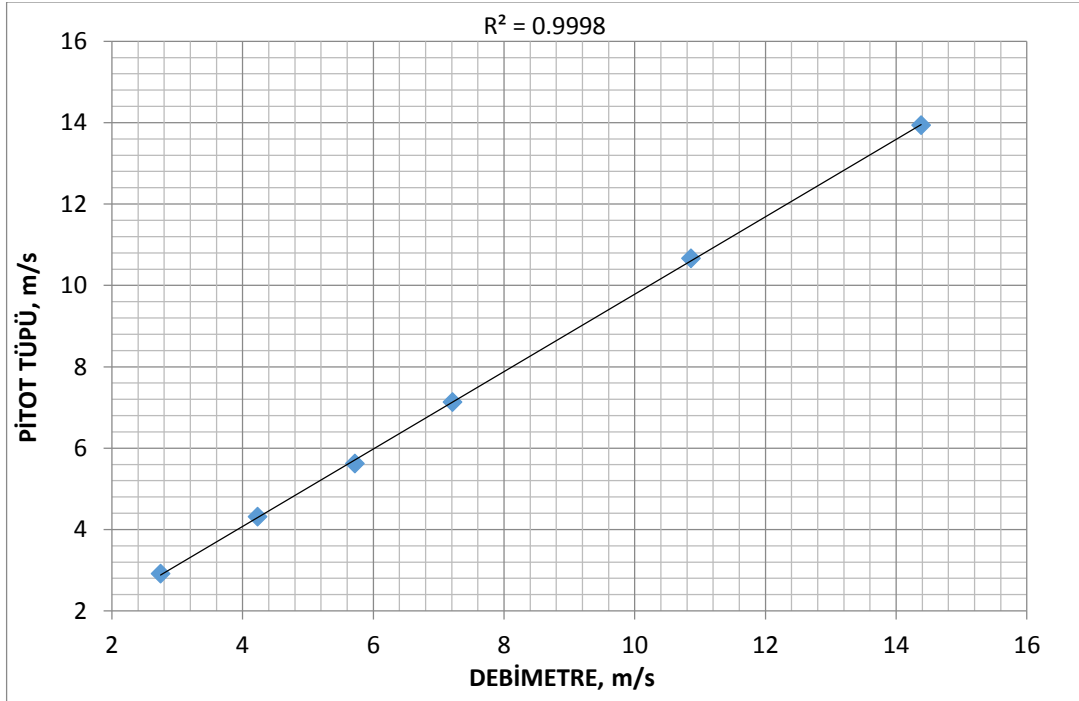
#	Adı	Marka	Model	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
1	Nem Tayin Cihazı	Sartorius	MA150Q	150 g 40 – 220 °C	1 mg - 0.01%
2	Hassas Terazı	Sartorius	CPA1003S-OCE	1000 g	1 mg
3	Fırın	Elektro-Mag	M 420 P	48 lt 5 – 250 °C	±1 °C
4	Debımetre (Orıfis Tipi)	Bass Instrument	FOFT.050.W.A.S4.T.IP.NG	40 - 400 m3/h	%1
5	PT100	-	-	-50 – 400 °C	±0.5 °C
6	Basınç Ölçer	-	-	0-100 mbar	%1
7	Nem-Sıcaklık Ölçer	Kımo	TH200	0 - 100 % -40 – 180 °C	±0.04 x (T-20)%RH ±0.5% of reading ±0.3°C

Bu çalışma kapsamında geliştirilen deney seti farklı şart ve yöntemlere uygundur. Bu çalışmada sadece sabit yatak ve kurutucu akışkanın hava olduğu durumlar için deneyler yapılmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve ANALİZLER

Deney setinin imalatı tamamlandıktan sonra test deneyleri yapılmıştır. Test deneyleri, deney sistemi boş ve kömür yüklü olmak üzere iki farklı durum için yapılmıştır. Bu sayede, deney setinin kullanımı pratik hale gelmiştir. Ayrıca, deney seti üzerindeki ekipmanların çalışması kontrol edilmiştir.

Test deneyleri kapsamında, debimetrenin kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon için Testo firmasının kalibrasyonu yeni yapılmış olan *Testo 512* adlı pitot tüpü kullanılmıştır. Elde edilen kalibrasyon eğrisi Şekil 3.1’de verilmiştir. Kalibrasyon sonucunda debimetrenin yüksek doğrulukta ölçümler yaptığı belirlenmiştir.



Şekil 3.1 Debimetre kalibrasyon eğrisi

Literatür taraması yapılarak kurutma üzerinde etkili önemli parametreler belirlenmiştir. Kurutmaya etki eden en önemli parametrelerin hemen hepsi bu deneyler kapsamında incelenmiştir. Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda incelenen parametreler ve bu parametrelerin aralıkları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Deney sistemi kurutma havası bağıl neminin kurutma üzerindeki etkisini incelemeye uygun olmadığı için bu parametre incelenememiştir.

Çizelge 3.1 Deneysel çalışmalarda dikkate alınan kurutma parametreleri

<i>Kurutma Parametreleri</i>	<i>Aralık</i>
Kurutma Havası Sıcaklığı (T)	70-160 °C
Kurutma Havası Hızı (V)	0.4-1.1 m/s
Kömür Boyutu (S)	10-50 mm
Kömür Yığın Yüksekliği (H)	50-250 mm
Kömür Şekli	Küre-Küp

Deneysel çalışmalarda takip edilen deney prosedürü Çizelge 3.2’de verilmiştir. Bu prosedür çerçevesinde kurutma deneyleri yapılmıştır. Deneyler için belirlenen numune alma zaman aralığı 10 dakika olarak belirlenmiştir. Ancak deneylerin durumuna göre bu süre daha uzun veya daha kısa olabilmektedir.

Çizelge 3.2 Deney prosedürü

1. Numune hazırlama: Deneyler öncesinde deney şartlarına uygun numunelerin hazırlanması.
 - Tek tane kurutma deneyleri için tek bir kömür tanesi alınarak istenen boyut ve şekle getirilir.
 - Tek boyut yığın kurutma deneyleri için istenen kömür çapına göre kömürler tek tek elle hazırlanır.
 - Farklı boyut aralıkları için istenen elek aralığına göre gerekli elemeler yapılarak istenen miktarda numuneler hazırlanır.
2. Deney sisteminin, içerisinde numune yokken, istenen çalışma şartlarına getirilir ve sürekliliği sağlanır. Kurutucu çıkışındaki nem ve sıcaklık ölçümlerinin sürekliliği kontrol edilir.
3. Sürekliliği sağlanan sistem durdurularak içeriye ağırlığı ölçülmüş numune beslenir ve istenen çalışma şartlarını sağlamak üzere cihaz tekrar çalıştırılır. Kayıtlar alınmaya başlanır.
4. Belirlenen zaman aralıklarında bütün sensörlerin ölçtüğü değerler kaydedilir.
 - Yığın deneylerinde, belirlenen zaman aralıklarında kurutucunun üst kısmından numuneler alınarak nem tayini için krozelere (porselen kap) konulur.
 - Tek tanecik deneylerinde, kurutucu içerisindeki numunenin ağırlığı hassas terazi ile ölçülerek kaydedilir.
5. Deney sonunda deney sisteminin soğuması için ısıtıcılar kapatılır ve fan açık bırakılır. Deney esnasında alınarak krozelere konulan numuneler nem tayini için fırına koyulur. Bir gece fırında (107 °C) bekletilerek numunelerin nem ölçümü yapılır.
6. Elde edilen sonuçlar incelenir.

Bütün deneysel çalışmalarda nem oranı hesabı Denklem 3.1 kullanılarak yapılmıştır:

$$M = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \quad (3.1)$$

burada M ıslak bazdaki (orjinal) nem oranı ($g_{nem}/g_{ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r}$), W_0 numunenin nem ölçümüne başlamadan önceki ağırlığı (g), W_t ise numunenin kuru ağırlığıdır (g). Kurutma hızı, kurutmanın hızını gösteren önemli bir parametredir. Kurutma hızı Denklem 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$DR = \frac{M_{t,1} - M_{t,2}}{t_2 - t_1} \quad (3.2)$$

burada DR kurutma hızı ($g_{nem}/g_{ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r.dk}$), M_t t anındaki nem oranı ($g_{nem}/g_{ıslak_k\ddot{o}m\ddot{u}r}$), t kurutma süresidir (dk).

Kurutma ile ilgili çalışmalarda genellikle nem oranı ifadesi kullanılır. Bu ifade değişen başlangıç nem oranlarının kurutma karakteristik eğrisi üzerindeki etkisini kaldırır ve sonuçların daha kolay yorumlanmasını sağlar. Nem oranı (MR) ile ilgili ifade Denklem 3.3'te verilmiştir:

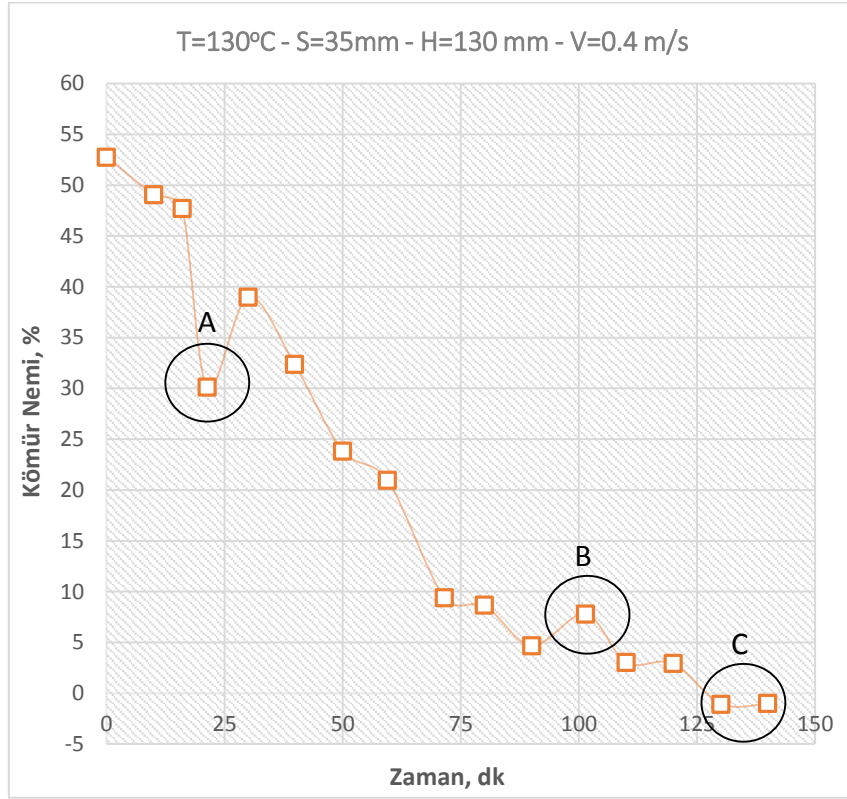
$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3.3)$$

burada M_e denge nem içeriğini, M_0 ise başlangıç nem içeriğini göstermektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde kurutma sonucundaki denge nemi genellikle sıfıra yakın çıkmıştır. Bu nedenle, basitleştirmek amacıyla nem oranı başka birçok çalışmada da olduğu gibi ([101] ve [75]) Denklem 3.4 ile hesaplanmıştır:

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \quad (3.4)$$

Yığın kurutma deneylerinin yapıış şekli incelendiğinde elde edilen bulgularda bazı sapmaların olabileceği görölmektedir. Deney esnasında alınan numunelerin yığının üst kısmından rastgele alınması ve kömürün doğasında olan değişkenlik sebebiyle ölçümlerde bir takım sapmaların olması öngörülmektedir. Dolayısıyla, deneysel bulguların bazı noktalarda sapmalar göstermesi normal karşılanmalıdır. Bu duruma örnek olarak deneysel bulgular Şekil 3.2'de verilmiştir. Örnek deney bulguları incelendiğinde birkaç noktada (daire içine alınmış noktalar) hatalı ölçümün olduğu görölmektedir. A noktasındaki hata, ölçülen nemin önceki ve sonraki nem ölçümlerine göre çok sapmış olmasıdır. Kurutma sırasında nemin sürekli azalması beklenir. Ancak, A noktası bir sonraki ölçüme göre daha düşük çıkmıştır. B noktasındaki hata da benzer şekilde, bir önceki ölçüm değerine göre daha yüksek çıkması durumudur. C noktasındaki

hata, kurutmanın sonlarına doğru yapılan nem ölçümlerinin sıfırın altında çıkması durumudur. Bu durumun mümkün olması söz konusu değildir. Yapılan deneysel çalışmalarda, A. B ve C noktalarındaki durumlara benzer hatalarla karşılaşılmıştır. Analizler yapılırken, hatalı verilerin olduğu noktalar hesaba katılmamıştır.



Şekil 3.2 Deneylerdeki ölçüm hatalarını gösteren deney bulguları

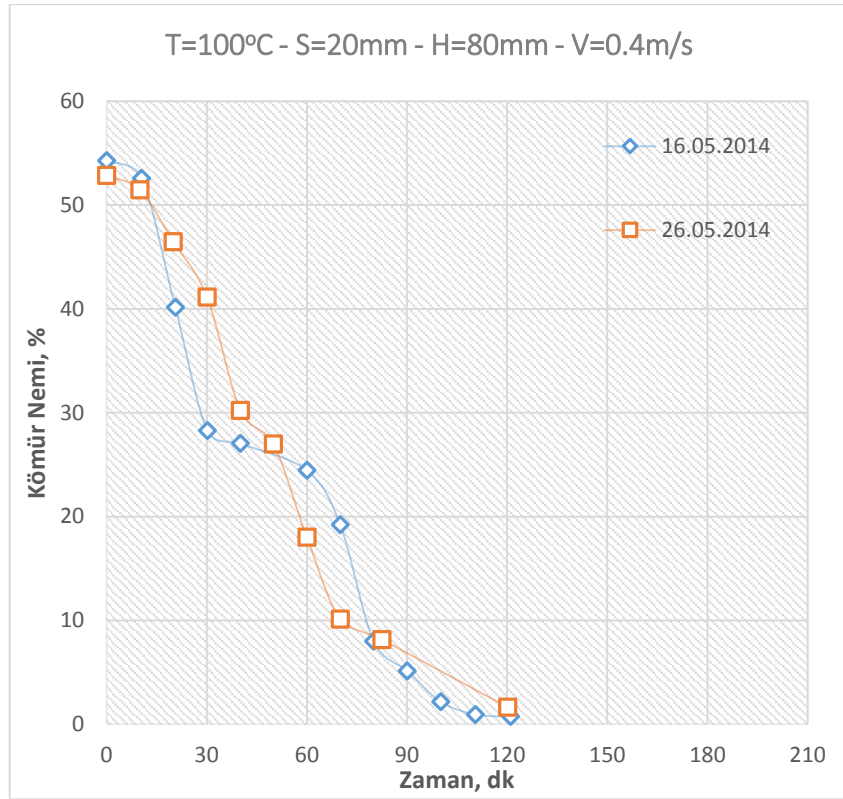
Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler dört alt bölümde incelenmiştir. Bu alt bölümler ve kısa açıklamaları aşağıda verilmiştir.

- **Tekrarlanabilirlik deneyleri:** Deney setinin çalışma güvenilirliğini ortaya koymak amacıyla yapılmıştır.
- **Tek tane kurutma deneyleri:** Yığın kurutmadaki yığın etkisini ortadan kaldırarak kurutmanın daha kolay anlaşılabilmesi için yapılmıştır. Kurutma ile ilgili temel bir fikir sahibi olabilmek için birkaç adet tek tane deneyi yapılmıştır.
- **Yığın kurutma deneyleri:** Konya-İlgın linyiti kurutma karakteristiğinin ve kurutucu tasarımı için gerekli parametrelerin değerlendirilebilmesi için yapılmıştır.

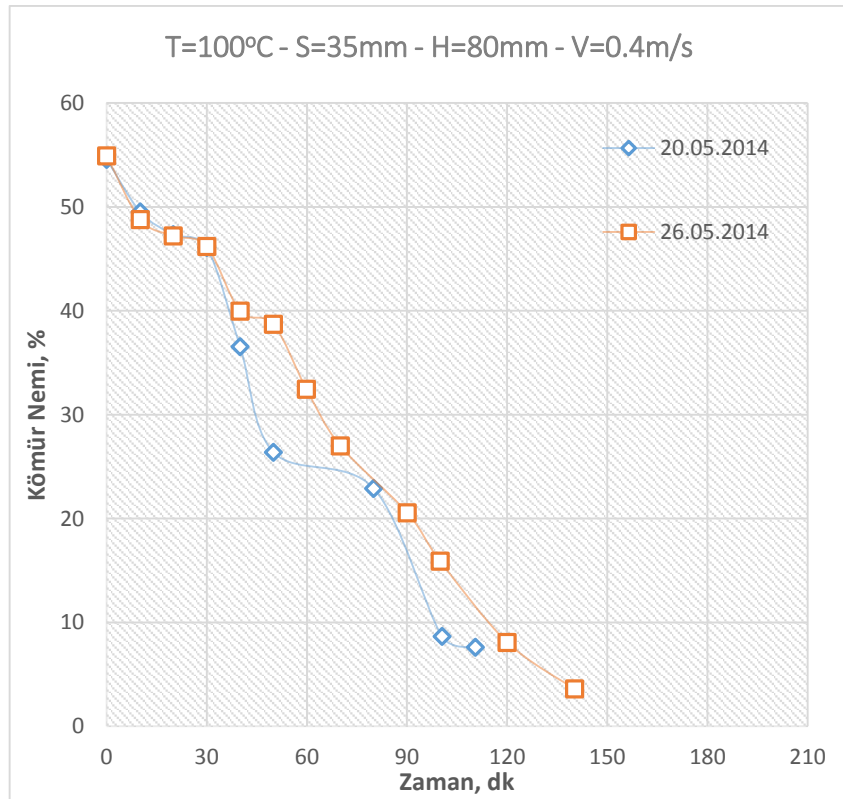
- **Kurutucu tasarım deneyleri:** Konya-İlgın linyiti kurutma karakteristiğine uygun kurutucu tasarımı için gerekli deneyler ve analizler bu bölümde verilmiştir.
 - **Tek boyut deneyleri:** Tek boyut için ön kurutucu tasarım deneyleri olarak yapılmıştır.
 - **Farklı boyut aralıkları için deneyler:** Kurutucu tasarımı için gerekli parametrelerin belirlenmesi için yapılmıştır.

3.1 Tekrarlanabilirlik Deneyleri

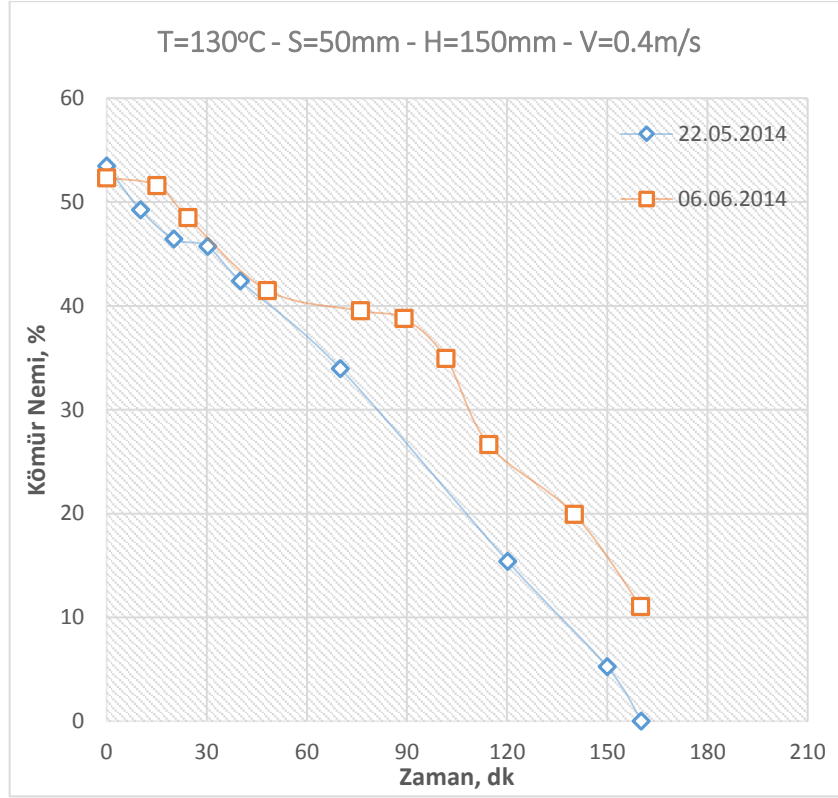
Deney setinin çalışma doğruluğunun analizi için tekrarlanabilirlik deneyleri gerekmektedir. Bu deneyler aynı şartlarda yapılan deneylerin sonuçları arasındaki paralelliğe bağlı olarak deney setinden elde edilecek sonuçların doğruluğunun ve güvenilirliğinin belirlenmesini sağlar. Bu deneyler farklı zamanlarda yapılarak deney setinin çalışması zamana bağlı olarak takip edilmiştir. Bu amaçla üç farklı deney tek boyuttaki yığın kömür numuneleri ile yapılmıştır. Deney bulguları Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de verilmiştir. Bulgular incelendiğinde, birbirlerine paralellik gösterdiği görülmektedir. Ortaya çıkan sapmaların, deney esnasındaki numune alma işleminin, yığının üst kısmından rastgele yapılması ve kömürün yapısındaki değişkenlik dolayısıyla doğal olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.3 Tekrarlanabilirlik deneyi 1



Şekil 3.4 Tekrarlanabilirlik deneyi 2

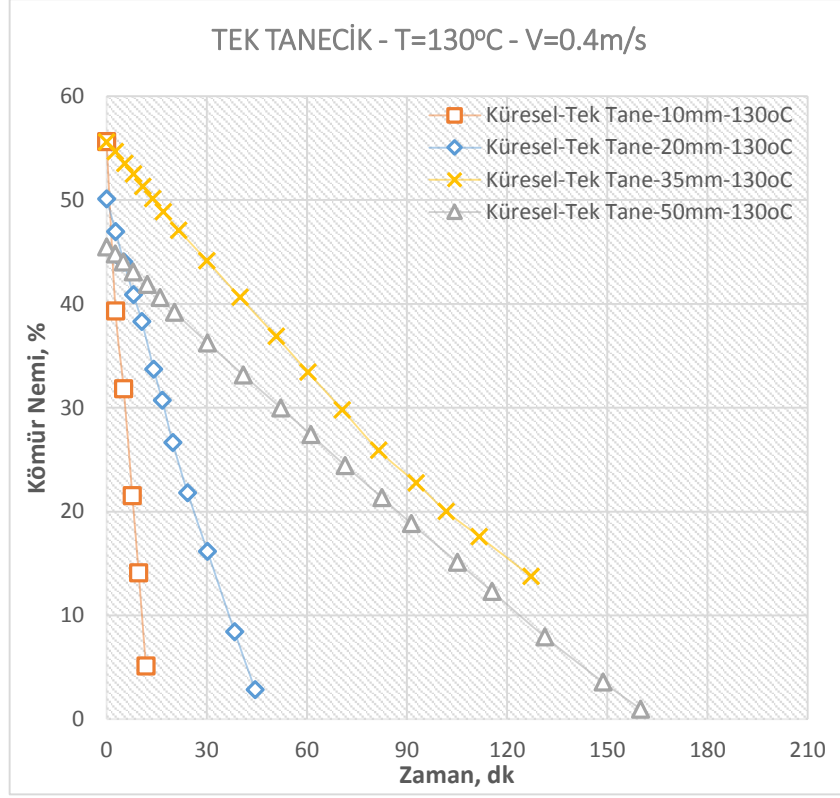


Şekil 3.5 Tekrarlanabilirlik deneyi 3

3.2 Tek Tane Kurutma Deneyleri

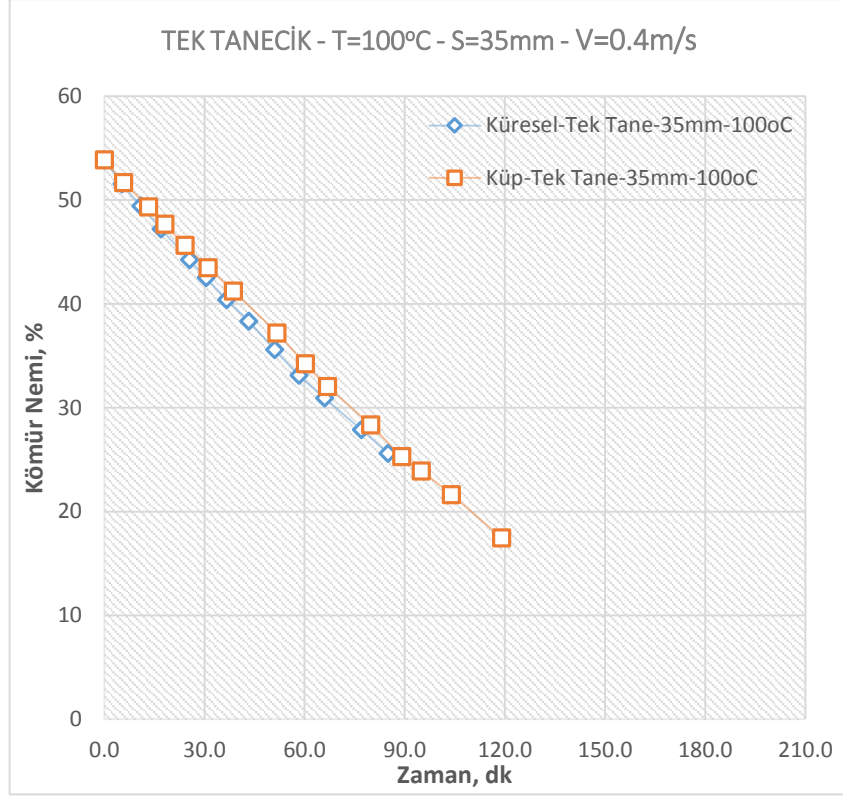
Bu deneylerin amacı, kömürün kurumasındaki temel etkin parametrelerin yığın kurutma davranışından bağımsız olarak ortaya konulmasını sağlamaktır. Bu deneyler, büyük tane kömürün kurutma karakteristiğinin belirlenmesi açısından önemlidir.

Şekil 3.6'da tek tanecik deneylerinden farklı boyutlardaki kömür taneleri için örnek bir deneyin bulguları verilmiştir. Farklı boyutlardaki numuneler ile yapılan deneylerde başlangıç nemlerinin birbirlerinden farklı oldukları görülmektedir. Bu durum, kömür neminin birçok parametreye (boyut gibi) bağlı olarak değişkenlik göstermesi dolayısıyla normaldir. Grafiğe bakıldığında nem-zaman eğrilerinin birbirlerinden farklı olduğu görülmektedir. Eğimler kurutmanın hızını vermektedir. Eğim arttıkça kurutma hızı da artmaktadır. Eğrilerin eğimine bakıldığında, kurutma havası hızı ve sıcaklığı sabit kaldığından küçük boyuttaki kömür tanesinin eğiminin büyük boyuttakine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Yani tane boyutu arttıkça kurutma hızı azalmaktadır.



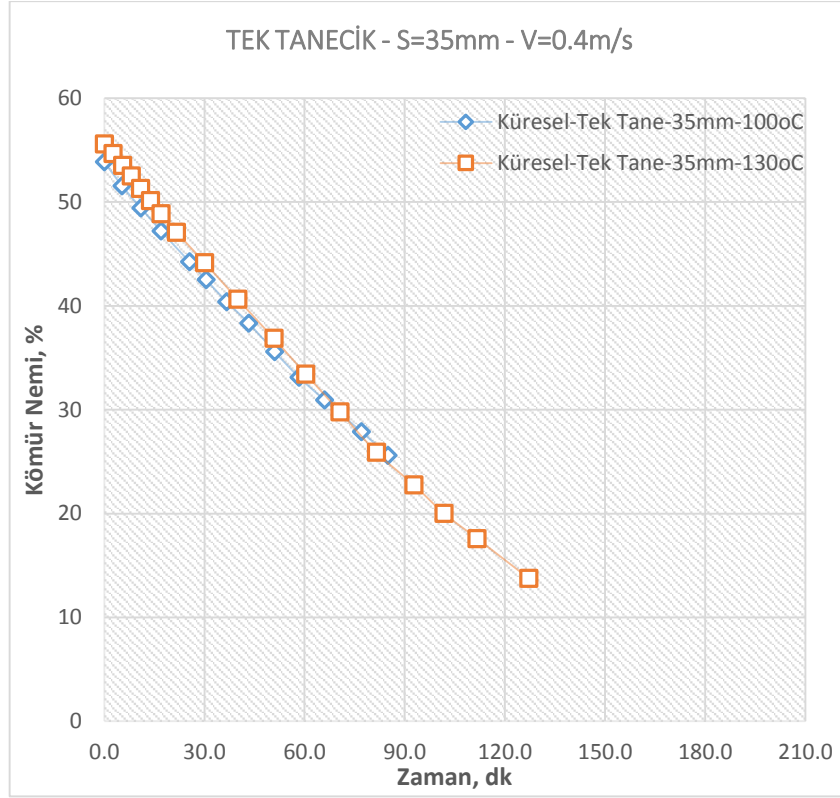
Şekil 3.6 Farklı boyutlardaki kömürler için küresel tek tanecik deneyleri

Şekil 3.7'ye bakıldığında iki farklı tane şekli için kurutma deneylerinin bulguları verilmiştir. Bu deneylerde küresel tanenin çapı 35 mm iken küp tanenin kenar uzunluğu 35 mm'dir. İki tane şekli arasındaki kurutma hızı farkı küpün ağırlığının biraz fazla olmasındandır. Şeklinden dolayı, kürenin merkezindeki nemin dış yüzeye kadar ilerleyeceği mesafe küpünkine göre daha azdır. Bu da grafikten görüldüğü gibi, kurutma hızının kürede daha hızlı olması demektir.



Şekil 3.7 Farklı tane geometrisi için tek tanecik deneyleri

Şekil 3.8’de iki farklı sıcaklıkta aynı şartlar altındaki numunelerin tek tanecik kurutma eğrileri verilmiştir. Numunelerin başlangıç nemleri farklıdır. Yukarıdaki yorumlara benzer bir şekilde, kurutma sıcaklığının artması kurutma hızının artması anlamına gelmektedir; grafiğe bakıldığında 130 °C’de yapılan kurutma deneyi eğrisinin eğiminin daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 3.8 Farklı sıcaklıklar için tek tanecik deneyleri

3.3 Yığın Kurutma Deneyleri

Yığın kurutma deneylerinde Çizelge 3.1’de verilen kurutma parametrelerinin etkisi incelenerek Konya-İlgın linyitinin kurutma karakteristiği belirlenmiştir. Daha sonra, bu parametrelere bağlı olarak kurutucu tasarımı ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Yığın kurutma deneylerinde kurutma karakteristiğini belirleyebilmek için tek kömür boyutları için yığın kurutma deneyleri ve bu deneylerin analizi verilmiştir. İncelenen parametreler kurutma havası sıcaklığı, kurutma havası hızı, kömür tane boyutu ve kömür yığın yüksekliğidir.

3.3.1 Kurutma Havası Sıcaklığının Etkisi

Literatür incelendiğinde; kurutucu akışkan sıcaklığının kurutma prosesi için en önemli parametrelerden birisi olduğu görülmüştür. Sıcaklığın artışı kurutma hızını artırır ve dolayısıyla da kurutma süresini azaltır. Ancak bu parametre için sınırlayıcı bir durum söz konusudur.

Kurutucu akışkan sıcaklığı arttıkça ısı ve kütle transferi iyileşmektedir [49]. Ancak, yüksek sıcaklıklar kurutulacak ürüne zarar verebileceğinden, her ürün için uygun sıcaklıkların belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin, gıda ürünleri yüksek sıcaklıklarda kurutulduğunda, özelliklerini koruyabilmesi genelde mümkün olmamaktadır. Ayrıca, sıcaklığın artmasıyla kurutma maliyeti de artmaktadır. Dolayısıyla, uygun kurutma sıcaklığı için optimizasyon çalışması yapılması gerekmektedir.

Kömür, kendi kendine yanmaya eğilimli bir maddedir. Bu nedenle, kömürün kendiliğinden yanması, hem depolanması ve taşınması hem de kurutulması sırasında dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Kömür belirli sürelerde depolanıyorsa, uzun mesafelere taşınıyorsa ve yanmadan önce belirli proseslerden geçiyorsa kendiliğinden yanma riski söz konusudur. Bunun dışında kömürün madenden çıkarılması aşamasında da kendiliğinden yanma riski bulunmaktadır [8].

Kömürün kalitesi (sınıfı) de kendiliğinden yanma eğilimini etkilemektedir [8]. Kömürün kalitesinin artması kendiliğinden yanma eğiliminin azalması anlamına gelmektedir [8]. Konya-İlgin linyiti düşük kaliteli bir kömür olması dolayısıyla kendiliğinden yanma yatkınlığının yüksek olabileceği öngörülmektedir. Ancak, Konya-İlgin linyitinin kendiliğinden yanma yatkınlığı daha önce incelenmediği için kesin bir sıcaklık limiti söylemek mümkün değildir.

Literatür incelendikten sonra, 160 °C'nin denenmesine karar verilmiştir. 160 °C için yapılan kurutma deneyinde doğrudan kömür alev alarak yanmaya başlamıştır. Bu nedenle daha düşük bir sıcaklık olan 130 °C için deneyler yapılmıştır. Bu deneyde, herhangi bir yanma sorunu görülmediği için tez kapsamında yapılan deneylerde maksimum sıcaklık olarak 130 °C kullanılmıştır. Tez kapsamında yapılan çalışmalarda 3 farklı kurutma havası sıcaklığı (70, 100 ve 130 °C) ile deneyler yapılmıştır.

Kurutma havası sıcaklığının kurutma üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerin bulguları Şekil 3.9-Şekil 3.14'de verilmiştir. 70 °C kurutma havası sıcaklığında yapılan deneylerde (Şekil 3.9, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13) denge nemi sıfıra gelmemektedir. Bu sıcaklıktaki denge nemi yaklaşık % 10'dur.

Grafiklerden görüleceği üzere, kurutma süresi sıcaklık arttıkça azalmakta ve kurutma hızı sıcaklık arttıkça yükselmektedir. Şekil 3.9 incelendiğinde, denge nemine ulaşmak için

gerekli süre 70, 100 ve 130 °C kurutma sıcaklıkları için sırasıyla 170, 116 ve 76 dakikadır. Aynı durum için, kurutma hızları 70, 100 ve 130 °C hava sıcaklıkları için sırasıyla 0.27, 0.47 ve 0.70 g/g.dk olarak hesaplanmıştır. 130 °C'deki kurutma hızı 100 °C'dekinden % 50 fazla iken 70 °C'dekinden % 75 daha fazladır.

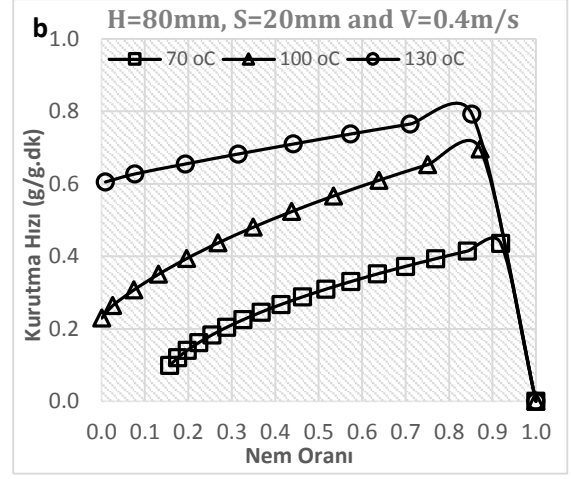
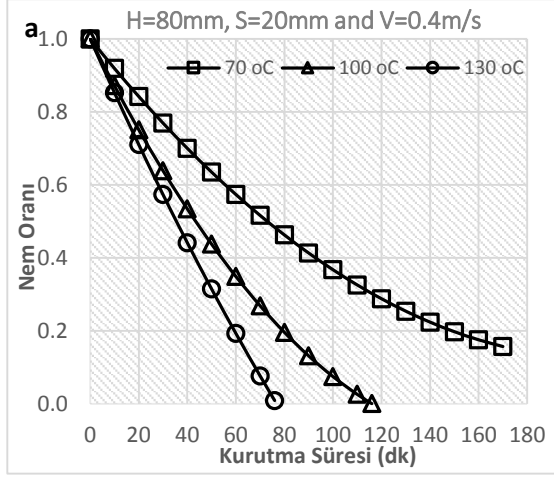
100 ve 130 °C hava sıcaklıkları için, Şekil 3.9-Şekil 3.11'deki durumlar arasındaki tek fark hava hızlarıdır. Şekil 3.9-Şekil 3.11'deki durumlar için 100 ve 130 °C hava sıcaklıklarındaki kurutma süreleri sırasıyla 116-76, 84-57 ve 70-41 dakikadır. Dolayısıyla, bir ürünün kurutulması için gerekli olan süre hava hızının artmasıyla azalır.

Şekil 3.12'deki şartlar için, 70, 100 ve 130 °C hava sıcaklıklarında denge nemine gelme süreleri sırasıyla 180, 146 ve 97 dakika, kurutma hızları ise 0.23, 0.43 ve 0.54 g/g.dk olarak hesaplanmıştır. 130 °C'deki kurutma hızı 100 °C'dekinden % 44 fazla iken 100 °C'deki kurutma hızı 70 °C'dekinden % 64 daha fazladır. Şekil 3.9 ve Şekil 3.12'deki durumlar mukayese edildiğinde, kurutma havası sıcaklığının kurutma hızı üzerindeki etkisi tane boyutu arttıkça azalmaktadır.

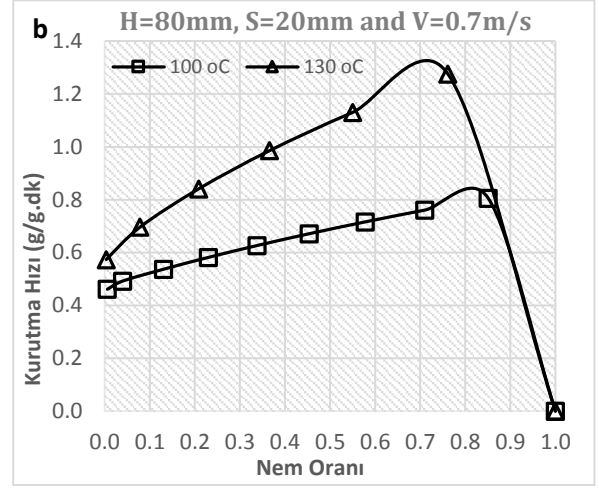
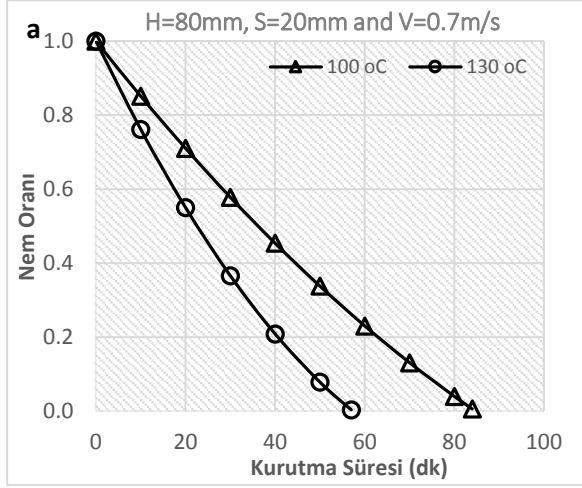
Şekil 3.13'deki şartlar için, 70, 100 ve 130 °C hava sıcaklıklarında denge nemine gelme süreleri sırasıyla 270, 200 ve 123 dakika, kurutma hızları ise 0.16, 0.27 and 0.43 g/g.dk olarak hesaplanmıştır. 130 °C'deki kurutma hızı 100 °C'dekinden % 58 fazla iken 100 °C'deki kurutma hızı 70 °C'dekinden % 68 daha fazladır. Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'deki durumlar karşılaştırıldığında, kurutma havası sıcaklığının kurutma hızı üzerindeki etkisi yığın yüksekliği arttıkça artmaktadır. Bir ürünün kurutulması için gerekli süre yığın yüksekliği arttıkça artmaktadır.

Şekil 3.14'deki bulgulara göre, 100 ve 130 °C kurutma sıcaklıklarında denge nemine gelme süreleri sırasıyla 320 ve 170 dakikadır. Bir ürünün kurutulması için gerekli süre tane boyutu arttıkça artmaktadır.

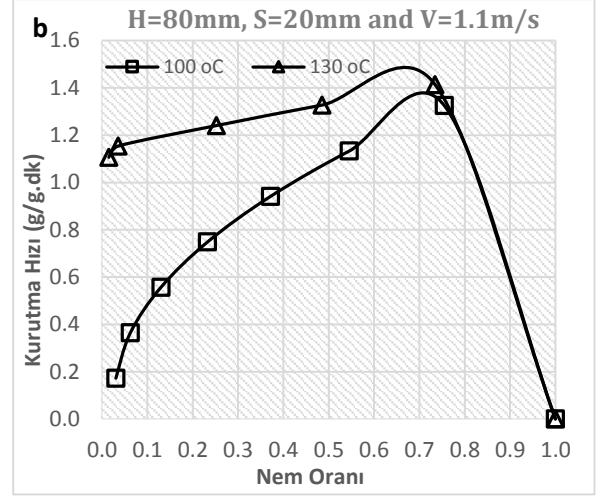
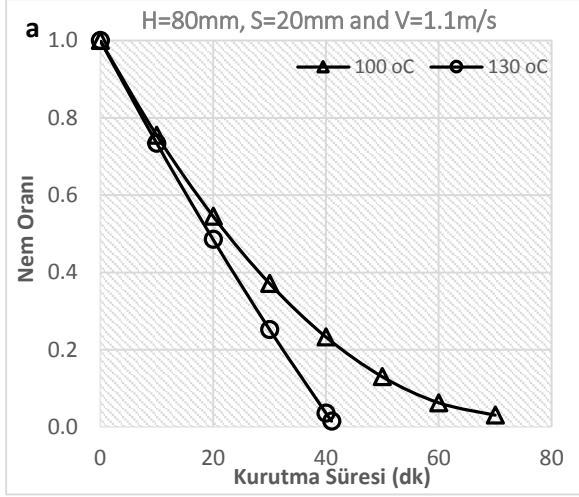
Kurutmanın başlangıç periyodunda kurutma sıcaklığının önemli bir etkisi gözükmemektedir. Bu zaman diliminde kömür ısınmakta ve yüzeydeki serbest nem buharlaşmaktadır. Sıcaklığın etkisiyle kurutma eğrileri arasındaki fark zamanla açılmaktadır.



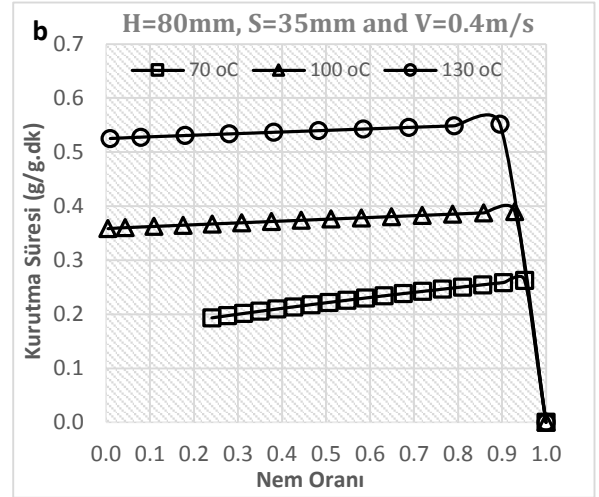
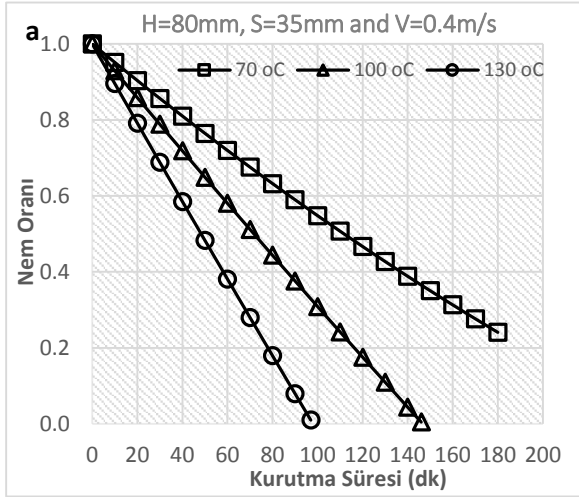
Şekil 3.9 Hava sıcaklığının kurutmaya etkisi (H=80mm, S=20mm ve V=0.4m/s)
(a) Nem Oranı ve Zaman; (b) Kurutma Hızı ve Nem Oranı



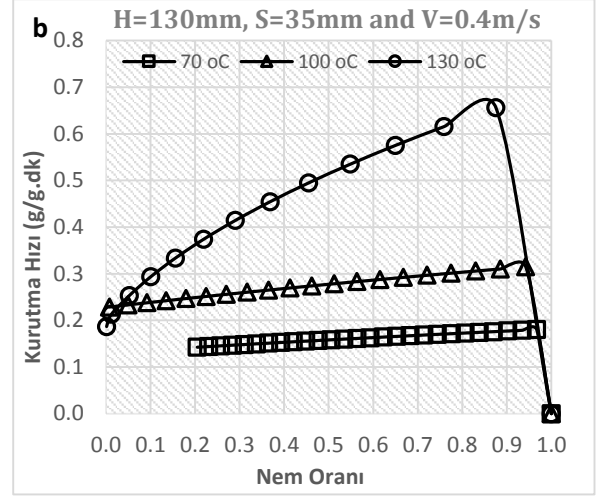
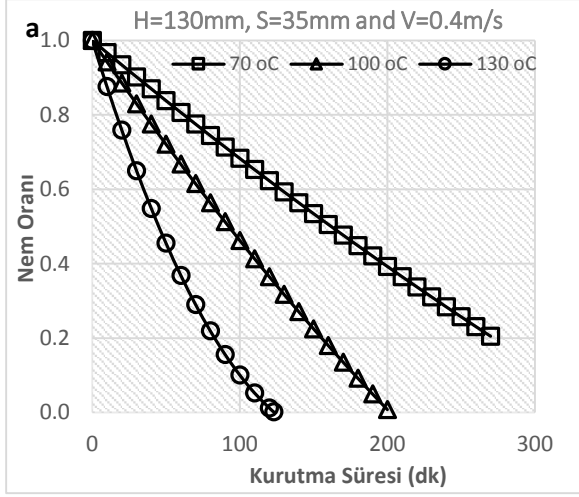
Şekil 3.10 Hava sıcaklığının kurutmaya etkisi (H=80mm, S=20mm ve V=0.7m/s)
(a) Nem Oranı ve Zaman; (b) Kurutma Hızı ve Nem Oranı



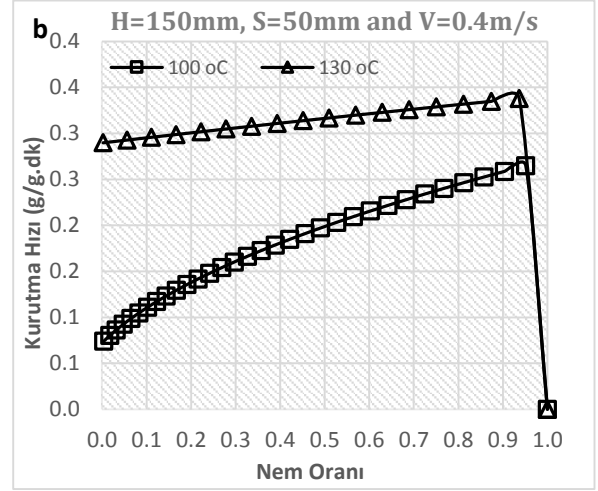
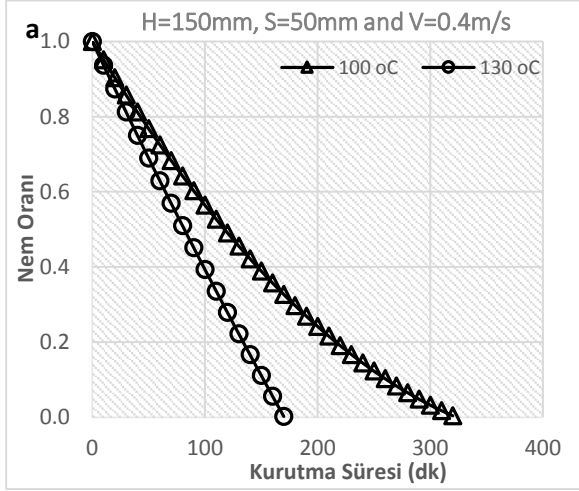
Şekil 3.11 Hava sıcaklığının kurutmaya etkisi (H=80mm, S=20mm ve V=1.1m/s)
(a) Nem Oranı ve Zaman; (b) Kurutma Hızı ve Nem Oranı



Şekil 3.12 Hava sıcaklığının kurutmaya etkisi (H=80mm, S=35mm ve V=0.4m/s)
(a) Nem Oranı ve Zaman; (b) Kurutma Hızı ve Nem Oranı



Şekil 3.13 Hava sıcaklığının kurutmaya etkisi (H=130mm, S=35mm ve V=0.4m/s)
(a) Nem Oranı ve Zaman; (b) Kurutma Hızı ve Nem Oranı



Şekil 3.14 Hava sıcaklığının kurutmaya etkisi (H=150mm, S=50mm ve V=0.4m/s)
(a) Nem Oranı ve Zaman; (b) Kurutma Hızı ve Nem Oranı

3.3.2 Kurutma Havası Hızının Etkisi

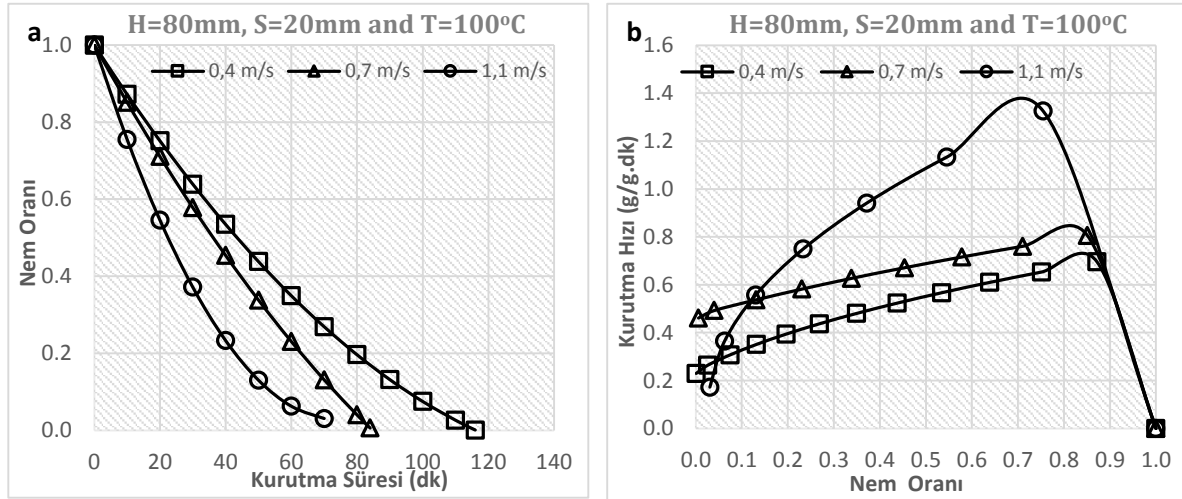
Kurutucu akışkan hızının kurutma üzerindeki etkisi çalışmaların hemen hepsinde incelenen bir konudur. Akışkan yatak deneyleri için ise ayrı bir öneme sahiptir. Minimum akışkanlaştırma hızına bağlı olarak analizler yapılmıştır.

Sabit yatak kurutma prosesinde de kurutucu akışkan hızı önemli bir parametredir. Hız arttıkça kütle ve ısı transferi iyileşmektedir ([112], [124] ve [125]). Havanın bağıl nem artışı hava hızı arttıkça azalmakta, bunun sonucu olarak da nemin kömür yüzeyinden havaya transferi kolaylaşmaktadır. Ayrıca, hava sıcaklığının yatak boyunca olan değişimi

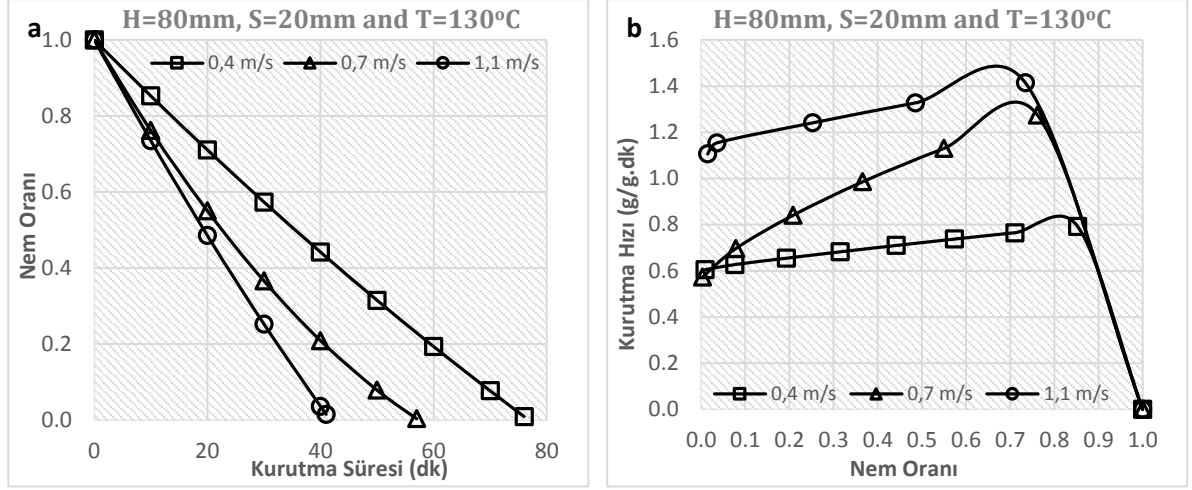
de hava hızı arttıkça azalmaktadır. Dolayısıyla, hava hızı arttıkça kurutma hızı artmakta ve kurutma süresi azalmaktadır.

Kurutma havası hızının artması kurutma prosesini iyileştirmekle birlikte, hava akışı için harcanan maliyetleri (elektrik tüketimi ve yatırım maliyetleri) de artırmaktadır. Bu nedenle, hava hızının belirlenmesi de optimizasyonla yapılmalıdır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, düşük hava hızları ile kurutma yapılmasının yaygın olduğu görülmüştür. Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde üç farklı kurutma havası hızı (0.4, 0.7 ve 1.1 m/s) kullanılmıştır.

Kurutma havası hızının kurutma üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerin bulguları Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da verilmiştir. Grafiklere bakıldığında, kurutma havası hızı arttıkça kurutma süresinin azaldığı ve kurutma hızının arttığı görülebilir. Şekil 3.15'deki deney şartları için, 0.4, 0.7 ve 1.1 m/s hava hızlarında kurutma hızları sırasıyla 0.47, 0.64 ve 0.75 g/g.dk'dır. Şekil 3.16'daki deney şartları için, 0.4, 0.7 ve 1.1 m/s hava hızlarında kurutma hızları sırasıyla 0.70, 0.94 ve 1.28 g/g.dk'dır. Hava hızı ısı ve kütle transferini etkilemektedir. Dolayısıyla, hava hızının artışı elde edilen deney bulgularında da görüldüğü üzere daha iyi ısı ve kütle transferi anlamına gelmektedir [112].



Şekil 3.15 Hava hızının kurutmaya etkisi (H=80mm, S=20mm ve T=100°C)
(a) Nem Oranı ve Zaman; (b) Kurutma Hızı ve Nem Oranı



Şekil 3.16 Hava hızının kurutmaya etkisi (H=80mm, S=20mm ve T=130°C)
(a) Nem Oranı ve Zaman; (b) Kurutma Hızı ve Nem Oranı

3.3.3 Kömür Tane Boyutunun Etkisi

Kömür tane boyutu kurutma yöntemini önemli ölçüde belirleyen bir parametredir. Örneğin, 10 mm'den büyük taneli bir ürün için akışkan yatak kurutma yönteminin uygulanması pratik değildir. Bu nedenle, kurutulacak ürünün boyutunun kurutma yöntemi ile beraber ele alınması gerekmektedir. Gerekirse, kırma, öğütme ve eleme prosesleri kurutma prosesine dâhil edilmelidir.

Kömür tane boyutunun azalması ile kütle ve ısı transfer yüzey alanları artar [80,101]. Nem transfer mesafesi kömür tane boyutu arttıkça da artar. Dolayısıyla, kömür tane boyutunun artması kurutma süresinin artmasına ve kurutma hızının azalmasına neden olur.

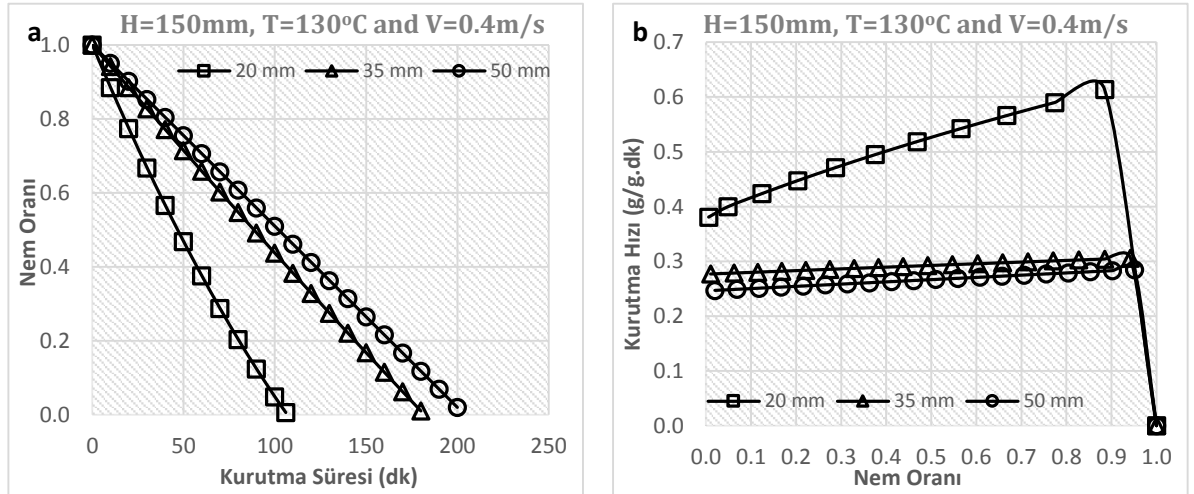
Bu tez kapsamında incelenen Konya-İlgın linyitlerinin kurutulacağı boyut aralığı 20-50 mm olarak belirlenmiştir. Bu boyut aralığı evsel kullanım amacıyla tüketilen kömürler için minimum boyut olan 18 mm düşünülerek belirlenmiştir [126]. Tek boyuttaki yığın kurutma deneylerinde 20, 35 ve 50 mm olmak üzere 3 farklı boyut için kurutma deneyleri yapılmıştır.

Kömür tane boyutunun kurutma üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerin bulguları Şekil 3.17 - Şekil 3.20'de verilmiştir. Elde edilen grafikler incelendiğinde, büyük tane boyutuna sahip yığınların daha uzun kurutma sürelerine ve daha düşük kurutma hızlarına sahip oldukları görülebilir.

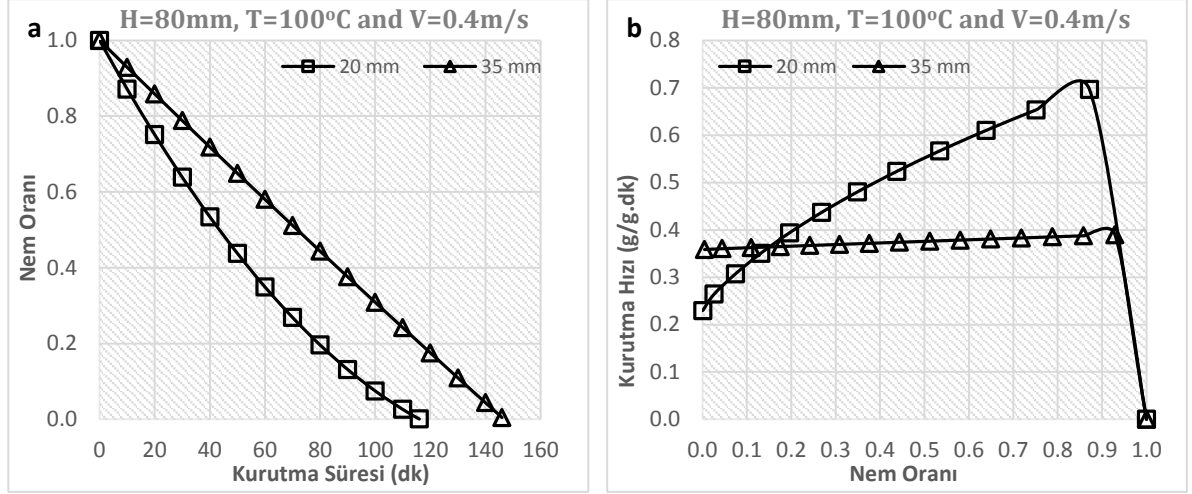
Şekil 3.17'deki deney şartları için, 20, 35 ve 50 mm tane boyutlarında denge nemine ulaşma süreleri sırasıyla 106, 180 ve 200 dakika iken kurutma hızları sırasıyla 0.50, 0.29 ve 0.26 g/g.dk'dır. 20 mm tane boyutunun kurutma hızı 35 mm'nin kurutma hızından % 72 fazla iken, 35 mm tane boyutunun kurutma hızı 50 mm'nin kurutma hızından % 12 daha fazladır.

20 ve 35 mm tane boyutları için Şekil 3.17 ve Şekil 3.19'daki deneyler arasındaki tek fark yatak yığın yüksekliğidir. 80 mm yığın yüksekliği durumu için (Şekil 3.19), 20 ve 35 mm tane boyutlarındaki kurutma süreleri sırasıyla 76 ve 97 dakikadır. Elde edilen bu bulgulardan, bir ürünün kurutulması için gereken süre; tane boyutunun artması ile ve yatak yığın yüksekliğinin artması ile artar.

80 mm yığın yüksekliği deneyi için (Şekil 3.18), 20 ve 35 mm tane boyutlarındaki kurutma süreleri sırasıyla 116 ve 146 dakikadır. Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'daki deney bulgularına göre, tane boyutunun kurutma süresi üzerindeki etkisi kurutma havası sıcaklığının her iki değeri (100 ve 130 °C) için de benzerdir.

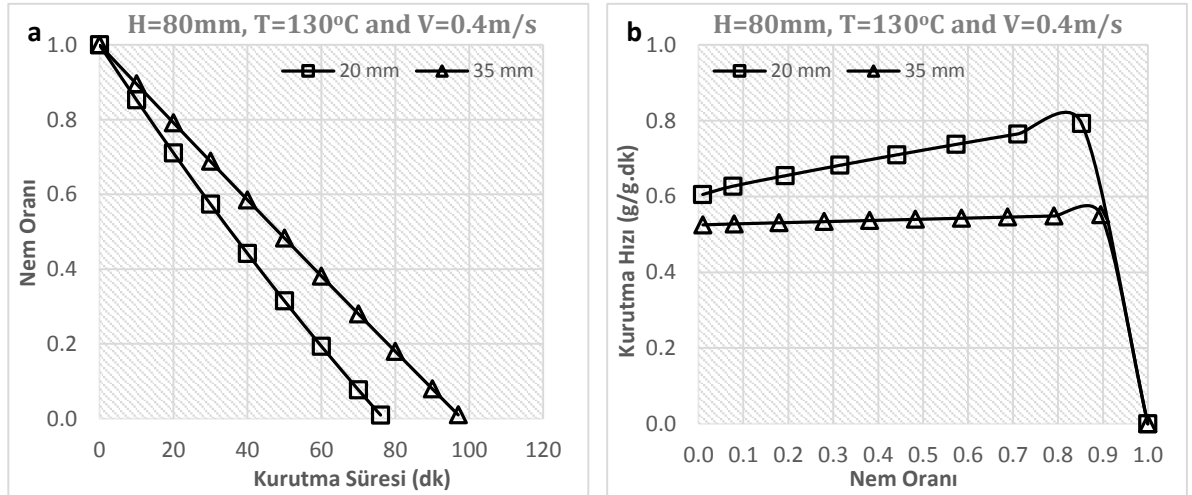


Şekil 3.17 Tane boyutunun kurutmaya etkisi (H=150mm, T=130°C ve V=0.4m/s)
(a) Nem Oranı ve Zaman; (b) Kurutma Hızı ve Nem Oranı

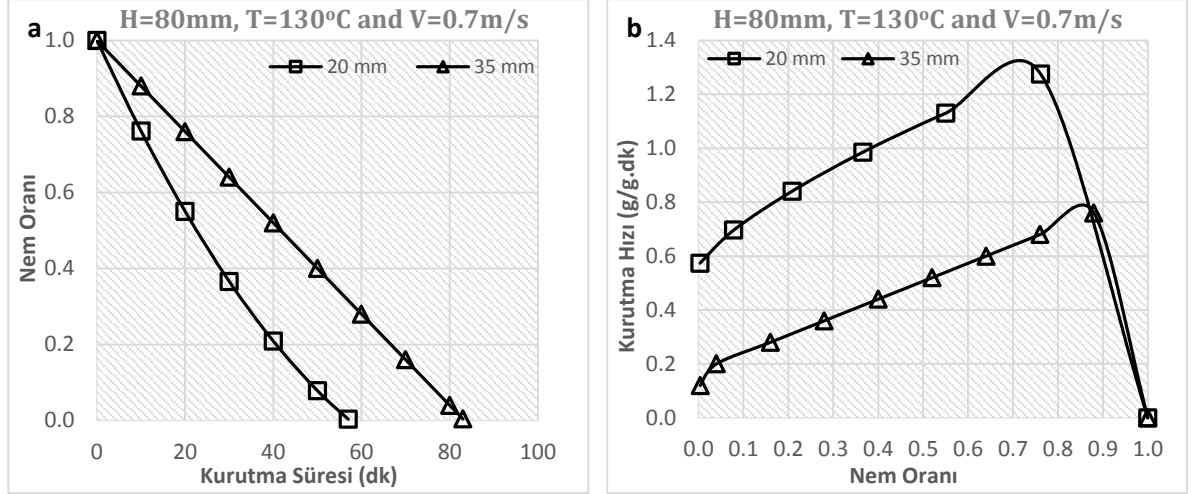


Şekil 3.18 Tane boyutunun kurutmaya etkisi ($H=80\text{mm}$, $T=100^\circ\text{C}$ ve $V=0.4\text{m/s}$)
(a) Nem Oranı ve Zaman; (b) Kurutma Hızı ve Nem Oranı

Şekil 3.20'deki deney şartları için, 20 ve 35 mm tane boyutlarında denge nemine ulaşma süreleri sırasıyla 57 ve 83 dakika iken kurutma hızları sırasıyla 0.94 ve 0.64 g/g.dk'dır. 20 mm tane boyutunun kurutma hızı 35 mm'nin kurutma hızından % 47 fazladır. Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'deki deney şartları mukayese edildiğinde, tane boyutunun kurutma hızı üzerindeki etkisinin kurutma havası hızının artmasıyla arttığı görülebilir.



Şekil 3.19 Tane boyutunun kurutmaya etkisi ($H=80\text{mm}$, $T=130^\circ\text{C}$ ve $V=0.4\text{m/s}$)
(a) Nem Oranı ve Zaman; (b) Kurutma Hızı ve Nem Oranı



Şekil 3.20 Tane boyutunun kurutmaya etkisi (H=80mm, T=130°C ve V=0.7m/s)
(a) Nem Oranı ve Zaman; (b) Kurutma Hızı ve Nem Oranı

3.3.4 Kömür Yığın Yüksekliğinin Etkisi

Yığın yüksekliği, kurutma prosesini ve kurutma debisini etkileyen önemli bir parametredir. Yığın yüksekliğinin artması aynı şartlar için kurutucu çıkış debisinin artması anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, yığın yüksekliğinin artması kurutulacak ürün miktarının artması, dolayısıyla da kurutma sürelerinin artması demektir [115].

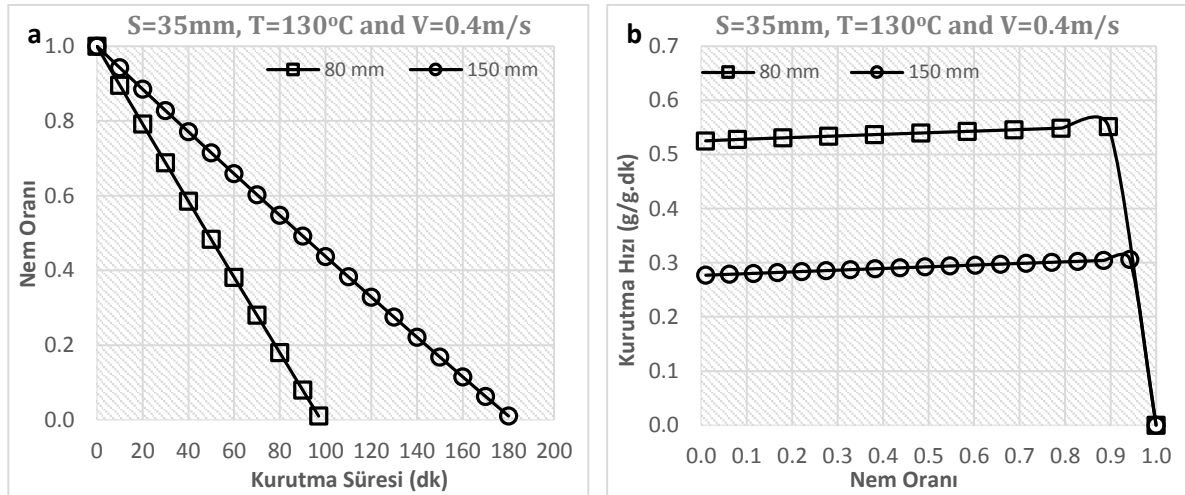
Bu çalışma kapsamında 80, 130 ve 150 mm olmak üzere üç farklı yığın yüksekliği denenmiştir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak yığın yüksekliğinin etkisi ortaya konulmuştur (Şekil 3.21, Şekil 3.22 ve Şekil 3.23).

DeneySEL çalışmalar sonucu elde edilen grafikler incelendiğinde, yığın yüksekliğinin artmasıyla kurutma sürelerinin arttığı ve kurutma hızlarının azaldığı görülmektedir. Yatak yığın yüksekliğinin değişmesi yatak boyunca kurutma havası sıcaklığının ve bağıl neminin değişmesine de neden olur [112]. Bu nedenle, kurutma süresi artar.

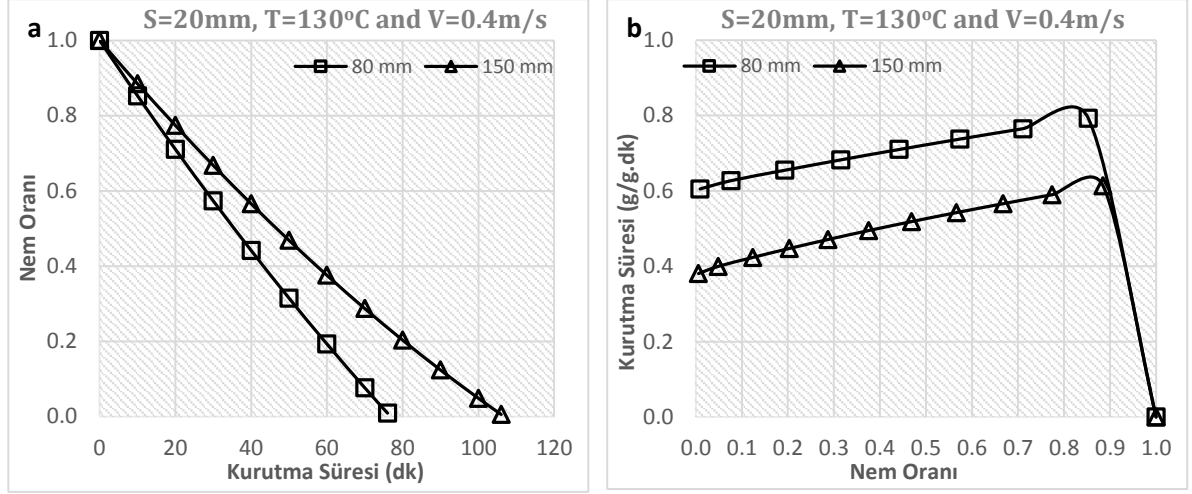
Linyit tanelerinin nem içeriği yatak boyunca değişir. Bunun nedeni, kurutma havası özelliklerinin (sıcaklık ve bağıl nem) alt seviyeden üst seviye doğru değişmesidir [112]. Bu nedenle, yatak yüksekliğinin değişimi kurutma prosesinde önemli bir parametredir. Sabit kesit alanı olan bir kurutucu için, yatak yüksekliğinin değişimi aynı zamanda linyit miktarının da değişimi anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, yatak yığın yüksekliğinin kurutma prosesi üzerindeki etkisi sadece linyit miktarına bağlı değildir. Yatak boyunca kurutma havasının özelliklerini de etkiler.

35 mm tane boyutu durumu için (Şekil 3.21), 80 ve 150 mm yığın yüksekliği durumlarındaki kurutma süreleri sırasıyla 97 ve 180 dakika iken kurutma hızları sırasıyla 0.54, 0.43 ve 0.30 g/g.dk'dır. 20 mm tane boyutu durumu için (Şekil 3.22), 80 ve 150 mm yığın yüksekliği durumlarındaki kurutma süreleri sırasıyla 76 ve 106 dakika iken kurutma hızları sırasıyla 0.70 ve 0.50 g/g.dk'dır. Bir ürünün kurutulması için gereken süre yığın yüksekliğinin artması ile artar [112]. Yatak yüksekliğinin kurutma süresi üzerindeki negatif etkisi tane boyutu arttıkça artar.

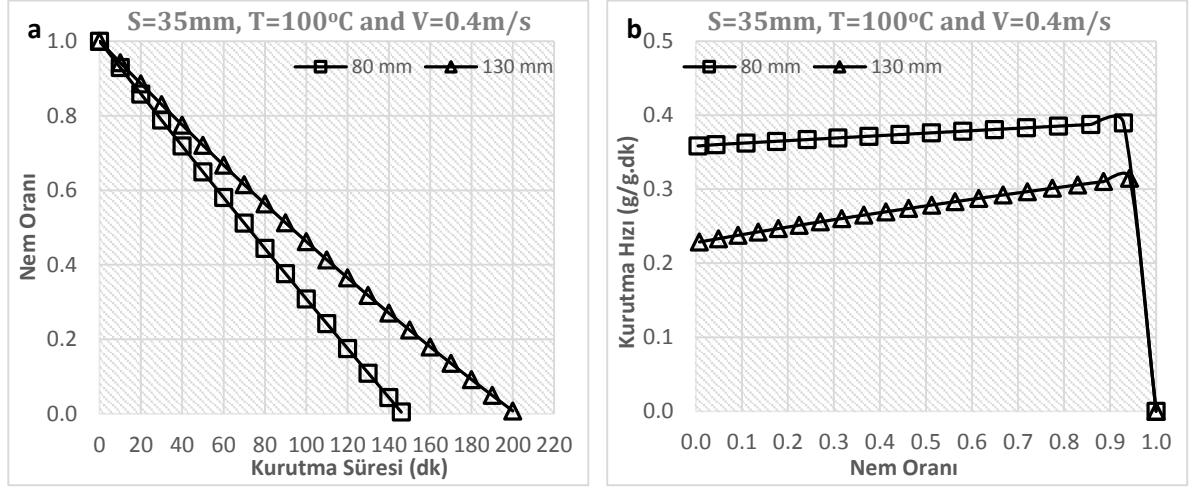
Şekil 3.23'deki deney şartları için, denge nemine ulaşma süreleri 80 ve 130 mm tane boyutu durumları için sırasıyla 146 ve 200 dakika iken kurutma hızları sırasıyla 0.37 ve 0.27 g/g.dk'dır. 80 mm tane boyutu durumundaki kurutma hızı 130 mm'deki tane boyutuna göre % 27 daha fazladır.



Şekil 3.21 Yığın yüksekliğinin kurutmaya etkisi (S=35mm, T=130°C ve V=0.4m/s)
(a) Nem Oranı ve Zaman; (b) Kurutma Hızı ve Nem Oranı



Şekil 3.22 Yığın yüksekliğinin kurutmaya etkisi (S=20mm, T=130°C ve V=0.4m/s)
(a) Nem Oranı ve Zaman; (b) Kurutma Hızı ve Nem Oranı



Şekil 3.23 Yığın yüksekliğinin kurutmaya etkisi (S=35mm, T=100°C ve V=0.4m/s)
(a) Nem Oranı ve Zaman; (b) Kurutma Hızı ve Nem Oranı

3.3.5 Genel Değerlendirme

Bu bölümde, yığın kurutma deneylerinin genel değerlendirilmesi yapılmıştır. Örnek bir deney şartı için kurutma sıcaklığı ve tane boyutuna bağlı olarak % 20 son nem hedefi durumundaki kurutma süreleri Çizelge 3.3'de verilmiştir. Burada referans şart olarak 100 °C alınmıştır ve farklar bu duruma göre hesaplanmıştır. Sıcaklık azaldığında oluşan fark sıcaklık arttığında oluşan farktan daha azdır. Bu durum gösteriyor ki sıcaklık artışının kurutma üzerindeki etkisi azalarak devam etmektedir.

Çizelge 3.3 % 20 nem hedefi için kurutma süreleri (H=80mm ve V=0.4m/s)

<i>Sıcaklık</i>	<i>S=20 mm</i>	<i>Fark %</i>	<i>S=35 mm</i>	<i>Fark %</i>
70 °C	96 dk	(+) 41	142 dk	(+) 67
100 °C	68 dk	0	85 dk	0
130 °C	44 dk	(-) 35	60 dk	(-) 29

Farklı son nem hedefi durumları için, kurutma sıcaklığı ve tane boyutuna bağlı olarak kurutma hızlarındaki değişim Çizelge 3.4’de verilmiştir. Buradaki farklar 20 ve 35 mm’lik tane boyutları arasındaki farkı göstermektedir. Görüleceği üzere, hedef son nem azaldıkça kurutma hızları düşmektedir. Ayrıca, aynı hedef nem ve sıcaklık durumunda, boyut arttıkça kurutma hızları düşmektedir. Bu düşüş, hedef nem azaldıkça ve sıcaklık arttıkça azalmaktadır.

Çizelge 3.4 Farklı son nem hedefleri için kurutma hızları (g/g.dk) (H=80mm ve V=0.4m/s)

<i>Sıcaklık</i>	<i>Son Nem</i>	<i>S=20 mm</i>	<i>S=35 mm</i>	<i>Fark %</i>
70 °C	%35	0.399	0.249	(+) 60
	%25	0.362	0.240	(+) 51
	%15	0.320	0.230	(+) 39
100 °C	%35	0.653	0.442	(+) 48
	%25	0.621	0.439	(+) 41
	%15	0.567	0.436	(+) 30
130 °C	%35	0.772	0.548	(+) 41
	%25	0.751	0.546	(+) 38
	%15	0.731	0.543	(+) 35

Çizelge 3.5’de % 25 son nem hedefi durumu için farklı kurutma havası hızlarındaki kurutma hızlarının değişimi verilmiştir. Burada, farklar referans durum olarak kabul edilen 0.4 m/s hava hızı durumuna göre hesaplanmıştır. Hava hızı arttıkça kurutma hızları da artmaktadır.

Çizelge 3.5 Farklı kurutma havası hızı değerleri için kurutma hızları (g/g.dk) (H=80mm ve son nem % 25)

<i>Sıcaklık</i>	<i>Hava Hızı</i>	<i>S=20 mm</i>	<i>Fark %</i>
100 °C	0.4 m/s	0.621	0
	0.7 m/s	0.738	(+)19
	1.1 m/s	1.181	(+)90
130 °C	0.4 m/s	0.751	0
	0.7 m/s	1.167	(+)55
	1.1 m/s	1.371	(+)83

Çizelge 3.6’da % 25 son nem hedefi durumu için farklı yığın yüksekliklerindeki kurutma hızlarının değişimi verilmiştir. Burada, farklar referans durum olarak kabul edilen 80 mm yığın yüksekliği durumuna göre hesaplanmıştır. Kurutma hızı yığın yüksekliğinin artması ile azalır. Yatak yüksekliğinin kurutma hızı üzerindeki etkisi tane boyutu arttıkça artar.

Çizelge 3.6 Farklı yığın yükseklikleri için tane boyutuna bağlı kurutma hızlarının (g/g.dk) değişimi (V=0.4 m/s ve son nem % 25)

<i>Sıcaklık</i>	<i>Yığın Yüksekliği</i>	<i>S=20 mm</i>	<i>Fark %</i>	<i>S=35 mm</i>	<i>Fark %</i>
130 °C	80 mm	0.751	0	0.546	0
	150 mm	0.566	(-)33	0.299	(-)83

Çizelge 3.7’de % 25 son nem hedefi durumu farklı yığın yüksekliklerindeki kurutma hızlarının değişimi verilmiştir. Burada, farklar referans durum olarak kabul edilen 80 mm yığın yüksekliği durumuna göre hesaplanmıştır. Yığın yüksekliği arttıkça hızlar düşmekte ve bu düşüş sıcaklık arttıkça artmaktadır.

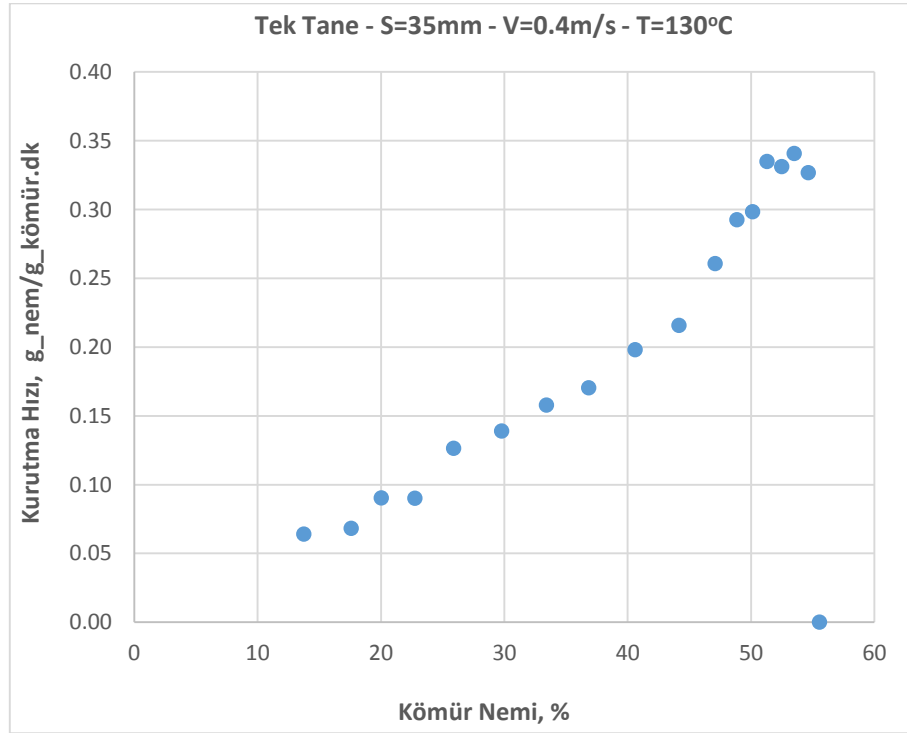
Çizelge 3.7 Farklı yığın yükseklikleri için sıcaklığa bağlı kurutma hızlarının (g/g.dk) değişimi (V=0.4 m/s ve son nem % 25)

<i>Sıcaklık</i>	<i>Yığın Yüksekliği</i>	<i>S=35 mm</i>	<i>Fark %</i>
70 °C	80 mm	0.240	0
	130 mm	0.168	(-)30
100 °C	80 mm	0.439	0
	130 mm	0.294	(-)33
130 °C	80 mm	0.546	0
	150 mm	0.299	(-)45

Tipik bir kurutma hızı-nem eğrisinde sabit ve azalan kurutma hızı aşamaları olmak üzere 2 aşama vardır [127]. Sabit kurutma hızı aşamasında, ürün yüzeyi neme doymuştur ve yüzeydeki serbest nem buharlaştırılır. Bu nedenle, bu aşamada, kurutma hızı çoğunlukla dış şartların etkisindedir. Azalan kurutma hızı aşamasında, ürün yüzeyi artık doymuş değildir. Bu nedenle, kurutma hızı içsel etkilerin kontrolü altındadır. Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde, kurutma hızı ve nem oranı arasındaki ilişkilerden de görülebileceği üzere, Konya-Ilgın linyiti sadece uzun ve azalan kurutma hızı eğrisine sahiptir. Konya-Ilgın linyitinin kurutma eğrilerinde sabit kurutma hızı eğrisi görülmemektedir. Sabit kurutma hızı eğrisi olmaması Konya-Ilgın linyitinin kurumasında iç difüzyonun en baskın mekanizma olduğunu göstermektedir. Bu durum Referans [111] ve [128]'de olduğu gibi bazı kömür kurutma çalışmalarında görülen bir durumdur. Bu durum ayrıca bazı biyolojik ve tarım ürünlerinin kurutulmasında da görülmüştür [129,130].

Sabit kurutma aşamasının görülmemesi durumu için deneylerde kullanılan tane boyutlarının klasik kurutma çalışmalarına göre daha büyük olmasının etkisinin olabileceği değerlendirilmiştir. Tane boyutunun büyük olması kömürün birim kütlesine olan ısı transferinin düşük olması yani ısınma süresinin uzun olması anlamına gelmektedir. Kömüre olan ısı transferi ile kömür yüzeyindeki nemin difüzyonu iç içe geçtiğinden sabit kurutma hızı aşaması çok kısa sürecek ve tam olarak görülmeyecektir. Deneylerdeki numune alma süreleri ortalama 10 dakika olduğundan grafiklerde sabit

kurutma hızı bölgesinin tespiti mümkün olmamıştır. Bu durumu açıklayabilmek için tek tane kömürün kurutulması deneyi yapılarak ve numune alma süreleri 2 dakikalara indirilerek sabit kurutma hızı aşamasının görülmesi sağlanmıştır (Şekil 3.24). İlk 8 dakikalık kurutma periyodunda sabite yakın bir kurutma hızı periyodu görülmektedir. Sonuç olarak, yapılan deneysel çalışmalardaki numune alma süreleri, kömür tane boyutları ve sabit kurutma hızı aşamasının çok kısa sürmesi dolayısıyla Konya-İlgın linyitinin kurutma karakteristiği eğrilerinde sabit kurutma aşamsı görülmemektedir. Bu durum, her kömürün kendine has yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Konya-İlgın kömürünün yapısından (gözenek yapısı, difüzivite, vb.) dolayı sabit kurutma hızı aşaması çok kısa sürmektedir.



Şekil 3.24 Tek tane kömür kurutma karakteristiği

3.4 Kurutucu Tasarım Deneyleri

Önceki bölümde (Bölüm 3.3), Konya-İlgın linyitinin kurutma karakteristiği belirlenmiştir. Kurutma prosesi üzerindeki etkin parametrelerin (kurutma havası sıcaklığı ve hızı, tane boyutu ve yığın yüksekliği) ayrı ayrı ve beraber olmak üzere değerlendirmeleri ve incelemeleri yapılmıştır. Bu bölümde ise, Konya-İlgın linyitinin kurutulması amacıyla, kurutucu tasarımı için önemli bir kriter olan kurutucu çıkışındaki uflanma oranı, ısı

değer ve nem oranı parametrelerine bağlı olarak yapılan deneysel çalışmaların bulguları verilmiştir.

‘Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’, sınır değerlerin aşılmadığı il ve ilçelerde ısınma amaçlı kullanılacak yerli kömürlerin sahip olması gereken özellikleri Çizelge 3.8’deki gibi belirlemiştir. Konya-İlgın linyitinin kükürt oranı henüz analiz yapılmadığı için bilinmemektedir. AİD orijinal kömürde 2144 kcal/kg olmakla beraber kurutma işlemi sonrası artacaktır. Nem oranı orijinal kömürde % 52.42 olmakla beraber kurutma ile azaltılacaktır. Kül orijinal bazda % 8.79, kuru bazda ise % 18.47 olduğu için yönetmelik açısından hesap gerektirmemektedir. Ufalanma oranı ise deney şartları ve kömür yapısına bağlı olarak incelenmesi gereken bir parametredir.

Çizelge 3.8 Yönetmeliklerdeki kısıtlamalar [126]

Yerli Kömürlerin Özellikleri	Sınırlar
Toplam Kükürt (kuru bazda)	max. % 2.3
AİD (orijinalde)	min. 3500 Kcal/kg (-200 tolerans)
Toplam Nem (satışa sunulan)	max. %30
Kül (kuru bazda)	max. %30
Boyut	18-150 mm (18 mm altı max. %10 tolerans, 150 mm üstü max.% 10 tolerans)

Kurutma esnasında üründeki ısıl gerilmeler dolayısıyla, üründe kırılmalar ve çatlamlar olur. Bu durum ürünün tamamının aynı anda ısıtılamamasından kaynaklanır. Ürün yüzeyleri kısa sürede ısınırken, ürünün iç kısımlarının ısınması zaman alır. Böylece ürün içerisinde sıcaklık farklarından dolayı ısıl gerilmeler oluşur ve ürün parçalanmaya başlar. Bu çalışmada, kömür tane boyutunun kurutma ile değişimi ufalanma ile ifade edilmiştir.

Ufalanma oranı, kurutucudan çıkan kömürlerin referans elek delik çapına göre, elek altında kalan kömür miktarı ile kurutucuya giren kömür miktarı arasındaki oranı ifade etmektedir. Ufalanma ile ilgili olan kısıtlama ısıtma amaçlı yerli kömür kullanımı ile ilgili mevzuatlarda % 10 olarak verilmiştir [126]. Bu oran, çok yüksek neme sahip Konya-İlgın linyiti için ulaşılması güç bir hedeftir. Bu nedenle, kurutucu çıkışındaki hedef ufalanma oranını % 15 olarak öngörülmüştür. Ufalanma oranı hesaplanırken, ‘Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’ referans alınarak, 18 mm delik çaplı elek kullanılmıştır [126]. Kurutma sonrası elek altında kalan kömür miktarı ile girişteki

toplam kömür miktarı arasındaki oran ufalanma oranını vermektedir (Denklem 3.5). Ufalanma oranı ifadesi, giren kömürün yüzde kaçının ufalandığını göstermektedir.

$$Ufalanma\ Oranı = 100 \cdot \frac{18\ mm\ elek\ altı\ kömür\ miktarı\ (g)}{Girişteki\ toplam\ kömür\ miktarı\ (g)} \quad (3.5)$$

Deney bulguları incelenirken hesaplanan bir diğer parametre de kurutma ile buharlaştırılan nemin oranını ifade eden buharlaşan nem oranıdır (Denklem 3.6). Bu parametre kömürün girişte sahip olduğu nemin ne kadarını kaybettiğini göstermektedir. Kurutucu ile ilgili gerekli tasarımlar yapıldıktan sonra kurutucu kapasitesine bağlı olarak kömürden birim zamanda ne kadar suyun buharlaştırılacağı önemli bir bilgidir.

$$Buharlaşan\ Nem\ Oranı = 100 \cdot \frac{Girişteki\ nem\ miktarı\ (g)}{Çıkıştaki\ nem\ miktarı\ (g)} \quad (3.6)$$

Kurutulan kömürün ısı değeri azalan nem miktarına bağlı olarak değişmektedir. AID'deki değişim Denklem 3.7 ile hesaplanabilir:

$$AID_t = \frac{AID_0 + 540 \cdot w_{buh}}{1 - w_{buh}} \quad (3.7)$$

burada AID₀ ve AID_t başlangıç ve t anındaki kömürün alt ısı değerini ifade ederken w_{buh} kurutma ile 1 kg kömürden buharlaştırılacak nem miktarı demektir.

Kömür çıkış nem içeriği ve ısı değeri; kurutma şartlarına ve kömürün yapısına bağlı olarak kurutma süresi ayarlanarak ulaşılabilecek hedeflerdir. Ancak, bu parametreler belirlenirken aynı zamanda ufalanma oranını da istenen değer aralığında tutmak her zaman mümkün değildir. Dolayısıyla, kurutma şartları ve istenen kurutucu çıkışı kömür özellikleri arasındaki ilişki belirlenerek en uygun kurutma şartları ve kurutma süresi tespit edilmelidir. Bu nedenle, 3 parametre için ayrı ayrı deneysel çalışmalar yapılmıştır. Hedeflenen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Kömür son nemi % 25
- Ufalanma Oranı % 15
- Kömür alt ısı değeri 3300 kcal/kg

Belirlenen kurutucu çıkış hedefleri çerçevesinde tek boyuttaki ve farklı boyut aralıklarındaki kömürler için kurutma deneyleri yapılarak sonuçlar iki alt bölümde verilmiştir.

Bu deneylerde, önceki deneylerden farklı olarak ara numune alınmamıştır, yani kurutma, belirlenen sürede bitirilmiştir. Numune alma işlemi ise sadece belirlenen süre bitiminde yapılmıştır. Numune alma işlemi kurutucu içerisindeki kömür yığınının en üst ve en alt kısımlarından farklı boyutlarda olacak şekilde yapılmıştır. Ayrıca, kurutucu içerisinde ufalanan numunelerin de nemi ölçülmüştür. Yığının ortalama nem içeriği ise bu üç nem değerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Nem ölçme işlemi en az 1 en fazla 3 numune alınarak yapılmıştır.

3.4.1 Tek Boyut Deneyleri

Bu deneyler Bölüm 3.3'deki deneylere paralel olarak tek boyuttaki kömürler için yapılmıştır. Kurutucu tasarımı için hedeflenen şartları dikkate alarak yapılan deneyler farklı sürelerle göre yapılmıştır. Seçilen tane boyutları 35 ve 50 mm'dir. Kurutma havası sıcaklığı 100 ve 130 °C ve hava hızı 0.4 m/s olarak seçilmiştir. Yığın yüksekliği ise 150 mm olarak belirlenmiştir.

50 mm tane boyutu için yapılan deneylerin bulguları Çizelge 3.9'da verilmiştir. Bulgular incelendiğinde, aynı sıcaklık şartı durumunda, süre arttıkça çıkış nemi düşmekte, buharlaşan nem oranı, ufalanma oranı ve AID artmaktadır.

Eşit sürelerde (75 dk) yapılan 100 ve 130 °C'lerdeki deneyler mukayese edildiğinde, sıcaklık arttıkça çıkış nemi azalmakta, buharlaşan nem oranı, ısıl değer ve ufalanma oranı artmaktadır.

Çizelge 3.9 50 mm için tasarım deneyleri (H=150 mm ve V=0.4 m/s)

<i>Deney No</i>	<i>Sıcaklık</i>	<i>Süre</i>	<i>Son Nem</i>	<i>Ufalanma</i>	<i>Buharlaşan Nem</i>	<i>AID</i>
#	°C	dk	%	%	%	kcal/kg
1	130	100	18.67	14.51	74.57	4048
2	130	75	25.35	13.19	61.32	3671
3	100	75	35.19	3.64	48.54	3116
4	100	80	28.82	5.39	51.46	3476

35 mm tane boyutu için yapılan deneylerin bulguları Çizelge 3.10'da verilmiştir. Kurutma havası sıcaklığının 100 °C olduğu durum için beklendiği gibi, süre arttıkça çıkış nemi düşmekte, buharlaşan nem oranı ve AID artmaktadır. Ufalanma oranı ise süre arttıkça

önce artmakta sonra da azalmaktadır. Bu sonuç nem buharlaşma oranı ve ufalanma oranı arasındaki ilişkiye bağlı olarak oluşmaktadır.

Ufalanma oranı nem oranı ile doğrudan ilişkili olduğu için kömürün zamana bağlı nem değişimi ve ufalanma oranı değişimi birbirini etkilemektedir. Kurutma esnasında, içeriye konulan numuneler zamana bağlı olarak parçalanmakta yani ufalanmaktadır. Bununla birlikte, ufalanan kömür taneleri aynı zamanda kurumaktadır. Ufalanan kömürlerin tane boyutları çok küçük olduğu için kurumaları da hızlı olmaktadır. Nemin ufalanan kömürden uzaklaşma hızı ile küçük parçaların kömürden kopma hızı arasındaki ilişkiye bağlı olarak ufalanma oranı değeri elde edilir. Dolayısıyla, süre arttıkça ufalanma oranının sürekli artması kuruma hızı ile arasındaki ilişkiye bağlıdır.

Eşit sürede (65 dk) yapılan deneyler mukayese edildiğinde, sıcaklık arttıkça çıkış nemi azalmakta, buharlaşan nem oranı, ısıl değer ve ufalanma oranı artmaktadır.

Çizelge 3.10 35 mm için tasarım deneyleri (H=150 mm ve V=0.4 m/s)

<i>Deney No</i>	<i>Sıcaklık</i>	<i>Süre</i>	<i>Son Nem</i>	<i>Ufalanma</i>	<i>Buharlaşan Nem</i>	<i>AID</i>
#	°C	dk	%	%	%	kcal/kg
1	130	65	23.30	16.60	72.81	3787
2	100	65	28.88	8.07	55.77	3472
3	100	80	26.05	14.68	63.46	3632
4	100	85	25.44	10.18	69.76	3666

Tek boyut deneylerinden görüleceği üzere, kurutma sıcaklığı ve kurutma süresi arttıkça ve tane boyutu azaldıkça kurutucu çıkış nemi azalmakta ve ısıl değeri artmaktadır. Sıcaklık ve tane boyutu süreye bağlı olarak çıkış nemini, çıkış nem değeri de ısıl değeri önemli ölçüde etkilemektedir. Kurutucudan çıkan kömürün nemi yaklaşık % 32 olduğunda, kömürün alt ısıl değeri hedef olarak belirlenen 3300 kcal/kg seviyesine yükselmektedir. 100 °C kurutma havası sıcaklığı şartı için 50 ve 35 mm tane boyutu durumunda % 32 çıkış nemi ve 3300 kcal/kg AID hedefi için gerekli kurutma süreleri sırasıyla yaklaşık 78 ve 47 dakikadır. Bu iki durumda oluşacak ufalanma oranı sırasıyla % 4 ve 6'dır.

Ufalanma oranı zamana bağılı olarak sürekli bir artış göstermemektedir. Kömürün kuruma hızına da bağılı olarak önce artmakta bir noktadan sonra da azalmaya başlamaktadır. Kömürden parça kopma hızı ile kuruma hızı arasındaki ilişkiye bağılı olarak ufalanma oranı azalması görülmektedir. Genel olarak bakılırsa, kurutma havası sıcaklığı ve tane boyutu ufalanma oranını önemli ölçüde etkilemektedir.

3.4.2 Farklı Boyut Aralıkları için Deneyler

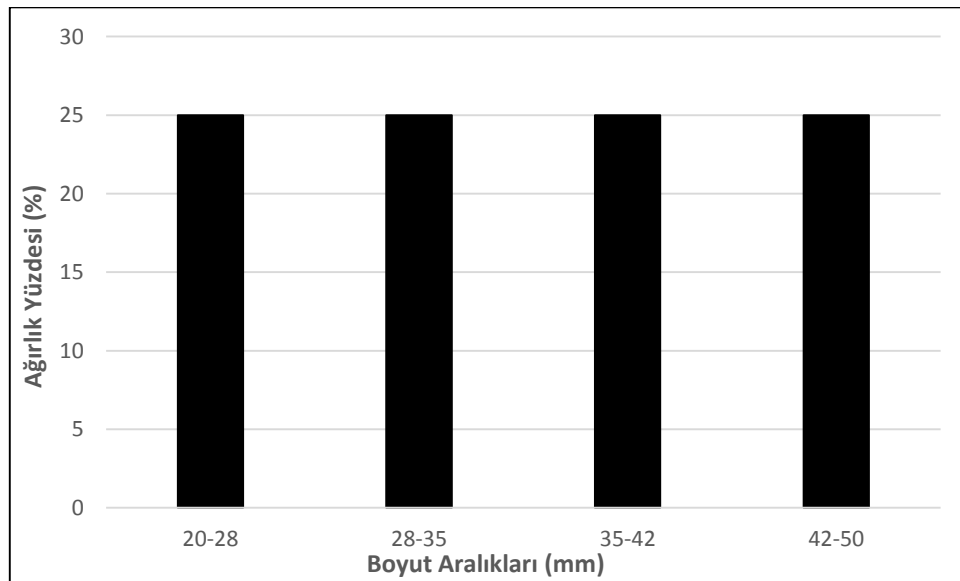
Bu bölüm çerçevesinde yapılan deneyler, kurutucu tasarımı gerekliliği şartların belirlenmesi için yapılan deneylerdir. Bu deneylerde kullanılan şartlar kurutma havası sıcaklığı için 70, 100, 110 ve 130 °C, yığın yüksekliği 100, 150 ve 250 mm ve kurutma havası hızı 0.4 ve 0.7 m/s'dir. Tane boyutu olarak 20-50 mm arası farklı boyutlardaki kömürlerin karıştırılması ile elde edilen kömürler kullanılmıştır. Dolayısıyla, deney şartları artık kurutucunun çalışma şartlarına yaklaştırılmaya çalışılmaktadır. Farklı deney sürelerine bağılı olarak hedeflenen son nem, AID ve ufalanma oranı değerleri için gerekli analizler yapılarak uygun şartlar belirlenmeye çalışılacaktır.

Çizelge 3.11'de 20-50 mm boyut aralığındaki kömürler için yapılan sıcaklık deneyleri yer almaktadır. 20-50 mm boyut aralığı ağırlıkça homojen dağılmıştır: 20-28 mm, 28-35 mm, 35-42 mm ve 42-50 mm boyut aralıklarından eşit ağırlıkta olacak şekilde karıştırılarak elde edilmiştir (Şekil 3.25). Bu deneylerde, yığın yüksekliği 150 mm ve kurutucu hava hızı 0.4 m/s olarak alınmış ve farklı sıcaklık ve sürelerde deneyler yapılmıştır.

70, 100 ve 130 °C'de yapılan deneylere bakıldığında kurutma süresi arttıkça son nem oranı düşmekte ve ufalanma oranı, buharlaşan nem oranı ve AID artmaktadır. Deney bulguları incelendiğinde, sıcaklık arttıkça nemdeki azalma artmakta ve ufalanma oranındaki artış önce yükselmekte sonra düşmektedir: 70 (45-65 dk), 100 (25-45 dk) ve 130 (25-45 dk) °C için son nemlerdeki azalma sırasıyla % 6, 20 ve 24 iken ufalanma oranlarındaki artış sırasıyla % 25, 40 ve 33'dür. Ufalanma oranı için elde edilen bu sonuç, nem azalımının artması ile birlikte kopan parça miktarının azaldığını göstermektedir. Parça kopma hızı bir noktadan sonra azalmaya başlamaktadır.

Çizelge 3.11 Kurutucu tasarım deneyleri: Kurutma havası sıcaklığı etkisi

Deney No	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>H</i>	<i>V</i>	<i>Süre</i>	<i>Son Nem</i>	<i>Ufalanma</i>	<i>Buharlaştan Nem</i>	<i>AID</i>
#	mm	°C	mm	m/s	dk	%	%	%	kcal/kg
1	20-50	70	150	0.4	45	36.18	17.44	37.64	3060
2	20-50	70	150	0.4	65	33.91	21.83	51.99	3188
3	20-50	100	150	0.4	25	38.65	13.36	35.41	2921
4	20-50	100	150	0.4	45	31.02	18.68	53.27	3351
5	20-50	110	150	0.4	45	29.82	19.10	56.51	3419
6	20-50	130	150	0.4	25	37.77	17.21	39.26	2970
7	20-50	130	150	0.4	45	28.64	22.90	62.71	3485
8	20-50	130	150	0.4	65	24.61	27.23	75.69	3713



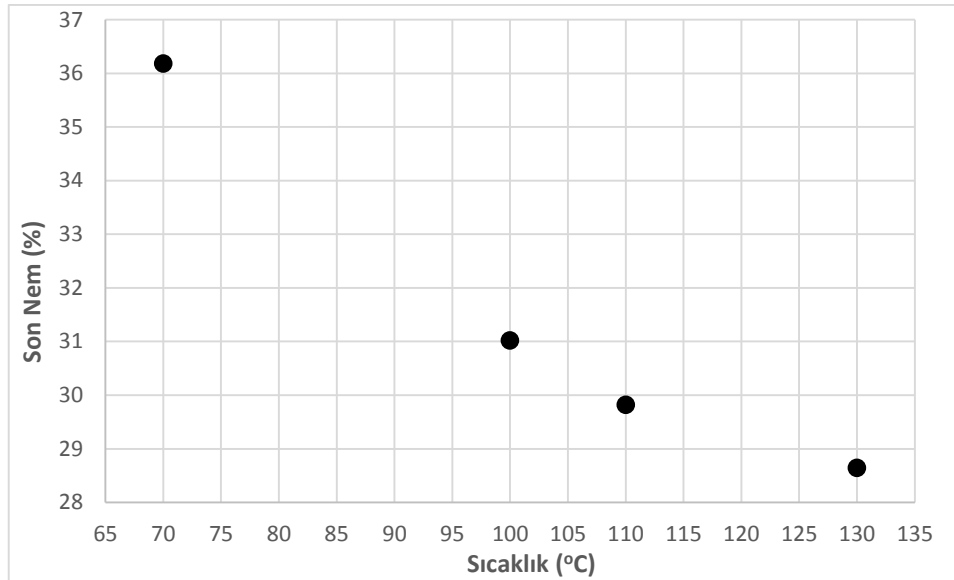
Şekil 3.25 20-50 mm boyut aralığı için homojen dağılım grafiği

Aynı şartlar altında, kurutma havası sıcaklığı arttıkça son nem düşmekte, ufalanma oranı, buharlaştan nem oranı ve AID artmaktadır (Şekil 3.26, Şekil 3.27, Şekil 3.28 ve Şekil 3.29). Kömür kurutma hızı zamanla düştüğü için son nemdeki azalma hızı da düşüş

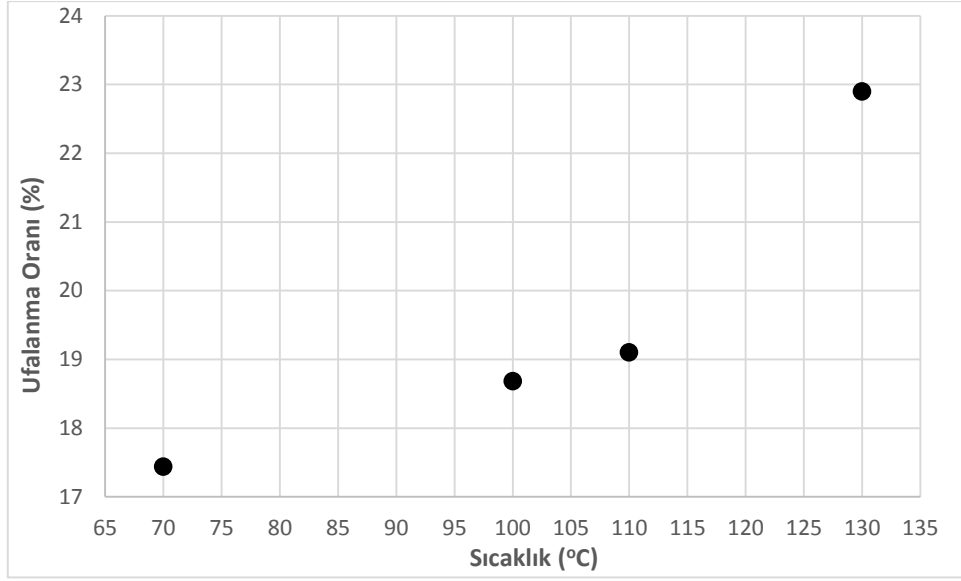
göstermektedir (Şekil 3.26). Hedeflenen % 25 son nem oranını elde etmek için dört sıcaklık durumu için de daha fazla deney süreleri gerekmektedir.

Birim sıcaklık artışı için hesaplanan ufalanma oranı artışı 70-100 °C ve 100-110 °C için benzer iken (yaklaşık % 4) 110-130 °C için ufalanma oranı artışı yaklaşık % 19 olmaktadır (Şekil 3.27). 110 °C'nin üzerindeki kurutma proseslerinde ufalanma oranı hızla artmaktadır. % 15 ufalanma oranı hedefine göre hesaplanan ufalanma oranı değerleri yüksek çıkmaktadır.

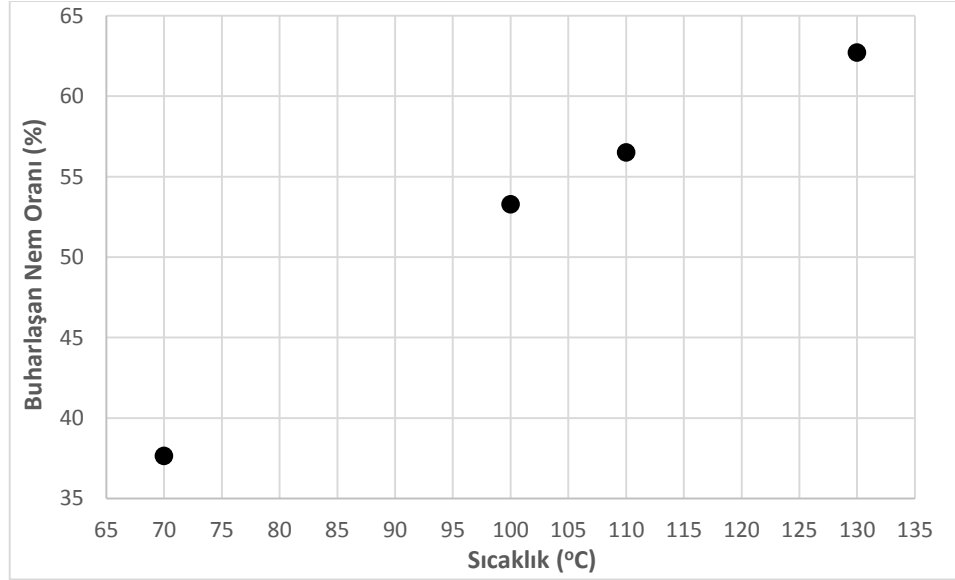
Nem buharlaşma oranındaki artış hızı son nem oranındaki azalma hızına paralel olarak düşmektedir (Şekil 3.28). AID değişimine bakıldığında, son nem oranındaki değişime benzer bir eğilim göstermektedir (Şekil 3.29). Hedeflenen AID açısından bakılınca, 100 °C'de 45 dakikalık bir kurutma prosesi sonunda AID 3351 kcal/kg olmaktadır.



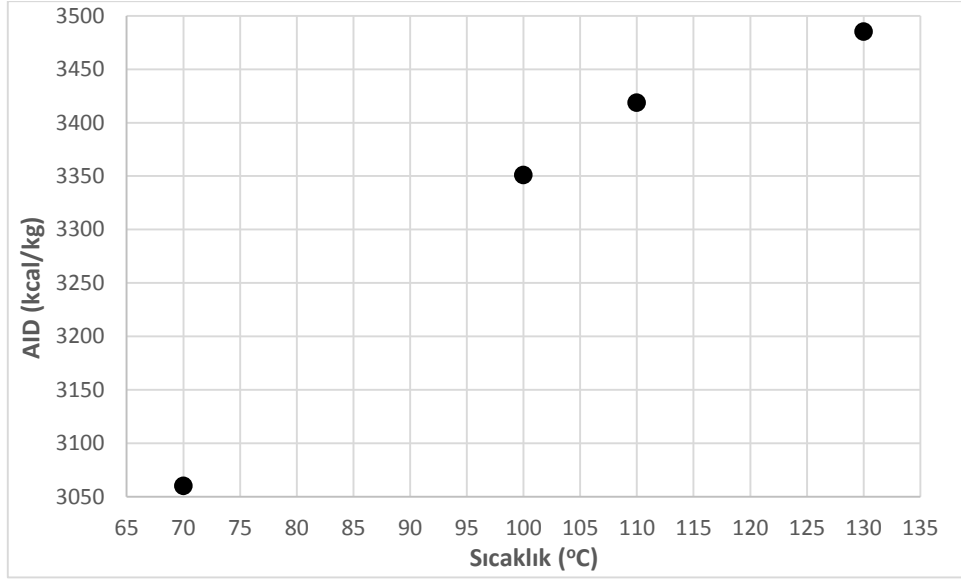
Şekil 3.26 Kurutma sıcaklığı son nem ilişkisi (H=150mm, V=0.4m/s ve t=45dk)



Şekil 3.27 Kurutma sıcaklığı ufalanma oranı ilişkisi (H=150mm, V=0.4m/s ve t=45dk)

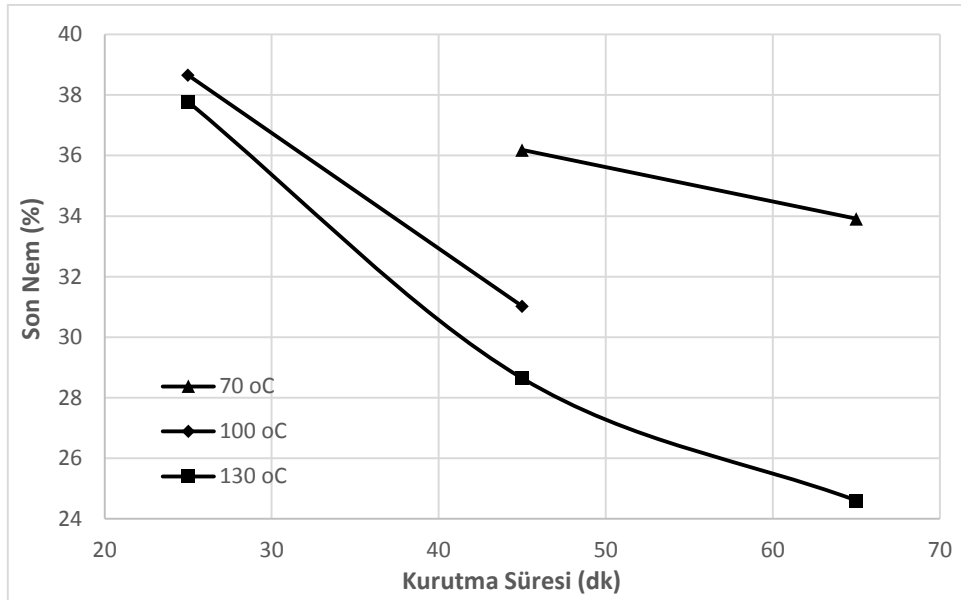


Şekil 3.28 Kurutma sıcaklığı buharlaşan nem oranı ilişkisi (H=150mm, V=0.4m/s ve t=45dk)

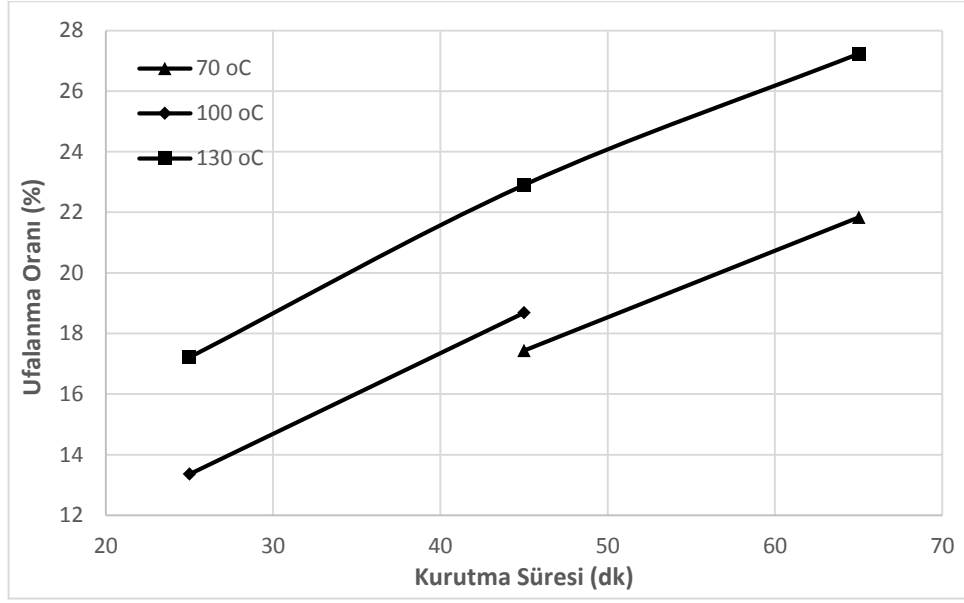


Şekil 3.29 Kurutma sıcaklığı AID ilişkisi (H=150mm, V=0.4m/s ve t=45dk)

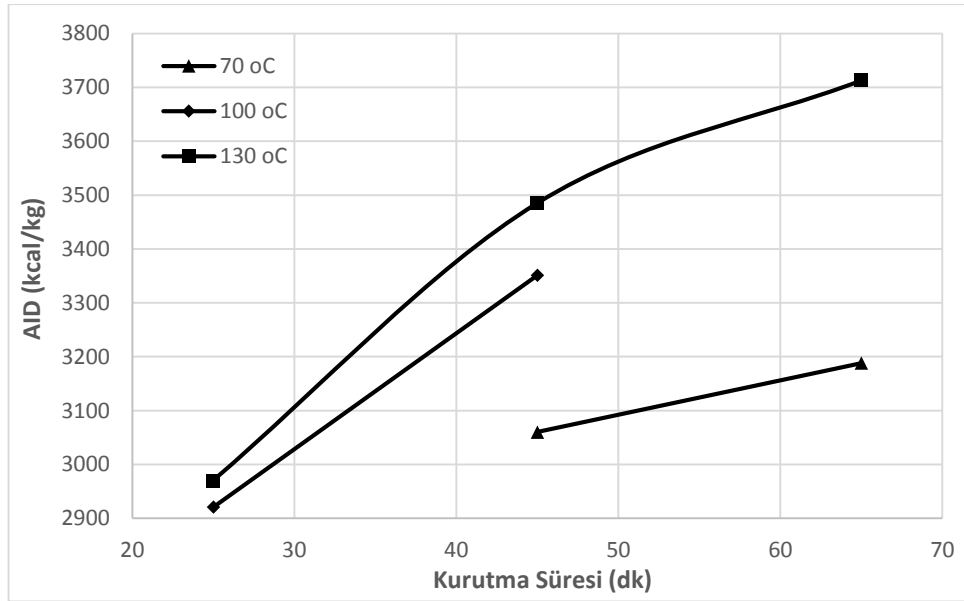
Farklı sıcaklık değerleri için kurutma süresine bağlı olarak son nem, ufalanma oranı ve AID değişimleri Şekil 3.30, Şekil 3.31 ve Şekil 3.32’de verilmiştir. Kurutma süresi arttıkça son nem azalmakta ve ufalanma oranı ve AID artmaktadır. Son nem oranındaki azalma ve ona paralel olan AID’deki artış hızı zamanla azalan bir seyir izlerken ufalanma oranının zamanla artması lineer bir seyir izlemektedir.



Şekil 3.30 Farklı sıcaklık değerleri için zamana bağlı son nem değişimi (H=150mm ve V=0.4m/s)



Şekil 3.31 Farklı sıcaklık değerleri için zamana bağlı ufalanma oranı değişimi (H=150mm ve V=0.4m/s)



Şekil 3.32 Farklı sıcaklık değerleri için zamana bağlı AID değişimi (H=150mm ve V=0.4m/s)

Çizelge 3.12’de 100, 150 ve 250 mm yığın yüksekliği için yapılan deneylerin bulguları verilmiştir. 20-50 mm boyut aralığı ağırlıkça homojen dağıtılmıştır. Bu deneylerde, kurutma havası sıcaklığı 70 ve 100 °C iken hız 0.4 m/s olarak alınmış ve farklı sürelerde deneyler yapılmıştır.

Çizelge 3.12 Kurutucu tasarım deneyleri: Yığın yüksekliği etkisi

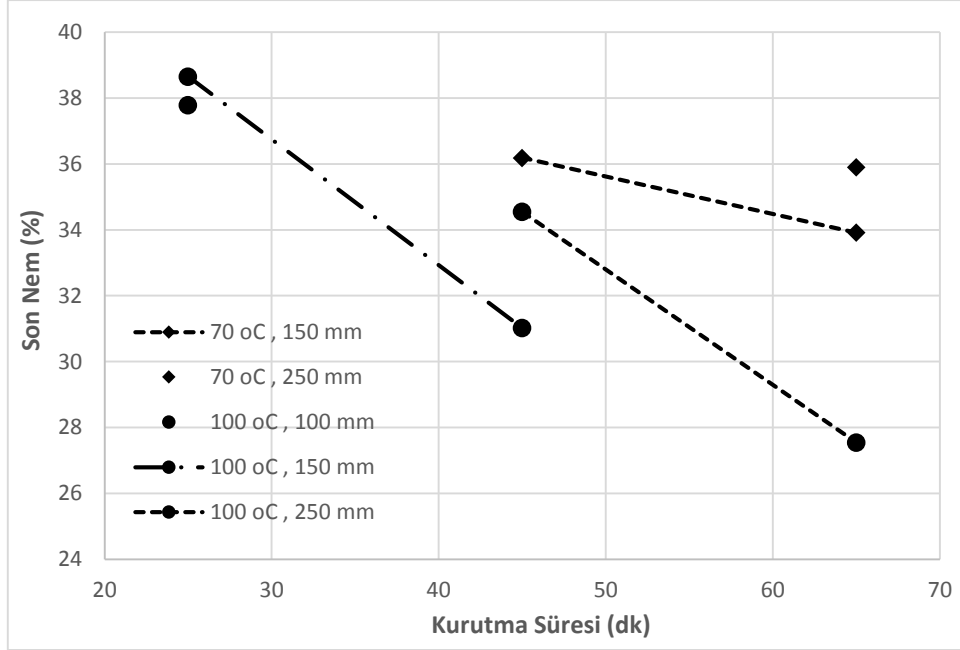
<i>Deney No</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>H</i>	<i>V</i>	<i>Süre</i>	<i>Son Nem</i>	<i>Ufalanma</i>	<i>Buharlaştan Nem</i>	<i>AID</i>
#	mm	°C	mm	m/s	dk	%	%	%	kcal/kg
1	20-50	100	100	0.4	25	37.78	13.93	37.13	2970
2	20-50	100	150	0.4	25	38.65	13.36	35.41	2921
3	20-50	100	150	0.4	45	31.02	18.68	53.27	3351
4	20-50	100	250	0.4	45	34.55	11.47	51.38	3152
5	20-50	100	250	0.4	65	27.55	16.48	58.30	3547
6	20-50	70	150	0.4	45	36.18	17.44	37.64	3060
7	20-50	70	150	0.4	65	33.91	21.83	51.99	3188
8	20-50	70	250	0.4	65	35.90	12.03	52.32	2936

150 ve 250 mm yığın yüksekliği için yapılan deneylere bakıldığında kurutma süresi arttıkça sırasıyla son nem oranı düşmekte ve ufalanma oranı, buharlaşan nem oranı ve AID artmaktadır. Aynı kurutma şartları için, yığın yüksekliği arttıkça son nem oranı artmakta ve ufalanma oranı, buharlaşan nem oranı ve AID azalmaktadır. Kurutma sıcaklığı arttıkça, yığın yüksekliği artışına bağlı olarak son nem oranındaki artış artmakta, ufalanma oranındaki düşme ise azalmaktadır.

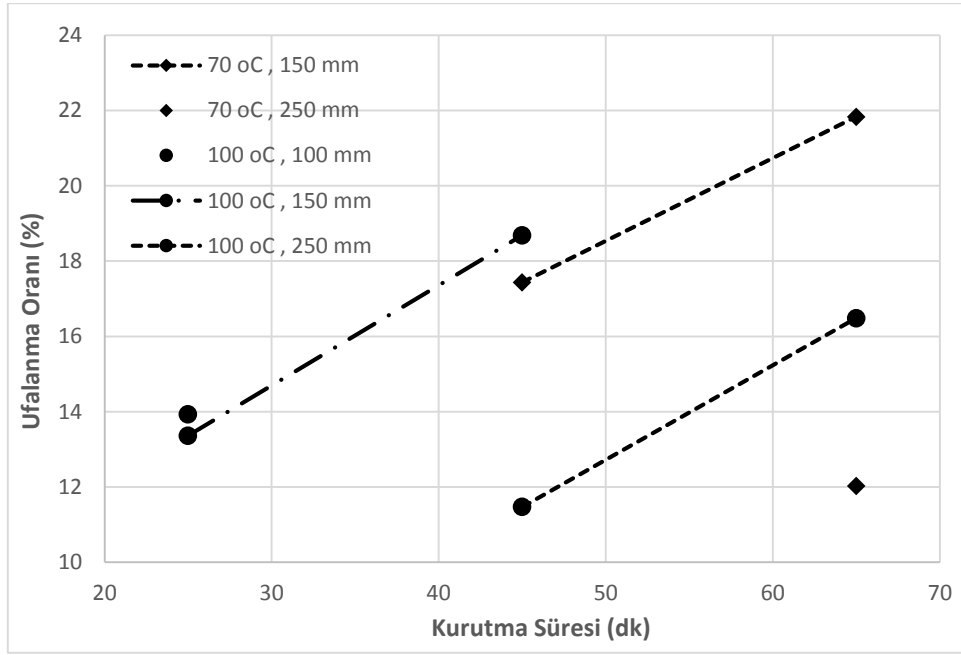
Diğer şartlar aynı olmak koşulu ile 25, 45 ve 65 dakika deney süreleri için birim yığın yüksekliğine bağlı olarak yükseklik arttıkça son nem oranındaki artış sırasıyla % 1.7 (100 °C ve 100-150 mm), % 3.5 (100 °C ve 150-250 mm) ve % 2.0'dır (70 °C ve 150-250 mm). Görüldüğü üzere, son nem oranı artış hızı birim yükseklik artışı için önce artmakta sonra azalmaktadır.

Farklı yığın yüksekliği değerleri için kurutma süresine bağlı olarak son nem, ufalanma oranı ve AID değişimleri Şekil 3.33, Şekil 3.34 ve Şekil 3.35'de verilmiştir. Kurutma süresi arttıkça son nem azalmakta, ufalanma oranı ve AID ise artmaktadır.

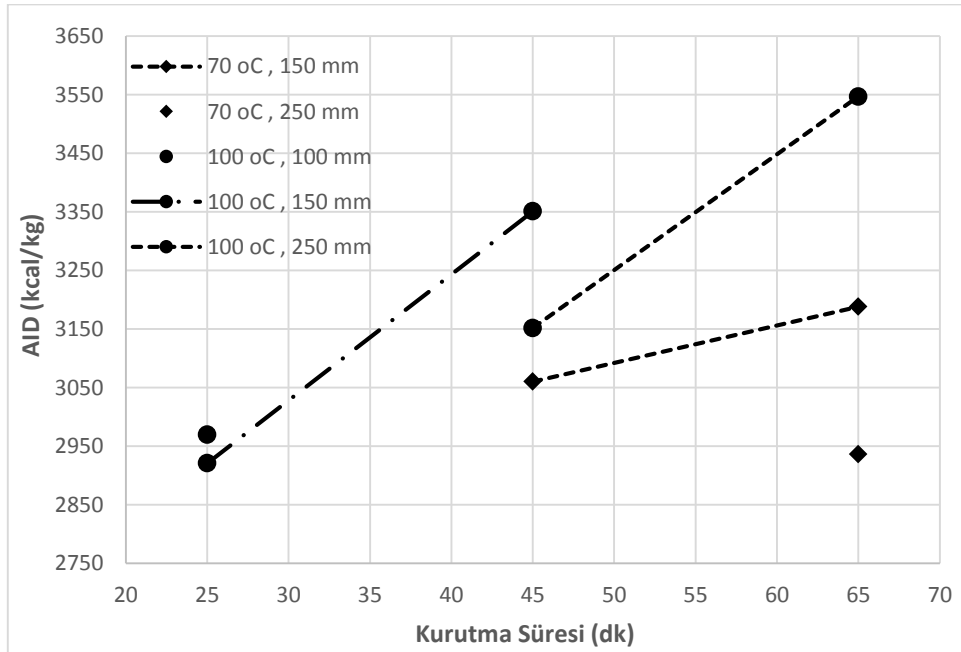
Son nem hedefi olan % 25'e göre bulgular değerlendirilirse, 70 ve 100 °C'lık kurutma sıcaklığı şartları için sürelerin daha uzun olması gerektiği söylenebilir. Aynı kurutma havası hızı, kurutma süresi ve yığın yüksekliği durumlarında son nem, ufalanma oranı ve AID değerlerindeki değişimler sıcaklık arttıkça (70 °C'den 100 °C'ye) 150 ve 250 mm yığın yüksekliği için sırasıyla % -14 ve % -23, % 7 ve % 37 ve % 9 ve % 21'dir.



Şekil 3.33 Farklı yığın yüksekliği değerleri için son nemin zamana göre değişimi (H=150mm ve V=0.4m/s)



Şekil 3.34 Farklı yığın yüksekliği değerleri için ufalanma oranının zamana göre değişimi
(H=150mm ve V=0.4m/s)



Şekil 3.35 Farklı yığın yüksekliği değerleri için AID'in zamana göre değişimi (H=150mm ve V=0.4m/s)

% 15 ufalanma oranı hedefi açısından bakıldığında, yığın yüksekliğindeki artışa bağlı olarak ufalanma oranı önemli derecede azalmaktadır. Sıcaklık arttıkça bu azalma oranı

düşmektedir. 100 °C kurutma havası durumu için, 100-150 mm yığın yükseklikleri (25 dk) arasındaki ufalanma oranı farkı 0.57 iken 150-250 mm için yığın yükseklikleri arasındaki fark 7.21'dir. Ufalanma oranı hedefini, 100 °C'lik kurutma havası sıcaklığında (H=250 mm) sağlamak için yaklaşık 57 dk, 70 °C'lik kurutma havası sıcaklığında (H=250 mm) sağlamak için ise yaklaşık 77 dk kurutma yapılabilir.

Çizelge 3.13'de 0.4 ve 0.7 m/s kurutma havası hızı için yapılan deneylerin bulguları verilmiştir. 20-50 mm boyut aralığı ağırlıkça homojen dağıtılmıştır. Bu deneylerde, kurutma havası sıcaklığı 100 °C iken yığın yüksekliği 150 mm olarak alınmış ve farklı sürelerde deneyler yapılmıştır.

Çizelge 3.13 Kurutucu tasarım deneyleri: Kurutma havası hızı etkisi

Deney No	S	T	H	V	Süre	Son Nem	Ufalanma	Buharlaştan Nem	AID
#	mm	°C	mm	m/s	dk	%	%	%	kcal/kg
1	20-50	100	150	0.4	25	38.65	13.36	35.41	2921
2	20-50	100	150	0.4	45	31.02	18.68	53.27	3351
3	20-50	100	150	0.7	25	32.60	19.44	52.94	3262

1 ve 3 nolu deney şartlarındaki tek fark kurutma havası hızıdır. Bu iki durum mukayese edilirse, kurutma havası hızı arttıkça son nem oranı azalmakta ve ufalanma oranı, buharlaştan nem oranı ve AID artmaktadır. Kurutma havası hızı artışı ile gerçekleşen değişim oranları son nem oranı, ufalanma oranı, buharlaştan nem oranı ve AID için sırasıyla % -16, % 46, % 49 ve % 12'dir. Kurutma havası hızındaki artışın kurutmayı hızlandırdığı daha önceki bölümlerde anlatılmıştı. Son nem oranındaki artışa paralel olarak da AID değişmiştir. Yapılan deney bulgularına bakıldığında, kurutma havası hızındaki artışın ufalanmayı önemli ölçüde olumsuz etkilediği görülmektedir. Bu durum, kömür yüzeylerinin hızlı bir şekilde ısınmasından ve ısıl gerilmelerin artmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, kurutucu tasarlanırken kurutma havası hızının mümkün olduğunca düşük seçilmesi gerekmektedir.

1 ve 2 nolu deney bulgularına bakıldığında, sadece kurutma sürelerinin farklı olduğu görülebilir. Daha önceki bulgulara paralel olarak süre arttıkça son nem oranı düşmekte ve ufalanma oranı, buharlaşan nem oranı ve AID artmaktadır.

Çizelge 3.11, Çizelge 3.12 ve Çizelge 3.13’de verilen deneylerde tane boyut dağılımı 20-50 mm arası ve homojen dağılımlıydı. Çizelge 3.14’de verilen deneylerin 3 tanesi boyut dağılımının farklı olduğu deneylerdir. 3 nolu deneydeki numuneler 28-50 mm boyut aralığında homojen dağılı (Şekil 3.36) ve 4-5 nolu deneylerdeki numuneler ise 35-50 mm boyut aralığında homojen dağılıdır (Şekil 3.37).

Çizelge 3.14 Kurutucu tasarım deneyleri: Kömür tane boyutu etkisi

<i>Deney No</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>H</i>	<i>V</i>	<i>Süre</i>	<i>Son Nem</i>	<i>Ufalanma</i>	<i>Buharlaşan Nem</i>	<i>AID</i>
#	mm	°C	mm	m/s	dk	%	%	%	kcal/kg
1	20-50	10 0	15 0	0.4	25	38.65	13.36	35.41	2921
2	20-50	10 0	15 0	0.4	45	31.02	18.68	53.27	3351
3	28-50	10 0	15 0	0.4	45	31.49	13.38	52.20	3325
4	35-50	10 0	15 0	0.4	45	33.07	11.58	51.74	3235
5	35-50	10 0	15 0	0.4	65	28.78	17.23	65.57	3477

Ağırlık oranına göre ortalama tane boyutu (S_{ort}) hesaplamak istenirse Denklem 3.8 kullanılabilir.

$$S_{ort} = \sum_1^i \frac{w\% \cdot D_{ort}}{100} \quad (3.8)$$

burada $w\%$ boyut aralıkları için ağırlık oranı yüzdesini ve D_{ort} boyut aralığı için ortalama çapı ifade etmektedir. D_{ort} ise Denklem 3.9 ile hesaplanabilir.

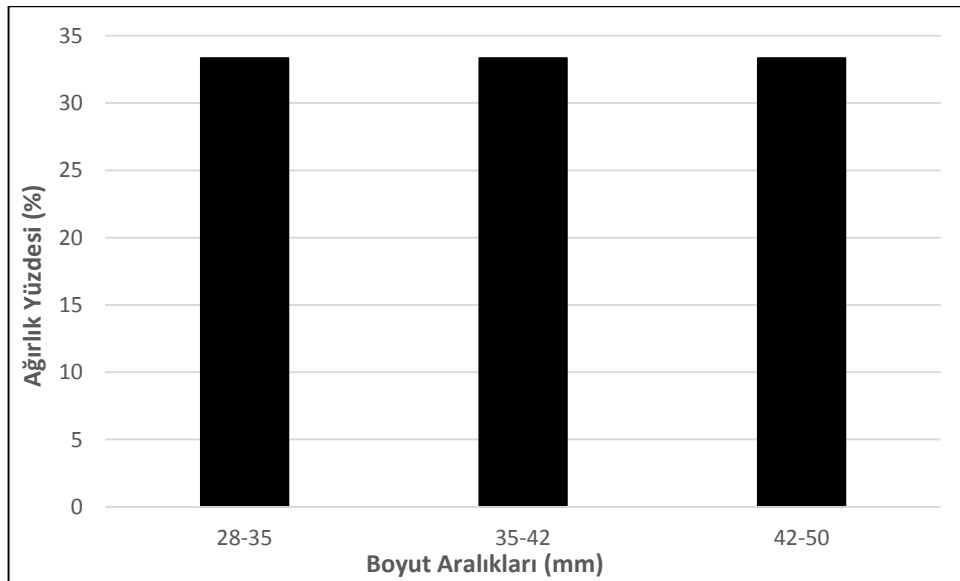
$$D_{ort} = D_{min} + \frac{D_{max} - D_{min}}{2} \quad (3.9)$$

burada D_{min} ve D_{max} boyut aralığı için en düşük ve en yüksek çap değerlerini ifade etmektedir.

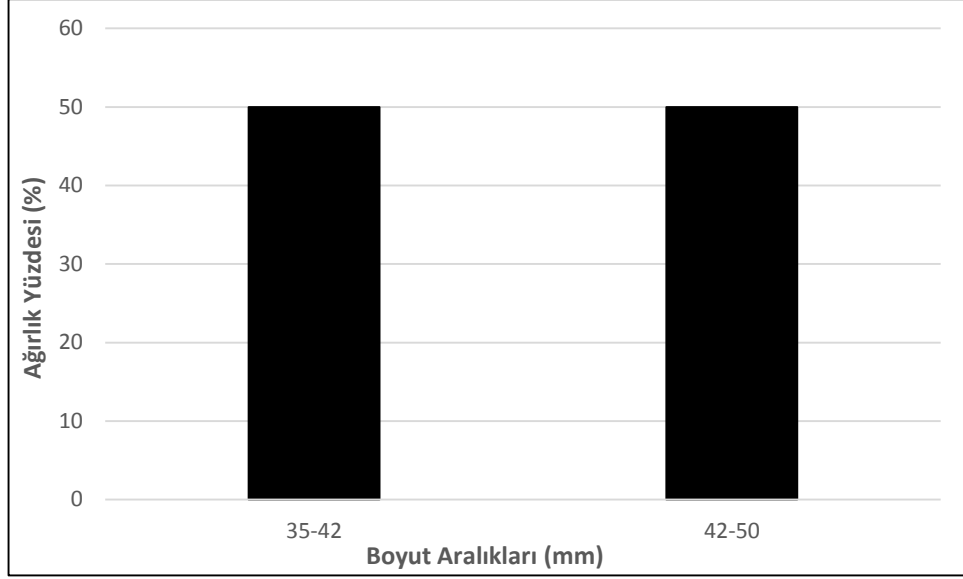
20-50, 28-50 ve 35-50 mm tane boyut aralığı deneylerinde ortalama tane boyutları sırasıyla 35.0, 38.7 ve 42.3 mm olarak hesaplandı.

2, 3 ve 4 nolu deneylerin şartları tane boyutu dışında aynıdır. Ortalama tane boyutu arttıkça son nem oranı artmakta ve ufalanma oranı, buharlaşan nem oranı ve AID azalmaktadır. Değişim oranları ortalama tane boyutunun 35.0 mm'den 38.7 mm'ye ve 38.7 mm'den 42.3 mm'ye artışı için sırasıyla % -1.5 ve % -5.0, % 28.5 ve % 13.5, % 2.0 ve % 0.9 ve % 0.8 ve % 2.7'dir.

Deney no 1-2 ve 4-5 kendi içinde mukayese edilirse, kurutma süresinin artmasıyla son nem oranı, ufalanma oranı, buharlaşan nem oranı ve AID değişimleri boyut aralığı 20-50 mm ve 35-50 mm için sırasıyla % -19.7 ve % -13, % 39.8 ve %48.8, % 50.4 ve % 26.7 ve % 14.7 ve % 7.5'dir. Son nem oranı, buharlaşan nem oranı ve AID açısından bakılırsa, değişim oranları 20-50 mm boyut aralığı için daha yüksektir. Ufalanma oranı için ise 35-50 mm boyut aralığındaki değişim oranı daha büyüktür. Tane boyutu küçüldükçe kurutma süresinin kömür nemi üzerindeki etkisi daha çok olmaktadır. Ufalanma oranı ise tane boyutlarının küçülmesi ile kurutma süresinden daha çok etkilenmektedir.



Şekil 3.36 28-50 mm boyut aralığı için homojen dağılım grafiği



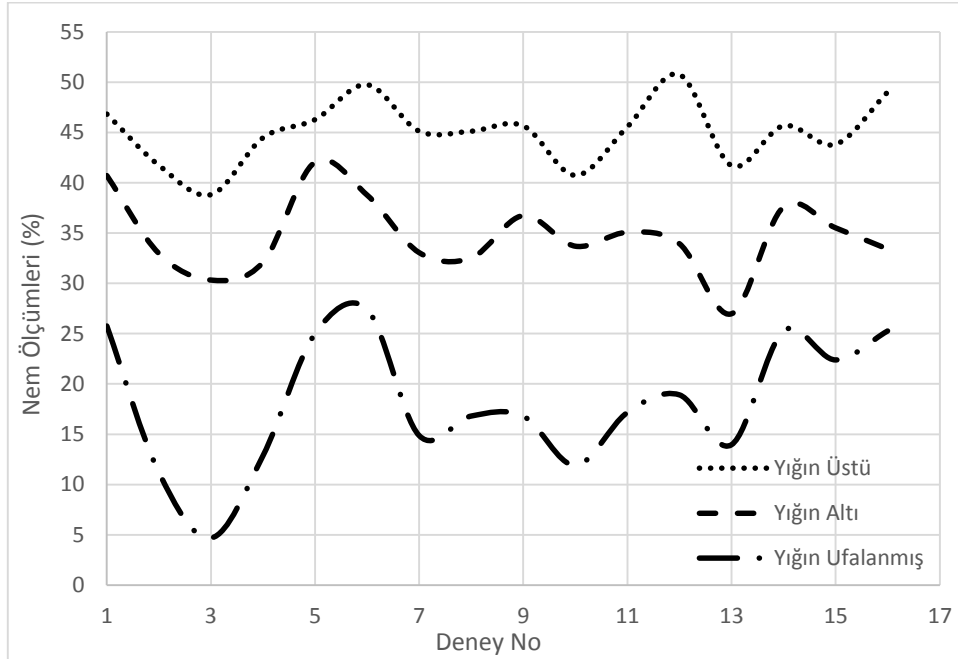
Şekil 3.37 35-50 mm boyut aralığı için homojen dağılım grafiği

Ortalama tane boyutunun artması kurutmayı olumsuz yönde etkilemektedir. Ancak, ufalanma oranını olumlu olarak önemli oranda etkilemektedir. Ufalanma oranı üzerindeki bu önemli etki, ufalanma oranı hesabında kullanılan 18 mm delik çaplı elekten kaynaklanmaktadır. Kullanılan kömürlerin boyutları 18 mm boyutuna yakınlaştıkça ufalanma etkisi daha yoğun hissedilmektedir. Dolayısıyla, 20-50, 28-50 ve 35-50 mm boyut aralıkları için ufalanma oranı, numunelerdeki tane boyutlarının 18 mm boyutundan uzaklaşması ile paralel gerçekleşmektedir.

Boyut dağılımının; son nem oranı ve AID üzerindeki etkisi ile ufalanma oranı üzerindeki etkisi mukayese edilirse, ufalanma üzerine olan etkisinin çok daha baskın olduğu söylenebilir. Ortalama tane boyutu arttıkça ufalanma oranı azalmaktadır.

Şekil 3.38’de kurutucu içerisindeki kömür yığınının nem dağılımı bu bölümde yapılan deney bulguları için verilmiştir. Bu deneylerdeki deney şartları (kurutma havası sıcaklığı ve hızı, yığın yüksekliği, kömür tane boyutu ve kurutma süresi) farklıdır. Üç farklı nokta için nem ölçümü alınmıştır: İlki yığının üstündeki numunelerden, ikincisi yığının altındaki numunelerden ve üçüncüsü de ufalanmış numunelerden. Görüldüğü gibi, yığın üstü, yığın altı ve ufalanmış numunelerin arasında önemli farklar vardır. Yığın üstü ve altı arasındaki kömür çıkış nemi farkı ortalama 10 puandır. Yığın üstü ve ufalanmış numunelerin nem ölçümleri arasındaki fark ortalama 27 puandır. Yığın altı ve ufalanmış numunelerin nem ölçümleri arasındaki fark ise ortalama 17 puandır.

Ufalanmış numuneler daha hızlı kurduğu için yığın altı ve üstü arasında 35 puanlara varan farklar oluşmaktadır. Yığın altı kurutma havası ile ilk temas eden bölüm olduğu için yığın üstüne göre daha hızlı kurumaktadır. Yığın altı ile üstü arasındaki farklar 4-17 puan aralığında gerçekleşmektedir.



Şekil 3.38 Kömür yığınınındaki nem dağılımı

3.4.3 Genel Değerlendirme

Bu bölümde, kurutucu tasarım deneylerinin genel değerlendirilmesi yapılmıştır. Kurutucu için hedef olarak belirlenen % 25 kurutucu çıkış nemi, % 15 ufalanma oranı ve 3300 kcal/kg AID, yapılan farklı şartlardaki deneylerle birbirlerinden bağımsız olarak elde edilebilmektedir. Genel olarak elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Kurutma süresi arttıkça;
 - Kurutucudan kömürün çıkış nemi azalır
 - Ufalanma oranı artar
 - AID artar
- Kurutma havası sıcaklığı arttıkça;
 - Kurutucudan kömürün çıkış nemi azalır

- Ufalanma oranı artar
 - AID artar
- Kurutma havası hızı arttıkça;
 - Kurutucudan kömürün çıkış nemi azalır
 - Ufalanma oranı artar
 - AID artar
- Kurutucu yığın yüksekliği arttıkça;
 - Kurutucudan kömürün çıkış nemi artar
 - Ufalanma oranı azalır
 - AID azalır
- Kömür tane boyutu arttıkça;
 - Kurutucudan kömürün çıkış nemi artar
 - Ufalanma oranı azalır
 - AID azalır

Bantlı kömür kurutucunun çalışma şartlarının belirlenebilmesi için deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilerek en uygun şartların tespiti yapılacaktır.

BANTLI KÖMÜR KURUTMA SİSTEMİ TASARIMI

Buraya kadar yapılan çalışmalarla, Konya-İlgin linyitinin kurutma karakteristiğinin belirlenmesi ve kurutucu tasarımı için gerekli parametrelerin analizi çalışmaları yapılmıştır. Bu bölümde, ısınma amaçlı kullanılan Konya-İlgin linyitlerinin kurutulması amacıyla, uygun bir kurutucunun ön tasarımı yapılmıştır. Kurutulacak kömürlerin literatürdeki ve uygulamadaki diğer kurutma çalışmalarından en önemli farkı büyük tane boyutuna sahip olmalarıdır. 20-50 mm boyut aralığındaki kömürlerin kurutulması amacıyla kullanılacak yöntemin, yönetmeliklerde belirtilen ısınma amaçlı kullanılan kömürlerin özelliklerine yakın bir kurutucu çıkışı vermesi gerekmektedir. Bu amaçla, kömür çıkış nem oranının % 25, ufalanma oranının % 15 ve AID'in 3300 kcal/kg olduğu hedef değerler belirlenmiş ve gerekli deneysel çalışmalar yapılmıştır.

20-50 mm boyut aralığındaki Konya-İlgin linyitleri için kurutma yöntemi olarak, literatürde yaygın olarak kullanılan akışkan yatak ve döner tamburlu kurutma teknolojilerinin seçilmesi pratik olarak mümkün değildir. Akışkan yatak ve döner tamburlu kurutucular için tane boyutları çok büyüktür. Ayrıca, bu yöntemlerde kurutulan ürünler hareketli olduğu için ürünlerin ufalanması çok yüksek oranlarda olmaktadır.

Kurutma sistemi olarak kömürün hareketsiz duracağı bantlı kurutma sistemi seçilmiştir. Örnek bir bantlı kurutucu Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Konya-İlgin linyiti için tasarlanan sistemde, kömür bantlar üzerinde ilerlerken bant altlarından verilen sıcak hava ile kurutulmaktadır. Bu tez kapsamında tasarlanan deney seti sabit yatak deneyleri için çok uygundur ve yapılan sabit yatak deneylerinin bulguları doğrudan bantlı kurutma sisteminin tasarımında kullanılabilir. Dolayısıyla, yapılan deneysel çalışmalar sonucunda

elde edilen parametrik analizler bantlı kömür kurutma sisteminin tasarımında doğrudan kullanılabilir.

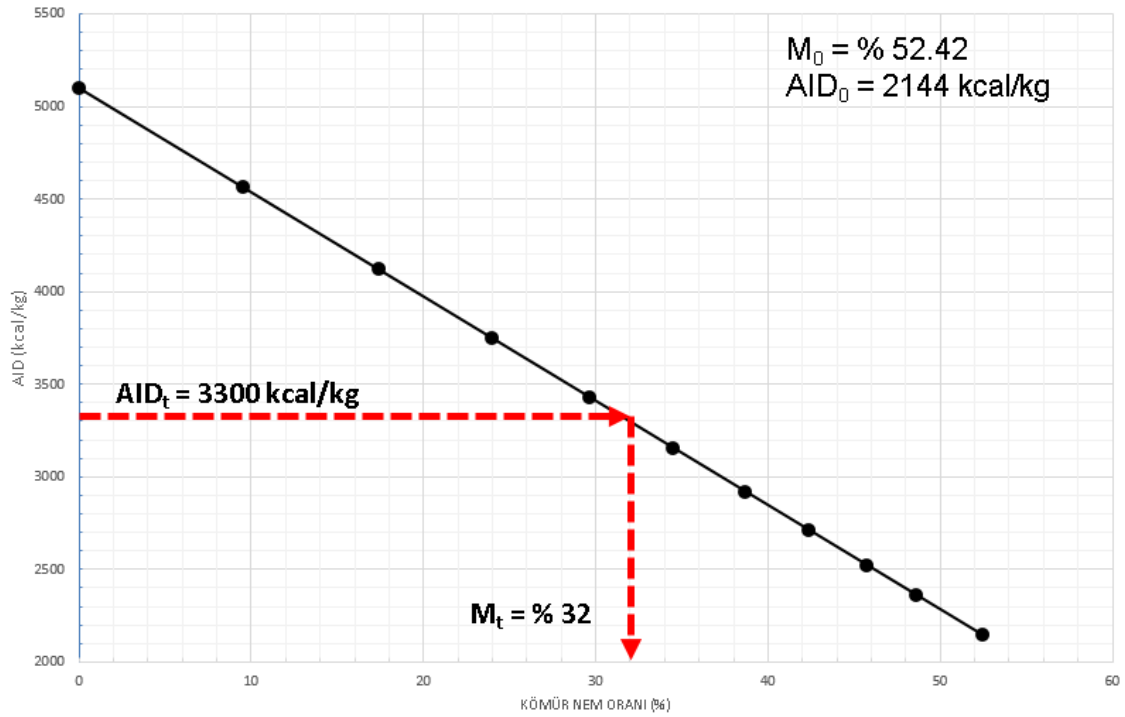


Şekil 4.1 rnek bantlı kurutucu 1 [131]



Şekil 4.2 Örnek bantlı kurutucu 2 [132]

AID kömür nem oranı ile ters orantılıdır (Şekil 4.3). 3300 kcal/kg AID hedefini elde edebilmek için kömür nem oranının en fazla % 32 olması gerekmektedir. Dolayısıyla, kömür nem oranını % 25 olan hedefe değere getirildiğinde AID hedefleri yakalanmış olur.



Şekil 4.3 Kömür nem oranı AID değişimi

Nem oranından sonra önemli olan parametre ufalanma oranıdır. Ufalanma oranı hedefi olan % 15'i elde edebilmek kurutma şartlarına bağlıdır. Sonuç olarak seçilen kurutma şartları kömür nem oranını % 25'e getirirken ufalanma oranının da % 15'in altında kalması gerekmektedir.

Kurutma havası sıcaklığı (70-130 °C) ve hızı (0.4-0.7 m/s), kömür tane boyutu dağılımı (20-50 mm), kömür yığın yüksekliği (100-250 mm) ve kurutma süresi (25-100 dk) parametreleri değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Bu parametreler genel olarak değerlendirilirse:

- Kurutma havası sıcaklığı kurutma hızını önemli ölçüde belirleyen parametredir. Yüksek kurutma hızları kısa kurutma süreleri anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, mümkün olduğunca yüksek tutulması istenmektedir. Yapılan deneyler sonucunda, yaklaşık 110 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda ufalanma oranında yüksek oranda artış görülmüştür. Bu nedenle, kurutma havası sıcaklığı olarak çok deneysel bulgunun olduğu 100 °C kabul edilmiştir.
- Kurutma havası hızı ufalanmayı yüksek oranda olumsuz etkilediği için mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Ayrıca, yüksek hava hızları aynı zamanda yüksek fan

maliyetleri anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, kurutma havası hızı, deneylerde kullanılan en düşük değer olan 0.4 m/s olarak kabul edilmiştir.

- Kömür tane boyutu dağılımı ile ilgili gerekli deneyler yapılmış olmakla beraber, gerçekte 20-50 mm boyut aralığında kurutucuya gelecek Konya-İlgın linyitlerinin boyut dağılımı bilinmemektedir. Bu nedenle, kömür boyut dağılımı olarak 20-50 mm ve homojen dağılımlı kömür kabul edilmiştir.
- Yığın yüksekliği arttıkça kömür çıkış nemi artmakta ve ufalanma oranı azalmaktadır. Önceki maddelerde belirtilen kabuller çerçevesinde (250 mm yığın yüksekliği, 100 °C, 0.4 m/s ve 20-50 mm homojen dağılım) yığın yüksekliği değerlendirilirse, yaklaşık 60 dk kurutma süresi sonunda kömür çıkış nemi ortalama % 29 olurken ufalanma oranı yaklaşık % 15 olmaktadır.

Bu değerlendirmelerden de görüleceği üzere bütün parametrelerin istenen hedef değerlerinin aynı anda yakalanması mümkün görülmemektedir. Bütün şartları sağlayan sıcaklık, hız, yığın yüksekliği ve sürenin belirlenebilmesi için 100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklar ve farklı hız, yığın yüksekliği ve sürelerde birçok deney daha yapmak gerekir. Birçok deneyin yapılması çok pratik bir yaklaşım olmayacaktır. Ayrıca, kömür boyutlarının dağılımı gerçek durum için bilinmemektedir. Kurutulacak kömürün başlangıç nem değerleri gerçekte mevsimsel şartlar ve kömürün çıkarıldığı damara bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. Bütün bu durumlar değerlendirildiğinde, çözümün bu çalışmada yapıldığı gibi, yaklaşık olarak kurutma şartlarının belirlenerek kurutucu tasarımının yapılması ve daha sonra imal edilen prototipin testleri sırasında gerçek durumlar için en uygun çalışma şartları belirlenmelidir.

Hedef şartları sağlayan parametreler belirlendikten sonra kurutucu ile ilgili detaylı hesaplar yapılabilir. Bu kapsamda, 1 ton/h kuru kömür kapasiteli prototip için bantlı kömür kurutma sisteminin boyutları belirlenerek girdi ve çıktıları hesaplanabilir.

60 dakikalık kurutma süresi sonunda buharlaşan nem oranı (M_{buh}) yaklaşık % 56 olmaktadır. Dolayısıyla giren ve çıkan kömür miktarları arasında Denklem 4.1'deki ilişki vardır.

$$w_{çıkan} = w_{giren} \cdot (1 - M_{buh} \cdot M_0) \quad (4.1)$$

burada w_{giren} (ton) kurutucu kömür giriş miktarı ve $w_{çıkan}$ (ton) kurutucu kömür çıkış miktarıdır. Girişteki kömür nem oranı (M_0) ortalama olarak % 52.42 alınacaktır.

Bant üzerindeki kömür yığınının hacmi ($V_{yığın}$ [m^3]) Denklem 4.2 ile hesaplanır:

$$V_{yığın} = L_b \cdot E_b \cdot H_b \quad (4.2)$$

burada H_b (m) yığın yüksekliği, E_b (m) yığın genişliği ve L_b (m) yığın uzunluğudur.

Yapılan deneylerden elde edilen kömür yığın yoğunluğu ($\rho_{yığın}$) ortalama 0.745 ton/ m^3 'dür. Yığın yoğunluğu kullanılarak bant üzerindeki kömür miktarı (w_{giren}) Denklem 4.3 ile hesaplanabilir:

$$w_{giren} = V_{yığın} \cdot \rho_{yığın} \quad (4.3)$$

Bant uzunluğu ve kurutma süresine bağlı olarak bant hızı (V_{bant} [m/dk]) Denklem 4.4 ile hesaplanabilir:

$$V_{bant} = \frac{L_b}{t} \quad (4.4)$$

Kurutucudan çıkan kurumuş kömür miktarı ve kurutma süresine bağlı olarak kurutucu kapasitesi (K_k [ton/h]) Denklem 4.5 ile hesaplanabilir:

$$K_k = \frac{w_{çıkan} \cdot 60}{t} \quad (4.5)$$

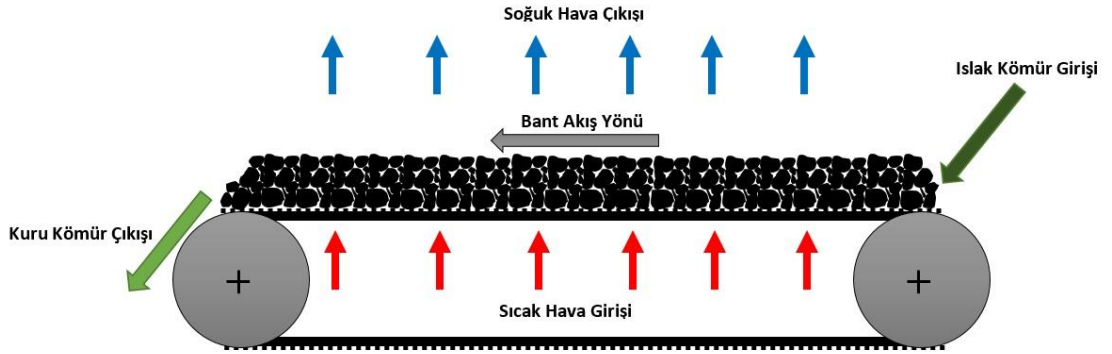
1 ton/h kurutma kapasitesine sahip bantlı kurucu için aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Kömür giriş nemi % 52.42
- Kömür çıkış nemi % 29
- Ufalanma oranı % 15
- Kurutulan kömürün AİD 3300 kcal/kg
- Buharlaştıran nem oranı % 56
- Kömür yığın yüksekliği 250 mm
- Kurutma süresi 60 dk

Kurutucu ve kurutucu çıkışındaki kömür ile ilgili aşağıdaki tasarım değerleri hesaplanmıştır:

- Kurutucu ıslak kömür giriş debisi (K_g) 1.42 ton/h
- Kurutucu kuru kömür çıkış debisi (K_k) 1 ton/h
- Bantlı kurutucu boyutları ($L_b \times E_b$) 7.6 m²
- Buharlaştıran nem debisi (K_n) 0.42 ton/h
- Bant hızı (V_{bant}) 0.063 m/dk

Yapılan kabuller çerçevesinde, 1 ton/h kapasiteli bantlı kurutucunun kömür giriş debisinin 1.42 ton/h olması gerekmektedir. Bunun nedeni 0.42 ton/h nemin buharlaştırılıyor olmasıdır. Kurutucunun şematik gösterimi Şekil 4.4'te verilmiş ve 1 ton/h kapasiteli bantlı kurutucu için tasarım değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.4 Bantlı kömür kurutucu şematik gösterimi

Çizelge 4.1 1 ton/h kapasiteli kurutucu tasarım değerleri

<i>Parametre</i>	<i>Birim</i>	<i>Değer</i>	<i>Açıklama</i>
M_0	%	52.42	Islak kömür giriş nemi
M_t	%	29	Kuru kömür çıkış nemi
M_{buh}	%	56	Kurutma ile buharlaşan nem oranı
Ufalanma Oranı	%	15	
AID_0	<i>kcal/kg</i>	2144	Islak kömür AID
AID_t	<i>kcal/kg</i>	3300	Kuru kömür AID
t	<i>dk</i>	60	Kurutma süresi
K_g	<i>ton/h</i>	1.42	Islak kömür giriş debisi
K_k	<i>ton/h</i>	1	Kuru kömür çıkış debisi
K_n	<i>ton/h</i>	0.42	Buharlaşan nem debisi
H_b	<i>m</i>	0.250	Yığın yüksekliği
$L_b \times E_b$	<i>m²</i>	7.6	Bant uzunluğu ile eninin çarpımı
$\rho_{yığın}$	<i>ton/m³</i>	0.745	Kömür yığın yoğunluğu
V_{bant}	<i>m/dk</i>	0.063	Bant hızı

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, en önemli yerli enerji kaynağımız olan linyitlerin daha verimli kullanılabilmesi için gerekli deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Isıtma amacıyla kullanılan yerli linyitlerin en önemli sorunu nem oranlarının yüksek olmasıdır. Buna bağlı olarak yanma prosesinde verimsizlikler ve emisyonlarda artışlar söz konusu olmaktadır. Linyitlerin kurutulması durumunda ise nem oranı düşerken, ısı değeri artmaktadır. Sonuç olarak, daha verimli ve daha düşük emisyonlu bir yanma sağlanacak ve aynı enerjiyi elde etmek için daha az kömür harcanacaktır. Bu da yerli enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır.

Tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular ve değerlendirmeler başlıklar halinde özetlenmiştir:

- Literatür taraması sonucunda;
 - Açık literatürde büyük taneli kömürlerin kurutulması için herhangi bir çalışmanın olmadığı belirlenmiştir. Bu çalışma ile 20-50 mm arası Konya-İlgın linyitinin kurutma karakteristiği belirlenmiştir.
 - Türkiye için kömür kurutma konusunda birkaç çalışmanın olduğu ancak uygulamaya dönük hiçbir çalışmanın olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında kurutma karakteristiği belirlenen Konya-İlgın linyiti ile ilgili daha önce herhangi bir çalışmanın yapılmadığı belirlenmiştir. Kurutma karakteristiği belirlendikten sonra bantlı kurutma sisteminin ön tasarımı yapılarak uygulamaya dönüşmesi adına önemli bir adım atılmıştır.

- Yapılan literatür taraması sonucunda kurutma çalışmalarında en çok incelenen parametrelerin kurutucu akışkan sıcaklığı ve hızı ile kömür tûrü ve tane boyutu olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında, Konya-İlgın linyiti kurutma karakteristiğini belirlemek için kurutucu akışkan sıcaklığı ve hızı ile kömür tane boyutu incelenmiştir. Bu parametrelere ek olarak, kömür yığın yüksekliğinin de önemli bir parametre olduğu değerlendirilmiş ve deneysel çalışmalarda incelenmiştir.
- Yapılan yığın kurutma deneyleri sonucunda;
 - Kurutma havası sıcaklığı, kurutma havası hızı, kömür tane boyutu ve kömür yığın yüksekliği parametrelerinin kurutma üzerindeki etkileri literatürde de olduğu gibi temel kurutma prensiplerine uygun olarak elde edilmiştir.
 - Kurutma sıcaklığı arttıkça kurutma hızı artar ve kurutma süresi azalır.
 - Kurutma havası hızı arttıkça kurutma hızı artar ve kurutma süresi azalır.
 - Tane boyutu arttıkça kurutma hızı düşer ve kurutma süresi artar.
 - Yığın yüksekliği arttıkça kurutma hızı düşer ve kurutma süresi artar.
 - Kurutmanın başlangıç periyodunda kurutma sıcaklığının önemli bir etkisi gözükmemektedir. Bu zaman diliminde kömür ısınmakta ve yüzeydeki serbest nem buharlaşmaktadır. Sıcaklığın etkisiyle kurutma eğrileri arasındaki fark zamanla açılmaktadır.
 - Kurutma havası sıcaklığının kurutma hızı üzerindeki etkisi tane boyutu arttıkça azalmaktadır.
 - Kurutma havası sıcaklığının kurutma hızı üzerindeki etkisi yığın yüksekliği arttıkça artmaktadır.
 - Tane boyutunun kurutma hızı üzerindeki etkisinin kurutma havası hızının artmasıyla arttığı görülmüştür.
 - Yatak yüksekliğinin kurutma süresi üzerindeki negatif etkisi tane boyutu arttıkça artar.

- Konya-İlgın linyitinin kurutma karakteristiği eğrilerinde sabit kurutma hızı aşaması görülmemiştir. Sadece uzun ve azalan kurutma hızı aşaması görülmektedir. Bu durumun nedeni, içsel etkilerin Konya-İlgın linyitinin kurutulmasında baskın mekanizma olmasıdır.
- Yapılan kurutucu tasarım deneyleri sonucunda;
 - Kurutma karakteristiğinin belirlendikten sonra, büyük taneli kömürler (ısınma amacıyla kullanılan kömürler) için kurutu ön tasarımı yapılmıştır. Tasarım için kritik parametrelerin yönetmeliklere göre kömür çıkış nemi, AID ve ufalanma oranı olduğu belirlenmiştir.
 - Kömür tane boyutunun kurutma ile değişimi ufalanma ile ifade edilmiş ve kurutma şartları ile ufalanma oranı arasındaki değişimler incelenmiştir. Literatürde buna benzer bir ifade bulunmamaktadır. Ufalanma oranı, kurutucudan çıkan kömürlerin referans elek delik çapına göre, elek altında kalan kömür miktarı ile kurutucuya giren kömür miktarı arasındaki oranı olarak tanımlanmıştır.
 - Sabit kurutma süresi ve şartları için; sıcaklık arttıkça çıkış nemi azalmakta, buharlaşan nem oranı, ısı değer ve ufalanma oranı artmaktadır.
 - Sabit kurutma süresi ve şartları için; hava hızı arttıkça çıkış nemi azalmakta, buharlaşan nem oranı, ısı değer ve ufalanma oranı artmaktadır.
 - Sabit kurutma süresi ve şartları için; yığın yüksekliği arttıkça çıkış nemi artmakta, buharlaşan nem oranı, ısı değer ve ufalanma oranı azalmaktadır.
 - Sabit kurutma süresi ve şartları için; tane boyutu arttıkça çıkış nemi artmakta, buharlaşan nem oranı, ısı değer ve ufalanma oranı azalmaktadır.
 - Aynı sıcaklık şartı durumunda, süre arttıkça çıkış nemi düşmekte, buharlaşan nem oranı, ufalanma oranı ve AID artmaktadır.

- Kurutma havası hızındaki artış ufalanmayı önemli ölçüde olumsuz etkilediği belirlenmiştir.
- Tane boyutu küçüldükçe kurutma süresinin kömür nemi üzerindeki etkisi daha çok olmaktadır. Ufalanma oranı ise tane boyutlarının küçülmesi ile kurutma süresinden daha çok etkilenmektedir.
- Kömür yığınının alt ve üst tabakaları ile ufalanan kömür tanelerinden alınan numuneler için yapılan kömür nem ölçümleriyle büyük farkların olduğu gösterilmiştir: Yığın üstü ve altı arasındaki kömür çıkış nemi farkı ortalama 10 puandır. Yığın üstü ve ufalanmış numunelerin nem ölçümleri arasındaki fark ortalama 27 puandır. Yığın altı ve ufalanmış numunelerin nem ölçümleri arasındaki fark ise ortalama 17 puandır.
- Kurutucu tasarım deneylerinden elde edilen bulgular sonucunda bantlı kurutucu için tasarım şartları belirlenmiştir:
 - Kurutma havası sıcaklığı kurutma hızını önemli ölçüde belirleyen parametre olduğu belirlenmiştir. Yaklaşık 110 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda ufalanma oranında yüksek oranda artış görülmüştür. Bu nedenle, kurutma havası sıcaklığı olarak 100 °C kabul edilmiştir.
 - Kurutma havası hızı ufalanmayı yüksek oranda olumsuz etkilediği için mümkün olduğunca düşük tutulması gerektiği değerlendirilmiştir. Dolayısıyla, kurutma havası hızı, deneylerde kullanılan en düşük değer olan 0.4 m/s olarak kabul edilmiştir.
 - Gerçek durum için, 20-50 mm boyut aralığında kurutucuya gelecek Konya-İlgın linyitinin boyut dağılımı bilinmemektedir. Bu nedenle, kömür boyut dağılımı olarak 20-50 mm ve homojen dağılımlı kömür kabul edilmiştir.
 - Yığın yüksekliği arttıkça kömür çıkış nemi artmakta ve ufalanma oranı azalmaktadır. Elde edilen deneysel bulgular sonucunda, yığın yüksekliğinin 250 mm olması durumunda istenen hedeflere yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

- Kurutucu tasarımı için yapılan deneylerde ufalanmanın çok önemli bir parametre olduğu belirlenmiştir. Ufalanma oranı ile nem oranı arasında önemli bir bağlantı olduğu gösterilmiştir. Ufalanmış kömür taneleri kurumaya devam etmektedir.
- Belirlenen kurutucu ön tasarım değerleri kullanılarak 1 ton/h kapasiteye sahip bantlı kömür kurutma sisteminin boyutlandırılması yapılmıştır.

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmaların bulguları kullanılarak Konya-İlgın linyiti kurutma karakteristiği belirlenmiş ve bantlı kömür kurutma sisteminin ön tasarımı yapılmıştır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmaların uygulamaya geçirilmesi çok zor görünmemektedir ve Türkiye için önemli bir başlangıçtır. Isıtma amacıyla kullanılan yerli linyit kaynaklarının daha verimli ve temiz bir şekilde tüketilmesinin gerekliliğinin anlaşılması açısından önemli bir çalışmadır.

Bu tezin konusu dışında olan ancak çok önemli olan bir diğer husus da termik santrallerde kullanılan yerli linyit kaynaklarının kurutulmasıdır. Yerli linyitlerin büyük bir kısmının enerji üretimi amacıyla termik santrallerde kullanılması ve santrallerde sebep olduğu problemlerin büyüklüğü beraber değerlendirildiğinde, santraller için uygun kurutma yöntemlerinin ve şartlarının belirlenerek santrallere uygulanması konusunda araştırma ve geliştirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Genel Bilgileri, <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=enerji&bn=215&hn=12&nm=384&id=384>, 1 Ocak 2015.
- [2] Yuksel, İ. ve Kaygusuz, K., (2011). "Renewable energy sources for clean and sustainable energy policies in Turkey", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(8):4132–4144.
- [3] ETKB, (2015). 2014 Yılı Bütçe Sunumu, Ankara.
- [4] IEA, (2014). World Energy Outlook 2013.
- [5] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Genel Bilgileri, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Enerji>, 1 Ocak 2015.
- [6] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, (2013). Enerji Raporu 2012.
- [7] Türkyılmaz, O., (2014). "Türkiye'nin Enerji Görünümü ve Geleceği", ESIAD-EGE Sanayicileri ve İşadamları Derneği Hilton İzmir.
- [8] Kural, O., (1991). Kömür, İstanbul.
- [9] Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, (2013). Kömür Sektör Raporu (Linyit).
- [10] World Energy Resources, www.worldenergy.org, 5 Aralık 2014.
- [11] IEA, (2012). Electricity Information 2012. Paris.
- [12] TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). 2013.
- [13] Durmaz, A., (1993). "Sobalarda Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği ve Azaltılması", MMO No:136, 1993, Eskişehir.
- [14] Topal, H., ve Durmaz, A., (1995). "Isıtma Tesisatında Yapısal Kazan Tadilatının Emisyonlar ve Yakıt Tüketimine Etkisi", Teskon, 1995, İzmir.
- [15] Karthikeyan, M., Zhonghua, W. ve Mujumdar, A.S., (2009). "Low-Rank Coal Drying Technologies—Current Status and New Developments", Drying Technology, 27(3):403–415.
- [16] Pikon, J. ve Mujumdar, A.S., (2006). "Drying of Coal", Handbook of Industrial Drying, Third Edition, CRC Press.

- [17] Jangam, S.V., Karthikeyan, M. ve 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.
- [18] Karr, C., (1978). *Analytical Methods for Coal and Coal Products*, Academic Press, New York.
- [19] Allardice, D.J., (1991). *The Science of Victorian Brown Coal*, Oxford, Butterworth-Heinemann.
- [20] Rozgonyi, T.G. ve Szigeti, L.Z., (1985). "Upgrading of high moisture content lignite using saturated steam", *Fuel Processing Technology*, 10(1):1–18.
- [21] D. Effenberg, (1989). "Theoretische und Praktische Untersuchungen zur Trocknung von Braunkohle", Doktora Tezi, TU, Dresden.
- [22] Evans, D.G., (1973). "The brown-coal/water system: Part 4. Shrinkage on drying", *Fuel*, 52(3):186–190.
- [23] Salmas, C.E., Tsetsekou, A.H., Hatzilyberis, K. S. ve Androutsopoulos, G. P., (2001). "Evolution Lignite Mesopore Structure During Drying. Effect of Temperature And Heating Time" *Drying Technology*, 19(1):35–64.
- [24] Hoehne, O., Lechner, S., Schreiber, M. ve Krautz, H.J., (2010). "Drying of Lignite in a Pressurized Steam Fluidized Bed—Theory and Experiments", *Drying Technology*, 28:5–19.
- [25] Fohl J, Lugscheider W ve Wallner F, (1987). "Entfernen von Wasser aus der Braunkohle. Teil1: Braunkohle", 39(3):46–57.
- [26] Li, X., Song, H., Wang, Q., Meesri, C., Wall, T. ve Yu, J., (2009). "Experimental study on drying and moisture re-adsorption kinetics of an Indonesian low rank coal", *Journal of Environmental Sciences*, 21, Supplement 1(0):127–S130.
- [27] Schaefer, H.-G ve Opdenwinkel, H, (1985). "Ueber die ermittlung der bindungsenthalpie aus den desorptionsisothermen einer rheinischen braunkohle im bereich hoeherer temperaturen", *Chemiker-Zeitung*, 109(5): 150-171.
- [28] Wahl, T. ve Franke, B, (1990). "Zum waermeverbrauch bei der braunkohletrocknung", *Braunkohle*, 42(7):30–34.
- [29] Allardice, D. J. ve Evans, D. G., (1971). "The brown-coal/water system: Part 1, The effect of temperature on the evolution of water from brown coal", *Fuel*, 50(2):201–210.
- [30] Karthikeyan, M., (2008). "Minimization of Moisture Readsorption in Dried Coal Samples", *Drying Technology*, 26(7):948–955.
- [31] Sarunac, N., Levy, E.K., Bullinger, C. ve Ness, M., (2008). "A Low-Temperature Coal Drying Process Provides Dry Feed to a Coal-to-Liquids Plant, Improves Performance of a Supercritical Pulverized Lignite-Fired Power Plant, and Increases Value of Washed High-Moisture Illinois Coals", 33rd International Technical Conference on Coal Utilization and Fuel Systems, Clearwater, Florida.

- [32] Delvosalle, C. ve Vanderschuren, J., (1985). "Gas to particle and particle to particle heat transfer in fluidized-bed of large particles", *Chemical Engineering Science*, 40:769–779.
- [33] Hui Wang, Z. ve Chen, G., (2000). "Heat and mass transfer in batch fluidized-bed drying of porous particles", *Chemical Engineering Science*, 55(10):1857–1869.
- [34] Kim, H.S., Nishiyama, Y., Ideta, K., Miyawaki, J., Matsushita, Y., Park, J.I., Mochida, I. ve Yoon, S.H., (2013). "Analysis of water in Loy Yang brown coal using solid-state ^1H NMR", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, (19):1673–1679.
- [35] Altınar, M., Yildirim, M. ve Vapur, H., (2012). "Effects of Microwave and Conventional Drying Methods on Grinding Characteristics of Afsin-Elbistan Lignite", XIII. International Mineral Processing Symposium, Bodrum.
- [36] Khoshjavan, S., Mazlumi, M., Rezai, B. ve Rezai, M., (2010). "Estimation of hardgrove grindability index (HGI) based on the coal chemical properties using artificial neural networks", *Oriental Journal of Chemistry*, 26(4):1271–1280.
- [37] Sengupta, A.N., (2002). "An assessment of grindability index of coal", *Fuel Processing Technology*, 76(1):1–10.
- [38] Ural, S. ve Akyıldız, M., (2004). "Studies of the relationship between mineral matter and grinding properties for low-rank coals", *International Journal of Coal Geology*, 60(1):81–84.
- [39] Jorjani, E., Hower, J.C., Chelgani, C., S., Shirazi, M.A. ve Mesroghli, S., (2008). "Studies of relationship between petrography and elemental analysis with grindability for Kentucky coals", *Fuel*, 87(6):707–713.
- [40] Tiryaki, B., (2005). "Technical Note Practical Assessment of the Grindability of Coal Using its Hardness Characteristics", *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 38(2):145–151.
- [41] Vuthaluru, H.B., Brooke, R.J., Zhang, D.K. ve Yan, H.M., (2003). "Effects of moisture and coal blending on Hardgrove Grindability Index of Western Australian coal", *Fuel Processing Technology*, 81(1):67–76.
- [42] Khoshjavan, S., Khoshjavan, R. ve Rezai, B., (2013). "Evaluation of the effect of coal chemical properties on the Hardgrove Grindability Index (HGI) of coal using artificial neural networks", *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 113:505–510.
- [43] Delibalta, M.S. ve Toraman, O.Y., (2012). "The Effect of Microwave Energy on Grindability of a Turkish High-Ash Coal", *Energy Science and Technology*, 3(2):46–49.
- [44] Rodrigues, C.F. ve Lemos de Sousa, M.J., (2002). "The measurement of coal porosity with different gases", *International Journal of Coal Geology*, 48(3–4):245–251.

- [45] ASTM Designation D 388-98a—Standard Classification of Coals by Rank , ASTM International, West Conshohocken, PA, 1998.
- [46] Keey, R.B., (1972). *Drying: Principles and Practise*, Pergamon Press, Oxford.
- [47] Pakowski, Z. ve Mujumdar, A.S., (2006). “Basic Process Calculations and Simulations in Drying”, *Handbook of Industrial Drying*, Third Edition, CRC Press.
- [48] Perussello, C.A., Kumar, C., de Castilhos, F. ve Karim, M.A., (2014). “Heat and mass transfer modeling of the osmo-convective drying of yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*)”, *Applied Thermal Engineering*, 63(1):23–32.
- [49] Kudra, T. ve Mujumdar, A.S., (2009). *Advanced Drying Technologies*, CRC Press.
- [50] Mujumdar, A.S., (2006). “Principles, Classification ve Selection of Dryers”, *Handbook of Industrial Drying*, Third Edition, CRC Press.
- [51] Woo, M.W., Stokie, D., Choo, W.L. ve Bhattacharya, S., (2013). “Master curve behaviour in superheated steam drying of small porous particles”, *Applied Thermal Engineering*, 52(2):460–467.
- [52] Hasatani, M., Itaya, Y. ve Miura, K., (1988). “Hybrid Drying Of Granular Materials By Combined Radiative And Convective Heating” *Drying Technology*, 6(1):43–68.
- [53] Pakowski, Z. ve Adamski, R., (2011). “On Prediction of the Drying Rate in Superheated Steam Drying Process”, *Drying Technology*, 29(13):1492–1498.
- [54] Schlünder, E.U., (2004). “Drying of Porous Material During the Constant and the Falling Rate Period: A Critical Review of Existing Hypotheses”, *Drying Technology*, 22(6):1517–1532.
- [55] Chou, S.K., Hawlader, M.N.A. ve Chua, K.J., (1997). “Identification Of The Receding Evaporation Front in Convective Food Drying” *Drying Technology*, 15(5):1353–1367.
- [56] Luikov, A.V., (1966). “Application of irreversible thermodynamics methods to investigation of heat and mass transfer”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 9(2):139–152.
- [57] Luikov, A.V., (1975). “Systems of differential equations of heat and mass transfer in capillary-porous bodies (review)”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 18(1):1–14.
- [58] Whitaker, S., (1977). “Simultaneous Heat, Mass, and Momentum Transfer in Porous Media: A Theory of Drying”, Elsevier:119–203.
- [59] Zhang, Z., Yang, S. ve Liu, D., (1999). “Mechanism and mathematical model of heat and mass transfer during convective drying of porous materials”, *Heat Transfer—Asian Research*, 28(5):337–351.
- [60] Zogzas, N.P. ve Maroulis, Z.B., (1996). “Effective Moisture Diffusivity Estimation from Drying Data. A Comparison Between Various Methods of Analysis”, *Drying Technology*, 14(7-8):1543–1573.

- [61] Hager, J., Hermansson, M. ve Wimmerstedt, R., (1997). "Modelling steam drying of a single porous ceramic sphere: experiments and simulations", *Chemical Engineering Science*, 52(8):1253–1264.
- [62] Wang, W., Ma, H. ve Chen, G., (2011). "A Model for Drying of Porous Materials: From Generality to Specific Applications", *Drying Technology*, 29(13):1542–1555.
- [63] Xiao, Z., Yang, D., Yuan, Y., Yang, B. ve Liu, X., (2008). "Fractal Pore Network Simulation on the Drying of Porous Media", *Drying Technology*, 26(6):651–665.
- [64] Nowicki, S.C., Davis, H.T. ve Scriven, L.E., (1992). "Microscopic Determination Of Transport Paraheters In Drying Porous Media" *Drying Technology*, 10(4):925–946.
- [65] Prat, M., (1993). "Percolation model of drying under isothermal conditions in porous media", *International Journal of Multiphase Flow*, 19(4):691–704.
- [66] Salin, J.-G., (2008). "Drying of Liquid Water in Wood as Influenced by the Capillary Fiber Network", *Drying Technology*, 26(5):560–567.
- [67] Metzger, T., Irawan, A. ve Tsotsas, E., (2007). "Influence of pore structure on drying kinetics: A pore network study", *AIChE Journal*, 53(12):3029–3041.
- [68] Yiotis, A.G., Tsimpanogiannis, I.N. ve Stubos, A.K., (2010). "Fractal Characteristics and Scaling of the Drying Front in Porous Media: A Pore Network Study", *Drying Technology*, 28(8):981–990.
- [69] Segura, L.A. ve Toledo, P.G., (2005). "Pore-Level Modeling of Isothermal Drying of Pore Networks Accounting for Evaporation, Viscous Flow, and Shrinking", *Drying Technology*, 23(9-11):2007–2019.
- [70] Prachayawarakorn, S., Prakotmak, P. ve Soponronnarit, S., (2008). "Effects of pore size distribution and pore-architecture assembly on drying characteristics of pore networks", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(1–2):344–352.
- [71] Erbay, Z. ve Icier, F., (2010). "A Review of Thin Layer Drying of Foods: Theory, Modeling, and Experimental Results", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5):441–464.
- [72] Román, F., Strahl-Schäfer, V. ve Hensel, O., (2012). "Improvement of air distribution in a fixed-bed dryer using computational fluid dynamics", *Biosystems Engineering*, 112(4):359–369.
- [73] Katalambula, H. ve Gupta, R., (2009). "Low-Grade Coals: A Review of Some Prospective Upgrading Technologies†", *Energy Fuels*, 23(7):3392–3405.
- [74] Noetzel, A.M., (2006). "Untersuchung zumStand der Technik in der Kräutertrocknung kleiner bis mittelgroßer Anbaubetriebe in der Bundesrepublik Deutschland", Yüksek Lisans Tezi, University of Kassel.
- [75] Zheng, H.-J., Zhang, S.-Y., Guo, X., Lu, J.-F., Dong, A.-X., Deng, W.-X., Tang, W.-J., Zhao, M.-H. ve Jin, T., (2014). "An experimental study on the drying kinetics

- of lignite in high temperature nitrogen atmosphere”, *Fuel Processing Technology*, 126(0):259–265.
- [76] Komatina, M., Manovic, V. ve Saljnikov, A., (2007). “A Model of Coal Particle Drying in Fluidized Bed Combustion Reactor”, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 29(3):239–250.
 - [77] Agarwal, P.K., Genetti, W.E. ve Lee, Y.Y., (1984). “Drying and devolatilization of Mississippi Lignite in a Fluidized Bed”, *Prepr. Pap., Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem.; (United States)*, 29(2):94–103.
 - [78] Sarunac, N., Levy, E.K., Ness, M., Bullinger, C.W., Mathews, J.P. ve Halleck, P.M., (2009). “A Novel Fluidized Bed Drying and Density Segregation Process for Upgrading Low-Rank Coals”, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 29(6):317–332.
 - [79] Levy, E.K., Sarunac, N., Bilirgen, H. ve Caram, H., (2006). *Use Of Coal Drying To Reduce Water Consumed In Pulverized Coal Power Plants*, Energy Research Center.
 - [80] Tahmasebi, A., Yu, J., Han, Y. ve Li, X., (2012). “A study of chemical structure changes of Chinese lignite during fluidized-bed drying in nitrogen and air”, *Fuel Processing Technology*, 101(0):85–93.
 - [81] Li, Y.H. ve Skinner, J.L., (1986). “Development And Validation Of A Process Simulator For Drying Subbituminous Coal” *Chemical Engineering Communications*, 49(1-3):99–118.
 - [82] Potter, O.E., Beeby, C.J., Fernando, W.J.N. ve Ho, P., (1983). “Drying Brown Coal in Steam-Heated, Steam-Fluidized beds”, *Drying Technology*, 2(2):219–234.
 - [83] Looi, A.Y., Golonka, K. ve Rhodes, M., (2002). “Drying kinetics of single porous particles in superheated steam under pressure”, *Chemical Engineering Journal*, 87(3):329–338.
 - [84] Bueno, J.L., Iglesias, O. ve Garcia, A., (1993). “Drying Of Particulate Solids: Determination Of The Characteristic Curve Of Brown Coal” *Drying Technology*, 11(3):555–570.
 - [85] Vorres, K.S., (1994). “Effect of Temperature, Sample Size, and Gas Flow Rate on Drying on Beulah-Zap Lignite and Wyodak Subbituminous Coal”, *Energy & Fuels*, 8(2):320–323.
 - [86] Tahmasebi, A., Yu, J., Li, X. ve Meesri, C., (2011). “Experimental study on microwave drying of Chinese and Indonesian low-rank coals”, *Fuel Processing Technology*, 92(10):1821–1829.
 - [87] Pakowski, Z., Adamski, R., Kokocińska, M. ve Kwapisz, S., (2011). “Generalized desorption equilibrium equation of lignite in a wide temperature and moisture content range”, *Fuel*, 90(11):3330–3335.
 - [88] Jeon, D., Kang, T., Kim, H., Lee, S. ve Kim, S., (2011). “Investigation of drying characteristics of low rank coal of bubbling fluidization through experiment using lab scale”, *Science China Technological Sciences*, 54(7):1680–1683.

- [89] Levy, E.K., Caram, H.S., Yao, Z., Wei, Z. ve Sarunac, N., (2006). "Kinetics Of Coal Drying In Bubbling Fluidized Beds" Proceedings Fifth World Congress on Particle Technology, Orlando, Florida.
- [90] Wang, W.-C., (2012). "Laboratory investigation of drying process of Illinois coals", Powder Technology, 225(0):72–85.
- [91] Ross, D., Doguparthy, S., Huynh, D. ve McIntosh, M., (2005). "Pressurised flash drying of Yallourn lignite", Fuel, 84(1):47–52.
- [92] Bongers, G.D., Jackson, W.R. ve Woskoboenko, F., (1998). "Pressurised steam drying of Australian low-rank coals: Part 1. Equilibrium moisture contents", Fuel Processing Technology, 57(1):41–54.
- [93] Bongers, G.D., Jackson, W.R. ve Woskoboenko, F., (2000). "Pressurised steam drying of Australian low-rank coals: Part 2. Shrinkage and physical properties of steam dried coals, preparation of dried coals with very high porosity", Fuel Processing Technology, 64(1–3):13–23.
- [94] Chen, Z., Wu, W. ve Agarwal, P.K., (2000). "Steam-drying of coal. Part 1. Modeling the behavior of a single particle", Fuel, 79(8):961–974.
- [95] Chen, Z., Agarwal, P.K. ve Agnew, J.B., (2001). "Steam drying of coal. Part 2. Modeling the operation of a fluidized bed drying unit", Fuel, 80(2):209–223.
- [96] Park, J., Shun, D., Bae, D.-H., Lee, S., Seo, J.H. ve Park, J.H., (2011). "The Effect Of Gas Temperature And Velocity On Coal Drying In Fluidized Bed Dryer" The 13th International Conference on Fluidization - New Paradigm in Fluidization Engineering, Korea.
- [97] Suwono, A. ve Hamdani, (1999). "Upgrading the Indonesian's Low Rank Coal by Superheated Steam Drying with Tar Coating Process and its Application for Preparation of CWM", Coal Preparation, 21(1):149–159.
- [98] Lytle, J., Choi, N. ve Prisdrey, K., (1992). "Influence of preheating on grindability of coal", International Journal of Mineral Processing, 36(1–2):107–112.
- [99] Jentzsch, B., Höhne, O. ve Porsche, T., (2011). "Experiences with drying of lignite in a pressurized steam fluidized bed pilot plant", 2nd Oxyfuel Combustion Conference, Yeppoon.
- [100] Kim, H.-S., Matsushita, Y., Oomori, M., Harada, T., Miyawaki, J., Yoon, S.-H. ve Mochida, I., (2013). "Fluidized bed drying of Loy Yang brown coal with variation of temperature, relative humidity, fluidization velocity and formulation of its drying rate", Fuel, 105(0):415–424.
- [101] Tahmasebi, A., Yu, J., Han, Y., Zhao, H. ve Bhattacharya, S., (2014). "A kinetic study of microwave and fluidized-bed drying of a Chinese lignite", Chemical Engineering Research and Design, 92(1):54–65.
- [102] Staki, M. ve Tsotsas, E., (2004). "Modeling and Numerical Analysis of an Atypical Convective Coal Drying Process", Drying Technology, 22(10):2351–2373.

- [103] Olufemi, B.A. ve Udefiagbon, I.F., (2010). "Modelling the Drying of Porous Coal Particles in Superheated Steam", *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 24(1):29–34.
- [104] Zhang, K. ve You, C., (2013). "Numerical simulation of lignite drying in a packed moving bed dryer", *Fuel Processing Technology*, 110(0):122–132.
- [105] Kang, T.-J., Namkung, H., Xu, L.-H., Lee, S., Kim, S., Kwon, H.-B. ve Kim, H.-T., (2013). "The drying kinetics of Indonesian low rank coal (IBC) using a lab scale fixed-bed reactor and thermobalance to apply catalytic gasification process", *Renewable Energy*, 54(0):138–143.
- [106] Liu, M., Yan, J., Chong, D., Liu, J. ve Wang, J., (2013). "Thermodynamic analysis of pre-drying methods for pre-dried lignite-fired power plant", *Energy*, 49(0):107–118.
- [107] Aziz, M., Kansha, Y. ve Tsutsumi, A., (2011). "Self-heat recuperative fluidized bed drying of brown coal", *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50(9):944–951.
- [108] Aziz, M., Kansha, Y., Kishimoto, A., Kotani, Y., Liu, Y. ve Tsutsumi, A., (2012). "Advanced energy saving in low rank coal drying based on self-heat recuperation technology", *Fuel Processing Technology*, 104(0):16–22.
- [109] Liu, Y., Aziz, M., Kansha, Y. ve Tsutsumi, A., (2013). "A novel exergy recuperative drying module and its application for energy-saving drying with superheated steam", *Chemical Engineering Science*, 100(0):392–401.
- [110] Pakowski, Z., Adamski, R. ve Kwapisz, S., (2011). "Effective Diffusivity Of Moisture In Low Rank Coal During Superheated Steam Drying At Atmospheric Pressure" *Chemical and Process Engineering*, 33(1):43–51.
- [111] Zhang, K. ve You, C., (2010). "Experimental and Numerical Investigation of Convective Drying of Single Coarse Lignite Particles", *Energy&Fuels*, 24:6428–6436.
- [112] Zhang, K. ve You, C., (2011). "Experimental and Numerical Investigation of Lignite Particle Drying in a Fixed Bed", *Energy&Fuels*, 25(4014–4023).
- [113] Shi, Y., Li, J., Li, X., Wu, J., Wu, M., Li, S., Wang, H., Zhao, G. ve Yin, F., (2012). "Experimental Study on Super-heated Steam Drying of Lignite", *Advanced Materials Research*, 347-353:3077–3082.
- [114] Çalban, T. ve Erşahan, H., (2003). "Drying of a Turkish Lignite in a Batch Fluidized Bed", *Energy Sources*, 25:1129–1135.
- [115] Çalban, T., (2006). "The Effects of Bed Height and Initial Moisture Concentration on Drying Lignite in a Batch Fluidized Bed", *Energy Sources, Part A*, 28:479–485.
- [116] Ar, F., (1998). Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- [117] Altınar, M., (2011). "Kurutmanın Afşin-Elbistan Linyitinin Öğütme Karakteristliğine Etkisi", Çukurova Üniversitesi, Adana.

- [118] Kızıl, H., (2011). "Akışkan Yatakta Kömür Kurutulmasının DeneySEL Analizi", Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- [119] Akkoyunlu, M.T., (2011). "Termik Santrallerde Kullanılan Kömürün Kurutulması Ve Santral Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi" Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [120] Arık, F. ve Öztürk, A., (2011). "Konya'nın Yeraltı Kaynakları Ve Potansiyeli", I. Konya Kent Sempozyumu, 26-27 Kasım 2011, Konya.
- [121] Wikipedia, Ilgın, Konya, http://tr.wikipedia.org/wiki/Ilg%C4%B1n,_Konya, 1 Ocak 2015.
- [122] MTA, (2010). Konya İli Maden ve Enerji Kaynakları.
- [123] TKİ, (2011). Linyit Sektör Raporu 2010.
- [124] Younsi, R., Kocaefe, D., Poncsak, S. ve Kocaefe, Y., (2007). "Computational modelling of heat and mass transfer during the high-temperature heat treatment of wood", Applied Thermal Engineering, 27(8-9):1424-1431.
- [125] Zhao, P., Zhao, Y., Luo, Z., Chen, Z., Duan, C. ve Song, S., (2014). "Effect of operating conditions on drying of Chinese lignite in a vibration fluidized bed", Fuel Processing Technology, 128(0):257-264.
- [126] Çevre ve Orman Bakanlığı, (2005). Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği.
- [127] Karthikeyan, M. ve Mujumdar, A.S., (2007). Factors Affecting Quality of Dried Low Rank Coals, Minerals, Metals and Materials Technology Centre (M3TC), Singapore.
- [128] Pickles, C.A., Gao, F. ve Kelebek, S., (2014). "Microwave drying of a low-rank sub-bituminous coal", Minerals Engineering, 62(0):31-42.
- [129] Lopez, A., Iguaz, A., Esnoz, A. ve Virseda, P., (2000). "Thin-Layer Drying Behaviour Of Vegetable Wastes From Wholesale Market", Drying Technology, 18(4-5):995-1006.
- [130] Nicoleti, J.F., Telis-Romero, J. ve Telis, V.R.N., 2001, "Air-Drying Of Fresh And Osmotically Pre-Treated Pineapple Slices: Fixed Air Temperature Versus Fixed Slice Temperature Drying Kinetics", Drying Technology, 19(9):2175-2191.
- [131] Conveyor Belt Mesh Band Dryer, <http://hcmine.en.made-in-china.com/productimage/UqfJTIYHVjpV-2f1j00gvsatmZrmdpW/China-Conveyor-Belt-Mesh-Band-Dryer.html>, 1 Ocak 2015.
- [132] Mesh Belt Dryer, <http://www.briquetting-machine.com/mesh-belt-dryer.html>, 1 Ocak 2015.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Şaban PUSAT
Doğum Tarihi ve Yeri : 1984 - İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : spusat@yildiz.edu.tr – sabanpusat@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2010
	Makine Mühendisliği	Marmara Üniversitesi	
	Makine Mühendisliği	Danimarka Teknik Üniversitesi	
Lisans	Makine Mühendisliği	Marmara Üniversitesi	2007
Lise	Sayısal	Gülizar ve Zeki Obdan Süper Lisesi	2002

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009-Devam	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. Pusat, S., Akkoyunlu, M.T., Erdem, H.H. ve Teke, İ., (2015). “Effects of Bed Height and Particle Size on Drying of a Turkish Lignite”, INTERNATIONAL JOURNAL OF COAL PREPARATION AND UTILIZATION, (Basım Aşamasında).
2. Adiguzel, N., Çomaklı, Ö., Ekmekçi, İ. ve Pusat, S., (2015). “Economical Evaluation of a Cogeneration System for a Building Complex”, ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING, (Basım Aşamasında).
3. Pusat, Ş., Ekmekçi, İ. ve Akkoyunlu, M.T., (2015). “Generation of typical meteorological year for different climates of Turkey” RENEWABLE ENERGY, 75, 144–151 (Basım Aşamasında).
4. Pusat, Ş., Akkoyunlu, M.T., Erdem, H.H. ve Dağdaş, A., (2015). “Drying Kinetics of Coarse Lignite Particles in a Fixed Bed” FUEL PROCESSING TECHNOLOGY, 130, 208-213 (Basım Aşamasında).
5. Pusat, S. ve Erdem, H.H., (2014). “Techno-economic model for district heating systems” ENERGY AND BUILDINGS, 72, 177-185.
6. Pusat, Ş., Akkoyunlu, M.T. ve Erdem, H.H., (2014). “Gaz Türbinlerinde Giriş Hava Debinin Hesaplanması” Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 32(4), 469-476.

Bildiri

1. Akkoyunlu, M.T. ve Pusat, Ş., (2014). "Modeling The Drying of a Turkish Lignite in a Fixed Bed", Energy Technologies Conference (ENTECH 2014), İstanbul, Türkiye.
2. Pusat, Ş. ve Ekmekçi, İ., (2010). "A study on climatic zones of Turkey" IX. INTERNATIONAL HVAC+R TECHNOLOGY SYMPOSIUM, İstanbul, Türkiye.
3. Pusat, Ş., (2010). "Wind energy potential assessment and effect of wind data measurement" 9th World Wind Energy Conference (WWEC 2010), İstanbul, Türkiye.
4. Pusat, Ş., (2010). "Effect of wind speed profile on wind energy applications" 9th World Wind Energy Conference (WWEC 2010), İstanbul, Türkiye.
5. Pusat, Ş. ve Bağcı, E., (2010). "Comparison of measured and estimated solar radiation data: a case study for İstanbul" Solar Future 2010, İstanbul, Türkiye.
6. Pusat, Ş. ve Bağcı, E., (2010). "A study on global solar radiation and sunshine duration measured data: a case study for İstanbul" Solar Future 2010, İstanbul, Türkiye.
7. Akkaya, A.V., Pusat, Ş. ve Başak, M.Z., (2010). "Performance analysis of an Organic Rankine Cycle recovering waste gas heat" 10th International Conference on Clean Energy (ICCE 2010), Famagusta, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti.
8. Pusat, Ş., Ekmekçi, İ., Dündar, A.C., Ermiş, K. ve Şen, Y., (2014). "İstanbul için Tipik Meteorolojik Yıl ve Derece-Saat Hesabı" 2. Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu ve Sergisi (İKSES 2014), Balıkesir, Türkiye.

- 9 Ekmekçi, İ. ve Pusat, Ş., (2009). “İstanbul’daki Dört İstasyon İçin Değişken Tabanlı Derece-Saat Hesabı” Conference on Nuclear and Renewable Energy Resources (NUYEK 2009), Ankara, Türkiye.
- 10 Akkoyunlu, M.T., Akkoyunlu, M.C., Pusat, Ş. ve Özkan, C., (2014). “Using Artificial Neural Networks in the Prediction of Incorrect Values of Coal Drying Experiments” 15th International Conference on Operational Research (KOI 2014). Osijek, Hırvatistan.
- 11 Pusat, Ş. ve Ekmekçi, İ. (2010). “Sakarya-Esentepe Bölgesi için Rüzgâr Enerjisi Veri Analizi Çalışması” Humboldt Kolleg Istanbul - Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

PROJELERİ

- | | | | |
|----|--|---|-----------|
| 1. | Alemdağ İlçesinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi | Lisans Tezi | 2007 |
| 2. | Rüzgar ve Güneş Enerjisi Projeleri | Danışmanlık Projesi: (Uzman Enerji Firması) | 2008-2009 |
| 3 | Bina Enerji Performansı Hesaplama Metodu (BEP-TR) | Danışmanlık Projesi (EVD Firması - Bayındırlık Bakanlığı) | 2008-2009 |
| 4 | Bir Bölgenin Isıtma Amaçlı Enerji Talebinin Belirlenmesi ve Bölge Isıtma Sistemi için Uygunluğunun Analizi | Yüksek Lisans Tezi | 2010 |
| 5 | Termik Santral Performans İzleme ve Değerlendirme Sistemi Tasarımı ve Uygulaması (PERİDSİS) | TÜBİTAK: (KAMAG 1007 No: 110G092) | 2011-2013 |

6	Bina Enerji Performansı Yazılımının (BEP-TR) İyileştirilmesi	Danışmanlık Projesi: 2014 (Yıldız Enerji Merkezi - TÜBİTAK)
7	Bantlı Kömür Kurutma Sisteminin Tasarımı	Danışmanlık Projesi: 2014 (ASOS Mekatronik – TÜBİTAK TEYDEB No: 1120278)
8	Linyitlerin Kurutulma Özelliklerinin İncelenmesi	YTÜ BAP (No: 2012-06- 2012-2015 01-DOP01)
9	İstanbul Enerji Verimliliği Merkezi	İstanbul Kalkınma Ajansı 2014-2015 - İSTKA (YTÜ-ISO No: TR10/14/EVK/0008)

ÖDÜLLERİ

1. Yüksek Lisans Eğitim Bursu (12.500 Euro) – Vestas Company (Danimarka) - 2007
2. TÜBİTAK Yayın Teşviki – 2014
3. TÜBİTAK Yayın Teşviki – 2015