

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

**PULVERİZE LİNYİT YAKITLI TERMİK SANTRALLARDA  
DEĞİRMENLERİN ÖĞÜTME PERFORMANSLARININ TESPİTİ VE  
KAZAN YANMA VERİMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

**MUSTAFA METİN ÇAM  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GEBZE  
2015**

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

**PULVERİZE LİNYİT YAKITLI TERMİK**  
**SANTRALLARDA DEĞİRMENLERİN**  
**ÖĞÜTME PERFORMANSLARININ TESPİTİ**  
**VE KAZAN YANMA VERİMİNİN**  
**İYİLEŞTİRİLMESİ**

**MUSTAFA METİN ÇAM**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANI**  
**YRD. DOÇ. DR. SALİH ÖZEN ÜNVERDİ**

**GEBZE**  
**2015**

**T.R.**  
**GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY**  
**GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**ASSESSMENT OF COAL MILLS' PERFORMANCE  
AND IMPROVEMENT OF BOILER COMBUSTION  
EFFICIENCY IN PULVERIZED LIGNITE FIRED  
THERMAL POWER PLANTS**

**MUSTAFA METİN ÇAM**  
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE**  
**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

**THESIS SUPERVISOR**  
**ASS. PROF. DR. SALİH ÖZEN ÜNVERDİ**

**GEBZE**  
**2015**

|                                  |                                      |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| <b>GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ</b> | <b>YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU</b> |
|----------------------------------|--------------------------------------|

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14/01/2015 tarih ve 2015/03 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 19/01/2015 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mustafa Metin ÇAM 'ın tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

#### JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. Salih Özen ÜNVERDİ

ÜYE

: Doç. Dr. İlyas KANDEMİR

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Mehmet GÜNDÜZ

#### ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

## ÖZET

Bu çalışma, temelde deneysel bir çalışma olup, Soma B Termik Santrali 2. Ünitesinin pulverize linyit yakıtlı buhar kazanında gerçekleştirilmiştir. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır: Birinci aşama değirmen öğütme performansının tespiti olup, santrallarda rutin yapılan kömür ve kül analizleri dışında, kazana beslenen kömürün tane iriliği ve pulverize kömür kanallarında yakıt-gaz debileri özel bir test düzeneği yardımı ile belirlenmiştir. Elde edilen veriler yorumlanarak değirmenlerin öğütme ve ayırma performansı ortaya konmuştur. İkinci aşama birinci aşama testlerin devamı niteliğinde olup, kazan yanma verimini iyileştirmeye yönelik deneysel çalışmalardır. Bu kapsamda yanma veriminde etkin rol oynayan; yakma havası miktarı, yakıt-hava karışımı, gaz hızları ve pulverize kömür tane iriliği ile ilişkili birtakım testler gerçekleştirilmiştir. Bu testler: yakıcı girişi hava ayarları, yakma havasının kontrolü ve altı değirmenin birlikte çalıştırılması testleridir. Bu çalışmalar sonucunda kazan için kritik işletme parametreleri belirlenmiş ve problemlerin kök nedenleri ortaya çıkarılarak mevcut duruma uygun çözüm önerileri sunulmuştur. Ünite kazanın tam yükte, ön ısıtıcı çıkışı O<sub>2</sub> oranı %5,5-6, ikincil hava klape konumları alt ve üst sırasıyla %50 ve %25 açıklıklarda, kış aylarında 6 değirmen birlikte her biri %75 yükte, yaz aylarında ise 5 değirmen her biri %90 yükte, çalışacak şekilde işletilmesi tavsiye edilmiştir. Bu çalışmada ayrıca, bir pulverize linyit yakıtlı kazanda yanma performansını iyileştirmeye yönelik yapılabilecek test ve analizler konusunda yeni bir yaklaşım sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Pulverize kömür ateşlemeli kazanlar, eşkinetik kömür örnekleme düzeneği, kirli hava testi, birincil hava, ikincil hava, değirmen.

## SUMMARY

This thesis consists of experimental studies which were carried out in the pulverized lignite-fired boiler of Soma B Thermal Power Plant Unit 2. The study consists of two steps: The first step is the determination of the grinding mill performance. Within this first step, besides routine coal and ash analysis in a pulverized lignite fuel thermal power plant, pulverized coal grain-size distribution and fuel-gas quantities in each channel is determined with the help of special test equipment after a pulverized coal mill. Current mill performances are determined by evaluating the collected test data. Second step which is the continuation of first step consists of experimental work to improve boiler combustion efficiency. Within this scope, the amount of combustion air and its mixture with pulverized coal fuel, which plays an active role in the efficiency, gas velocity and particle size associated tests are conducted. These are burner inlet air setting, combustion air setting and operation with the six mills tests. As a result of these studies, critical operational parameters are determined and root-cause analysis of the problems are obtained, yielding some propositions on the solution of current problems. Following operational parameters are recommended: O<sub>2</sub> ratio at preheater outlet is to be 5,5-6%, lower and upper secondary air flap openings to be 50% and 25% respectively, operation of 6 mills each of them at 75% load in winter and operation of 5 mills each of them at 90% load in summer. This study presents a new procedure for tests and analysis to determine current performances of thermal power plant boilers and to improve the combustion in a pulverized lignite-fired boiler.

**Key Words: Pulverized lignite fired boilers, isokinetic coal sampling, dirty air testing, primary air, secondary air, mill.**

## TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluŐmasının yolunu açan danıŐmanım Yrd. Doç. Dr. Salih Özen ÜNVERDİ'ye, bütün çalıŐmam boyunca, bilgi ve fikirlerini benimle paylaŐan çalışma arkadaŐım Tahsin SEVGEL'e, yapılan Őlm ve analizlerde yardımını esirgemeyen çalışma arkadaŐım Koray YAŐA'ya ve göstermiŐ olduğu desteklerinden dolayı değerli eŐime en içten teŐekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

|   | <b><u>Sayfa</u></b> |
|---|---------------------|
| ÖZET  | v                   |
| SUMMARY                                       | vi                  |
| TEŞEKKÜR                                      | vii                 |
| İÇİNDEKİLER                                   | viii                |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ                | x                   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                               | xi                  |
| TABLolar DİZİNİ                               | xiv                 |
| <br>  |                     |
| 1. GİRİŞ                                      | 1                   |
| 1.1. Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı | 1                   |
| 1.2. Elektrik Üretiminde Kömürün Payı         | 3                   |
| 1.3. Amaç ve Kapsam                           | 5                   |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI                      | 10                  |
| 2.1. Kömür                                    | 10                  |
| 2.2. Kömür Analizleri                         | 11                  |
| 2.2.1. Kısa Analiz                            | 11                  |
| 2.2.2. Elementel Analiz                       | 12                  |
| 2.2.3. Isıl Değerin Saptanması                | 12                  |
| 2.2.4. Numune Alma Yöntemi                    | 13                  |
| 2.2.5. Pulverize Kömür Örnekleme Yöntemi      | 14                  |
| 2.2.6. Eşkinetik Kömür Örnekleme Yöntemi      | 15                  |
| 2.2.7. Pulverize Kömür Tane İriliğinin Tayini | 24                  |
| 2.3. Geleneksel Buhar Kazanları               | 25                  |
| 2.4. Pulverize Kömür Yakıtlı Kazanlar         | 28                  |
| 2.4.1. Doğal Çevrimli Kazanlar                | 30                  |
| 2.4.2. Cebri Çevrimli Kazanlar                | 31                  |
| 2.4.3. Tek Geçişli (Domsuz) Kazanlar          | 32                  |
| 2.5. Değirmenler                              | 33                  |
| 2.5.1. Tamburlu Tip Değirmenler               | 33                  |
| 2.5.2. Galeli ve Bilyalı Değirmenler          | 35                  |



|   |     |
|---|-----|
| 2.5.3. Çarpmalı Tip Değirmenler   | 36  |
| 2.5.4. Çarpmalı Tip Değirmenlerde Kömür Öğütme İşlemi                   | 38  |
| 2.6. Kömür Parçacığının Yanma Evreleri                                  | 41  |
| 2.6.1. Kurutma  | 41  |
| 2.6.2. Piroliz  | 41  |
| 2.6.3. Tutuşma  | 42  |
| 2.6.4. Uçucu Ürün ve Çarın Yanması                                      | 43  |
| 2.7. Pulverize Kömür Yakıcıları   | 44  |
| 3. TEST YERİNİN İNCELENMESİ   | 47  |
| 4. DEĞİRMEN ÖĞÜTME PERFORMANSININ TESPİTİ                               | 58  |
| 4.1. Pulverize Kömür Örnekleme Ölçümleri                                | 58  |
| 4.2. Pulverize Kömür Tane İriliğinin Tayini                             | 70  |
| 4.1. Cüruf Elek Testi   | 81  |
| 4.2. Elek Sıcaklık Kontrolü   | 84  |
| 5. KAZAN YANMA VERİMİNİ İYİLEŞTİRMEYE YÖNELİK YAPILAN TEST ve ANALİZLER | 86  |
| 5.1. Yakıcı Girişi Hava Ayarları  | 87  |
| 5.2. Yakma Havaasının Kontrolü  | 91  |
| 5.3. Altı Değirmenin Birlikte Çalışma Durumu                            | 94  |
| 6. SONUÇ ve ÖNERİLER  | 100 |
| <br>  |     |
| KAYNAKLAR   | 103 |
| ÖZGEÇMİŞ  | 106 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| <b><u>Simgeler ve</u></b> | <b><u>Açıklamalar</u></b>                    |
|---------------------------|--|
| <b><u>Kısaltmalar</u></b> |  |
| $h_{fg}$                  | : Suyun buharlaşma ısısı                     |
| $w$                       | : Numune içindeki nemin ağırlık yüzdesi .    |
| $h_2$                     | : Numune içindeki hidrojenin ağırlık yüzdesi |
| $\rho$                    | : Kömür yoğunluğu                            |
| $Q$                       | : Hacimsel debi                              |
| $\dot{m}$                 | : Kütlesel debi                              |
| $v_h$                     | : Kanal içi basınç farkı                     |
| $S_p$                     | : Statik basınç                              |
| $B_p$                     | : Barometrik basınç                          |
| "w                        | : Su sütunu                                  |
| $^{\circ}F$               | : Fahrenheit                                 |
| $^{\circ}C$               | : Celcius                                    |
| ABT                       | : Alçak basınç türbini                       |
| AID                       | : Kömürün alt ısı değer                      |
| ASTM                      | : American Society for Testing and Materials |
| BSI                       | : Besleme suyu ısıtıcısı                     |
| CFM                       | : Cubic feet per minute                      |
| DIN                       | : Deutsches Institut für Normung             |
| EÜAŞ                      | : Elektrik Üretim Anonim Şirketi             |
| HES                       | : Hidroelektrik santral                      |
| HGI                       | : Kömür sertlik indeksi                      |
| HPH                       | : Yüksek basınç kazan besleme suyu ısıtıcısı |
| mtep                      | : Milyon ton eşdeğer petrol                  |
| OBT                       | : Orta basınç türbini                        |
| pph                       | : Pounds per hour                            |
| SEAŞ                      | : Soma Elektrik Anonim Şirketi               |
| ÜID                       | : Üst ısı değer                              |
| YB                        | : Yüksek basınç                              |

# ŞEKİLLER DİZİNİ

| <b><u>Şekil No:</u></b>   | <b><u>Sayfa</u></b> |
|---|---------------------|
| 1.1: 2011 Yılı, Dünya birincil enerji arzında kaynakların payları.      | 2                   |
| 1.2: 2012 Yılı, Türkiye birincil enerji arzında kaynakların payları.    | 2                   |
| 1.3: 2012 Yılı, Türkiye birincil enerji üretiminde kaynakların payları. | 3                   |
| 1.4: 2010 Yılı, ülkelerin elektrik üretiminde kömürün yüzde payları.    | 4                   |
| 1.5: Türkiye’de toplam elektrik kurulu gücün kaynaklara dağılımı.       | 5                   |
| 2.1: Türkiye linyit rezervlerinin ısı değer dağılımları.                | 10                  |
| 2.2: Kömürün karakteristik yapısı.                                      | 10                  |
| 2.3: Konileme-Dörtleme Yöntemi ile kömür numunesinin küçültülmesi.      | 14                  |
| 2.4: Kömür öğütme ve ateşleme sistemi.                                  | 15                  |
| 2.5: Pulverize kömür örnekleme yöntemleri.                              | 16                  |
| 2.6: Pulverize kömür kanallarında ölçüm delik sayısının belirlenmesi.   | 17                  |
| 2.7: Pulverize kömür kanallarında kömür-hava akışının davranışı.        | 18                  |
| 2.8: Eşkinetik ölçüm düzeneği.  | 19                  |
| 2.9: Bir delikten yapılacak minimum ölçüm sayısı.                       | 19                  |
| 2.10: Kirli hava test düzeneği.   | 21                  |
| 2.11: Kömür örnekleme test düzeneği.                                    | 22                  |
| 2.12: Pulverize kömür ayırma ızgarası.                                  | 24                  |
| 2.13: Kömür incelik tayini elek düzeneği.                               | 25                  |
| 2.14: Ara Kızdırıcılı Domlu Kazanın verim grafiği.                      | 26                  |
| 2.15: Çift Ara Kızdırıcılı Domsuz Kazanın verim grafiği.                | 26                  |
| 2.16: Pulverize kömür ateşlemeli bir ünite de türbin çevrimi.           | 28                  |
| 2.17: Pulverize yakıtlı kazan ve yardımcı donanımlar.                   | 29                  |
| 2.18: Dağal çevrimli domda su-buhar akışı.                              | 30                  |
| 2.19: Cebri (zorlanmış) çevrimli domda su-buhar akışı.                  | 31                  |
| 2.20: 500 MWe, Kule-tipi, tek-geçişli pulverize kömür yakıtlı kazan.    | 32                  |
| 2.21: Döner tamburlu tip değirmen.                                      | 34                  |
| 2.22: Galeli tip değirmen.  | 35                  |
| 2.23: Bilyalı tip değirmen.   | 36                  |
| 2.24: Fanlı tip değirmen.   | 37                  |
| 2.25: Çekiçli-fanlı tip değirmen.                                       | 38                  |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.26: | Değirmen kapasitesinin sıcaklık, nem ve tane iriliği ile ilgili ilişkisi. | 39 |
| 2.27: | Linyit öğütme işleminde yakıt nemi ve gaz özelliklerinin değişimi.        | 40 |
| 2.28: | Pulverize kömürün birincil hava oranına bağlı tutuşma hızı.               | 43 |
| 2.29: | Çar parçacığının yanma işlemi.  | 44 |
| 2.30: | Teğetsel yakma sisteminde kullanılan jet yakıcı modeli.                   | 45 |
| 3.1:  | 2. Ünite kömür öğütme ve ateşleme sistemi.                                | 48 |
| 3.2:  | 2. Ünite kömür besleme hatları.   | 49 |
| 3.3:  | 2. Ünite değirmen ve yakıcı kanallarının üstten kesit görünüşü.           | 50 |
| 3.4:  | 2. Ünite değirmenlerin teknik resmi.                                      | 51 |
| 3.5:  | 2. Ünite pulverize kömür kanalların teknik resmi.                         | 51 |
| 3.6:  | Soma B Termik Santrali 2. Ünite genel teknik resmi.                       | 52 |
| 3.7:  | 2.Ünite kazanı pulverize kömür yakıcı girişi.                             | 53 |
| 3.8:  | Değirmen çıkışı pulverize kömür kanalı ve ölçüm noktaları.                | 54 |
| 3.9:  | 1. ve 2. Nolu pulverize kömür kanallarındaki ölçüm konumları.             | 55 |
| 3.10: | 3 ve 4 Nolu pulverize kömür kanallarındaki ölçüm konumları.               | 55 |
| 3.11: | 5 ve 6 Nolu pulverize kömür kanallarındaki ölçüm konumları.               | 56 |
| 4.1:  | Değirmen çıkışı pulverize kömür kanallarında ölçüm noktaları.             | 60 |
| 4.2:  | Yakıcı kanalı hız ölçümü.   | 61 |
| 4.3:  | Yakıcı kanalında eşkinetik kömür örnekleme ölçümü.                        | 61 |
| 4.4:  | 1 Nolu yakıcı kanallarında yapılan ölçümlerin sonuçları.                  | 62 |
| 4.5:  | 2 Nolu yakıcı kanallarında yapılan ölçümlerin sonuçları.                  | 63 |
| 4.6:  | 3 Nolu yakıcı kanallarında yapılan ölçümlerin sonuçları.                  | 64 |
| 4.7:  | 4 Nolu yakıcı kanallarında yapılan ölçümlerin sonuçları.                  | 65 |
| 4.8:  | 5 Nolu yakıcı kanallarında yapılan ölçümlerin sonuçları.                  | 66 |
| 4.9:  | 6 Nolu yakıcı kanallarında yapılan ölçümlerin sonuçları.                  | 67 |
| 4.10: | Yakıcı kanallarında pulverize kömür ve birincil hava dağılımları.         | 68 |
| 4.11: | 1000 µm gözlü elekten geçen pulverize kömürün grafiği.                    | 71 |
| 4.12: | 90 µm gözlü elekten geçen pulverize kömürün grafiği.                      | 72 |
| 4.13: | 74 µm gözlü elekten geçen pulverize kömürün grafiği.                      | 72 |
| 4.14: | 315 µm gözlü elekten geçen pulverize kömürün grafiği.                     | 73 |
| 4.15: | 1 Nolu yakıcı kanallarına ait pulverize kömür elek analiz                 | 75 |

|  |    |
|--|----|
| sonuçları.   |    |
| 4.16: 2 Nolu yakıcı kanallarına ait pulverize kömür elek analiz sonuçları. | 76 |
| 4.17: 3 Nolu yakıcı kanallarına ait pulverize kömür elek analiz sonuçları. | 77 |
| 4.18: 4 Nolu yakıcı kanallarına ait pulverize kömür elek analiz sonuçları. | 78 |
| 4.19: 5 Nolu yakıcı kanallarına ait pulverize kömür elek analiz sonuçları. | 79 |
| 4.20: 6 Nolu yakıcı kanallarına ait pulverize kömür elek analiz sonuçları. | 80 |
| 4.21: 2. Ünite 5. değirmen ayırıcı klape konumları.                        | 81 |
| 4.22: Külde yanmamış karbon miktarının kazan verimine etkisi.              | 82 |
| 4.23: Kazan altı cüruf tane ağırlıklarının oranları.                       | 82 |
| 4.24: Kül tane iriliğine göre yanmamış karbon oranlarının değişimi.        | 83 |
| 4.25: Yakıt besleme sisteminin elek sıcaklığına göre kontrolü.             | 84 |
| 5.1: Yakma havası akış şeması ve kontrol klapelelerin konumları.           | 88 |
| 5.2: Yakma hava klapeleleri ve ayar mekanizmasının görünümü.               | 88 |
| 5.3: Yakma havası klape açıklık oranlarının elektrik üretimine etkisi.     | 90 |
| 5.4: Yakma havası klape açıklıklarının yanmamış karbon oranına etkisi.     | 90 |
| 5.5: Oksijen Oranının Kazan Verimine Etkisi.                               | 91 |
| 5.6: Kazan ön su ısıtıcısı çıkışı oksijen analizörünün konumu.             | 92 |
| 5.7: Ünite yüküne göre baca gazı oksijen oranı.                            | 93 |
| 5.8: Altı değirmen ile çalışma durumu, I. Test                             | 95 |
| 5.9: Altı değirmen ile çalışma durumu, II. Test                            | 96 |
| 5.10: Altı değirmen ile çalışma durumu, III. Test                          | 97 |

# TABLolar DİZİNİ

| <b><u>Tablo No:</u></b> |   | <b><u>Sayfa</u></b> |
|-------------------------|---|---------------------|
| 3.1:                    | Soma B Termik Santralı 2. Ünite kazanının karakteristik özelliği. | 47                  |
| 3.2:                    | Soma B Termik Santralı 2. Ünite linyit içeriği.                   | 47                  |
| 3.3:                    | Soma B Termik Santralı 2. Ünite kül içeriği.                      | 48                  |
| 3.4:                    | Ölçüm noktalarının kodlaması.                                     | 56                  |
| 4.1:                    | Soma B Termik Santralı 2. Ünite değirmen özellikleri.             | 59                  |
| 4.2:                    | Pulverize kömür kanallarında ortalama gaz hızları.                | 69                  |
| 4.3:                    | Son yapılan değirmen bakımından ölçüm anına kadar geçen süre.     | 74                  |
| 4.4:                    | Değirmen sonrası elek sıcaklıklarının karşılaştırma tablosu.      | 85                  |
| 5.1:                    | Yakıcı girişleri ikincil hava klape açıklıkları (mevcut durum).   | 89                  |
| 5.2:                    | Ünite yüklerine göre baca gazı oksijen oranı (tasarım).           | 93                  |
| 6.1:                    | 2. Ünite kazanı için tavsiye edilen çalışma parametreleri.        | 102                 |

# 1. GİRİŞ

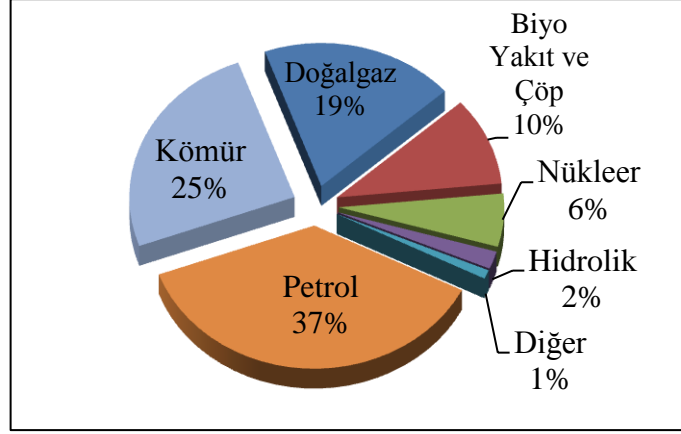
Günlük yaşamda her aşamada kullanılan enerji; kimyasal, nükleer, mekanik ısı, jeotermal, hidrolik, güneş, rüzgâr, elektrik enerjisi gibi değişik şekillerde bulunabilmekte ve uygun yöntemlerle birbirine dönüştürülebilmektedir. Ekonomik anlamda değişik yöntemlerle enerji elde edilen kaynaklar, enerji kaynakları olarak isimlendirilmekte ve değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Temelde enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji şeklinde iki gruba ayrılırlar.

Enerjinin değişim ya da dönüşüme uğramamış şekline birincil enerji denilmektedir. Birincil enerji kaynakları; petrol, kömür, doğal gaz, nükleer, hidrolik, biyokütle, güneş ve rüzgârdır. Birincil enerjinin dönüştürülmesi sonucu elde edilen enerji de ikincil enerji şeklinde tanımlanmaktadır. Elektrik, benzin, mazot, motorin, kok kömürü, ikincil kömür, petro kok, hava gazı, sıvılaştırılmış petrol gazı bu tip enerji kaynaklardandır [1], [2], [3] ve [4].

İlerleyen bölümlerde, Dünya’da ve Türkiye’de birincil enerji arzında kaynakların payı ve elektrik üretiminde kömürün önemi hakkında güncel bilgilerden bahsedilmiştir. Daha sonra, tezin amacı, kapsamı, bilime olan katkısı ve yapılan çalışmaları destekler nitelikteki benzer çalışmalardan bahsedilmiştir. Literatür araştırması kapsamında, kömür türleri, kömür analizleri, elektrik üretim amaçlı pulverize kömür yakıtlı santrallerin tanıtımı, farklı değirmen modelleri ve işleyişleri, kömürün parçacığının yanma süreci ve yakıcı türlerinden kısaca bahsedilmiştir. Son bölümde ise tezin asıl amacı olan değirmen öğütme performansının tespiti ve kazan yanma veriminin iyileştirilmesi ile ilgili termik santral kazanında yapılan test ve analizlerden bahsedilmiş olup, elde edilen kritik sonuçlar, sonuç ve tavsiyeler başlığı altında verilmiştir.

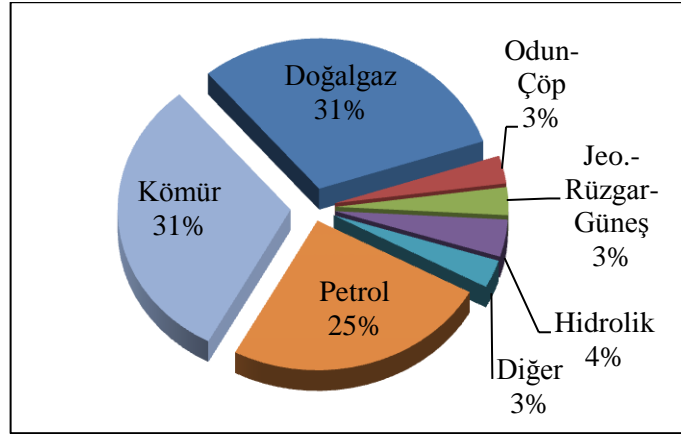
## 1.1. Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı

Dünya birincil enerji arzında, Şekil 1.1’de görüldüğü gibi toplam arzın %81’ini petrol, kömür ve doğal gaz oluşturmaktadır. Dünya birincil enerji arzı 1990 yılında 8.769 milyon ton eşdeğer petrol (mtep) olan toplam birincil enerji arzı geçen 21 yıl sonra %49 artarak 2011 yılında 13.070 mtep olmuştur.



Şekil 1.1: 2011 Yılı, Dünya birincil enerji arzında kaynakların payları.

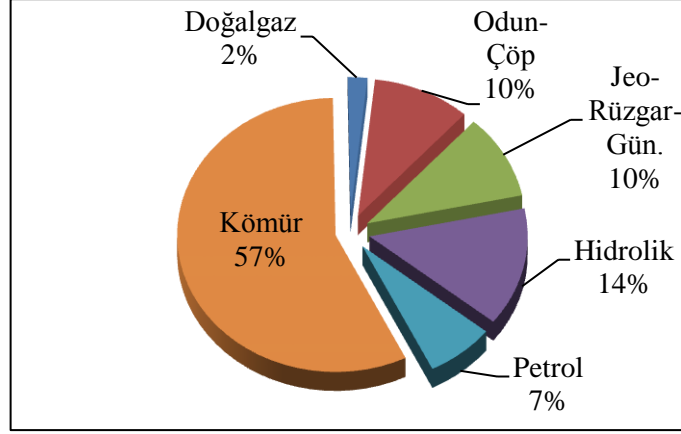
2012 yılında, Türkiye'nin toplam birincil enerji arzı ise 121 mtep'dir. Bu arzın kaynaklara dağılımında, kömürdeki ithalatın artmasıyla, Şekil 1.2'de görüldüğü gibi ilk sırayı 38 mtep ve toplam arzın %31 oranı ile kömür almıştır.



Şekil 1.2: 2012 Yılı, Türkiye birincil enerji arzında kaynakların payları.

2012 yılında, Türkiye birincil enerji üretimi toplam, 19,52 mtep ve %57 ile yarıdan fazlasını, % 94 linyit olan kömür üretimi oluşturmuştur (Şekil 1.3).





Şekil 1.3: 2012 Yılı, Türkiye birincil enerji üretiminde kaynakların payları.

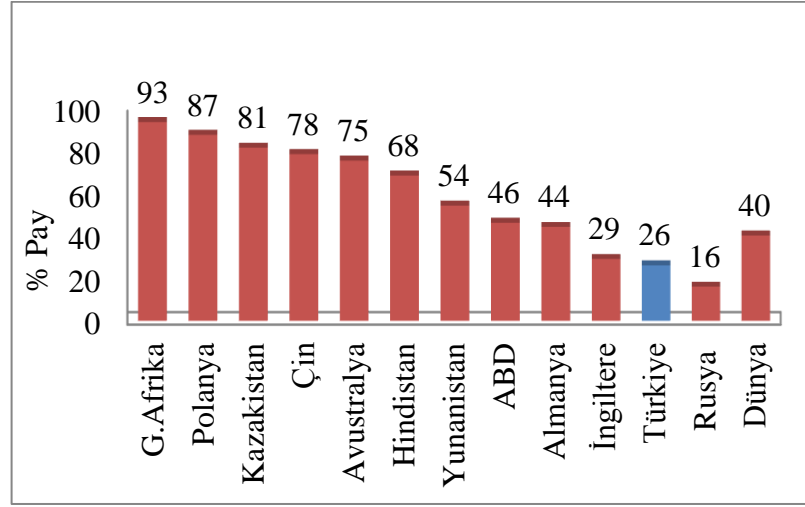
Türkiye'nin jeopolitik açıdan hassas bir bölgede bulunması enerjide dışa bağımlılığının, en kısa sürede azaltılmasını gerektirmektedir. Bunu sağlamak için sahip olduğumuz kaynaklara yönelmeli ve özellikle kömüre yönelik yatırımlar artırılmalıdır [5], [6], [7].

## 1.2. Elektrik Üretiminde Kömürün Payı

Dünyanın en önemli enerji kaynakları karbon esaslı yakıtlardır. Bunlardan petrol ve doğalgaz kaynakları yer kabuğunun belirli coğrafi bölgelerinde yoğunlaştığı halde yaklaşık 50 farklı ülkede çıkarılmakta olan kömür çok yaygın bir dağılım göstermektedir. 2012 yılbaşı itibariyle dünyadaki toplam kömür rezervi 891 milyar tondur. Dünya kömür üretimi 2012 yılında 7,697 milyar ton olarak gerçekleşmiş olup, bugünkü üretim hızıyla kömürün 115 yıl daha dünya enerji talebini karşılayacağı görülmektedir. IEA (Uluslararası Enerji Ajansı) gelecek 25 yılda dünya kömür tüketiminin %25 artacağını tahmin etmektedir.

AB ülkelerinin birçoğunda ve dünyanın birçok gelişmiş ülkesinde elektrik üretimi kömüre dayanmaktadır. Kömür dünyanın en güvenilir ve yaygın enerji kaynağı olma özelliğini korumakta ve dünya birincil enerji üretiminin % 27'sini, 2011 yılında 9.146 TWh elektrik üretimi ile toplam elektrik üretiminin %40'ını sağlamaktadır [8]. Elektrik üretiminde kömürün ülkelere göre kullanım oranları, Şekil 1.4'teki gibidir. Afşin-Elbistan kalitesinde küçük bir rezerve sahip olan Yunanistan'da bile kömürün elektrik üretimindeki kullanım oranı %54 iken toplam

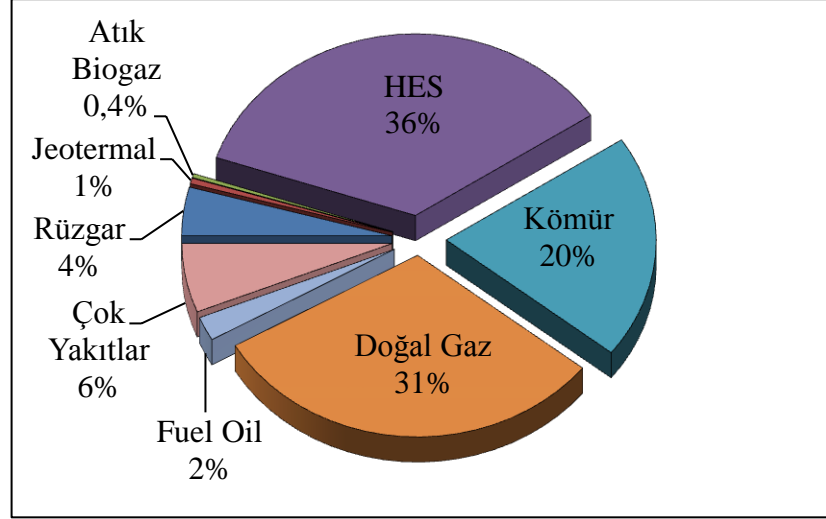
13,8 milyar ton kömür rezervine sahip Türkiye'nin oranı sadece % 26,5'tir ve bunun %18'i linyit kullanımına aittir [9].



Şekil 1.4: 2010 Yılı, ülkelerin elektrik üretiminde kömürün yüzde payları.

Ülkemiz zengin linyit yataklarına sahiptir. 11,55 milyar ton olan linyitlerimizle ilgili başlıca sorun rezervin %73'ünün 2000 kcal/kg'dan düşük ısıl değere sahip olmasıdır. Düşük kaliteli kömürler için en uygun değerlendirme yolu elektrik üretimidir. Buna rağmen yurdumuzda yerli kömürün elektrik üretimindeki payı sadece % 18'dir. Ucuz olan kömürün yerini elektrik üretiminde ithal doğalgaz almıştır. Doğalgazdan üretilen elektrik ise çok pahalıdır.

2013 yılı haziran ayı itibariyle Türkiye toplam elektrik kurulu gücünün %39 'u hidro elektrik santralleri (HES) ve diğer yenilenebilir enerji santrallerinden, %61'i ise termik santrallerden oluşmaktadır (Şekil 1.5). Ülkemizde 2012 yılı itibari ile 75,4 milyon ton olan toplam linyit arzının en büyük tüketim payı ton olarak %74 oranı ile termik santrallara aittir.



Şekil 1.5: Türkiye’de toplam elektrik kurulu gücün kaynaklara dağılımı.

Kömür yaygın ve ucuz bir enerji kaynağı olarak hayati önem taşımakta ve enerji arzında güvenilirliğini korumaktadır. Bugün dünyanın birincil enerji üretiminin % 25-28’i ve elektrik üretiminin %40’ı kömürden sağlanmaktadır. Tahminlere göre 2030 yılında kömürden elektrik üretim oranı %44’e ulaşacaktır [5], [6], [7].

Dünyada kömür yakan santrallarda yeni yakma teknolojileri uygulanarak santral verimi artırılmaya çalışılmakta, böylece birim enerji maliyeti düşürülmekte ve CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> salınımlarını azaltmaya yönelik yatırımlar artmaktadır [8].

### 1.3. Amaç ve Kapsam

Bu tez çalışmasında, pulverize linyit yakıtlı termik santral kazanlarında, kazanın yanma verimini doğrudan etkileyen; kazana beslenen yakıtın karakteristik özellikleri, tane-boyut dağılımı ve yakıcı kanalları arasında yakıt debi dağılımlarının tespit edilmesi, elde edilen sonuçların literatürde tavsiye edilen değerler ile karşılaştırılması ve varsa problemlerin, kök nedenleri araştırılarak kalıcı çözüm önerilerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Pulverize kömür yakıtlı kazanlarda optimum yanma için gerekli koşullar aşağıda maddeler halinde verilmiştir [10].

- Yanma odası çıkışında oksijen oranı, ~%3 olmalıdır.

- Yakıcılara giden pulverize kömür kanallarındaki temiz hava debisi, kanallararası maksimum  $\pm$  %2 fark olacak şekilde dengelenmelidir.
- Pulverize kömür kanallar arası kirli hava hızı, maksimum  $\pm$  %5 fark olacak şekilde dengelenmelidir.
- Pulverize kömür kanallar arası yakıt debisi, maksimum  $\pm$  %10 fark olacak şekilde dengelenmelidir.
- Yakıcı kanallarında pulverize kömür tanelerinin, en az %75'i 74  $\mu$ m'lik elekten geçmesi ve 297  $\mu$ m'lik elek üstünde en fazla % 0,1 oranında kalacak şekilde, değirmen ayıracı ayarı yapılmalıdır.
- Yakıcı kanallar arası kirli hava debisi, maksimum  $\pm$  %3 fark olacak şekilde dengelenmelidir.
- Kazan ocak üstü, kazana ikincil hava besleyen kanallar arasında maksimum debi farkı,  $\pm$  %3 olmalıdır.
- Yakıcı kanallarında birincil hava/pulverize kömür oranı mümkün olduğunca küçültülmelidir.
- Yakıcı kanallarında kömür hızı, 17 m/sn'den büyük olmalıdır.
- Yakıcı ve yakıcı sönümleyicileri en fazla  $\pm$  0,25 inch hassasiyetinde kontrol edilebilir olmalıdır.
- Yakıcılar arası ikincil hava miktar farkı,  $\pm$  % 5 -  $\pm$  %10 aralığında olmalıdır.
- Değirmene kömür besleyen taşıyıcılar mümkün olduğunca yüksek hassasiyette çalışmalı ve bu mekanizmaların kazan yük değiştirilmek istendiğinde cevap verme süreleri kısa olmalıdır. Ayrıca, bunker çıkışında, kömür iletim hatlarında ve taşıyıcılarda kömürün akış sürekliliğini engelleyecek herhangi bir mekanik problem olmamalıdır.
- Kazana beslenen kömür karakteristiğinin beklenen kararlılıkta olmasına dikkat edilmelidir. Değirmene beslenen kömür tane iriliği de tasarımda ön görülen aralıklarda olmalıdır.

Kömür karakteristik özelliği, ocak en boy oran hesaplarında, yakma sistemi tasarımında ve yardımcı donanım seçiminde belirleyici özelliktir [11] ve [12]. Ülkemizde linyit yakıt kaynaklarının potansiyelini ve elektrik üretiminde kullanılabilirliğini önceki bölümlerde vurgulamıştık. Ülkemizde mevcut pulverize kömür yakıtlı elektrik üretim santrallerinin birçoğu linyit yakıtına göre tasarlanmıştır.

Tez kapsamında, çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için gerçek ölçekli pilot tesis olarak Soma B Termik Santrali 2. Ünite kazanı seçilmiştir. Yapılan çalışmaların, benzer karakteristiğe sahip diğer santrallerimizde de uygulanabilir olması hedeflenmiştir.

Manisa'nın Soma ilçesinde SEAŞ'a bağlı Soma B Termik Santrali 1981-92 yılları arasında devreye alınmış herbiri 165 MW<sub>e</sub> gücünde 6 Ünitesi bulunmaktadır. Tez kapsamında yapılan tüm çalışmalar santral çalışanlarının talebi ve katkılarıyla 2. Ünite'de gerçekleştirilmiştir. Santral saha koşullarının zorluğu, yapılan ölçüm ve analizlerin uygulama yöntemi gereği 3 kişilik bir ekip ile çalışılmıştır.

2.Ünite'de, kazan altı külde yanmamış karbon miktarı %3,45 olması gerekirken santral laboratuvar biriminden alınan verilere göre mevcut durumun % 20-25 aralığında olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, 2. Ünite'de plansız duruşların sayısı ve süresi arttığından elektrik üretim kayıpları yüksektir. Çalışmaların bu üniteye başlatılmasının temel sebebi bu iki problemdir.

Bir pulverize kömür ateşlemeli kazanda yanmamış karbon kayıplarının temel sebepleri [13];

- Kömür hazırlama ve öğütme: Kül içeriği, pulverize kömür tane irilik dağılımı ve pulverize kömür nem miktarı,
- Kömürün özellikleri: Isıl değeri, yapısı, tepkime hızı, kül içeriği ve bileşenleri,
- Yakıcıların ve ocağın özellikleri ve ayarlar: Yakma hava sıcaklığı, fazla hava miktarı, yakıt hava karışımı, kömür parçacıklarının ocakta yanma süresi ve ocak sıcaklığıdır.

Kazan altı külünde yanmamış karbon miktarının yüksek olması, ocak bölgesinde yanmanın tam gerçekleşmediği sonucunu ortaya çıkarır. Ocak bölgesinde tam yanma gerçekleşemediğinden ihtiyaç duyulan ısıyı karşılamak üzere daha fazla yakıt tüketimine gidilir. Kazan çıkışında tasarım buhar değerlerini yakalamak için kazana daha fazla kömür beslenmektedir. Yani, üniteye aynı miktar elektriği üretmek için gerekli kömür tüketimi arttığından elektrik üretim maliyetleri de yüksektir.

Ocağa fazla kömür beslenmesi ünite değirmenlerinin sürekli yüksek yüklerde çalıştırılmasını gerektirir. Bu da değirmenlerde öğütme plakaların ve çekiçlerinin hızla aşınarak ömürlerinin kısalmasına sebep olur. Değirmen bakım masrafları artar. Değirmen kömürü öğütürken kazandan belli bir hacimde sıcak gaz çeker. Çekilen bu

sıcak gaz (950°C) değirmende kömürü kurutarak öğütme işlemini kolaylaştırır. Kömür öğütüldükten sonra sıcak gaz ile birlikte ocak bölgesine püskürtülür ve sıcak gaz ocak içi alev kararlılığının sürdürülmesinde etkin rol oynar.

Değirmenin fazla yüklerde çalıştırılması durumunda kömür debisi artacak ancak sıcak gaz debisi sabit kalacaktır. Bu durum kömür kurutma işlemini olumsuz yönde etkilediği gibi öğütme performansını da düşürecektir. Kömürün yeterli kurutulmaması ocak bölgesinde alev kesilmelerine neden olacaktır. Normal şartlarda işletmede alev sürekliliğinin kesilmesi durumunda yardımcı (fuel-oil) yakıcılar devreye alınır. Yardımcı yakıcıların sık sık devreye alınması fuel-oil tüketimini artıracığından elektrik üretim maliyetlerinin artmasına neden olacaktır. Kömür debisindeki artış, değirmen ayırma performansını düşürdüğünden yakıcılara giden kömür tane irilik dağılımını etkiler. Ocak bölgesine püskürtülen toz kömürde iri taneli parçacık oranının artması, yanma verimini düşürür [14]. Ünite kuruluş tarihinden itibaren, değirmenler, değirmen ayırıcıları, yakıcılar, sıcak gaz kanalları, ikincil hava klapeleri gibi donanımların tümü kullanılmaktadırlar. Yaşlanmaya bağlı donanımlarda oluşan yıpranma ve aşınmalar yanmada verim kaybına neden olabilir. Ayrıca üniteye beslenen kömür özellikleri de zamanla değişmiş olabilir. Kömür özelliklerindeki değişim yanma verimini doğrudan etkiler. Bu değişim mevcut yakıcı ve yakıt besleme hatlarında yeni bir ayar çalışmasını, ya da tamamen yenileme (onarım veya iyileştirme) yapılmasını gerektirebilir. Normal şartlarda, ünitenin emreamadeliğini (planlı/plansız duruşları azaltmak) artırmaya veya iyileştirmeye yönelik santralde yapılan rutin bakımlar dışında, yenileme, onarım veya iyileştirmeye karar verilmeden önce kazan ve yardımcı donanımlarında ön incelemelerde bulunulur. Bu bağlamda uygun noktalarda test ve analizler yapılarak elde edilen somut veriler ışığında gerçek ihtiyaçlar belirlenir. Soma B Termik Santralı 2. Ünite için belirlenen amaç fonksiyonu yanma performansını iyileştirerek kazan altı külündeki yanmamış karbon miktarını azaltmaktır. Hedef çerçevesinde, literatür bilgileri ve daha önce yapılmış bilimsel çalışmalar ışığında, bir yaklaşım ve uygulama yöntemi seçilmiş ve 1:1 ölçekli bir tesiste tatbik edilerek somut veriler elde edilmiştir. Elde edilen veriler yorumlanmış olup son teknolojiler de göz önünde bulundurularak uygun çözüm önerileri sunulmuştur.

Kazan yanma performansını artırmaya yönelik birtakım testler uygulanmış ve mevcut çalışma durumu için optimum kazan çalışma parametreleri belirlenmiştir.

Optimum yanmanın sağlanması için unite kazanı ve yakıcı kanallarında yapılan test ve analizler şunlardır:

i) Değirmen oğutme performansının tespiti:

- Pulverize kömür örnekleme lmleri,
- Pulverize kömür tane boyut analizi,
- Cüruf elek testi,
- Elek sıcaklık kontrolü testleridir.

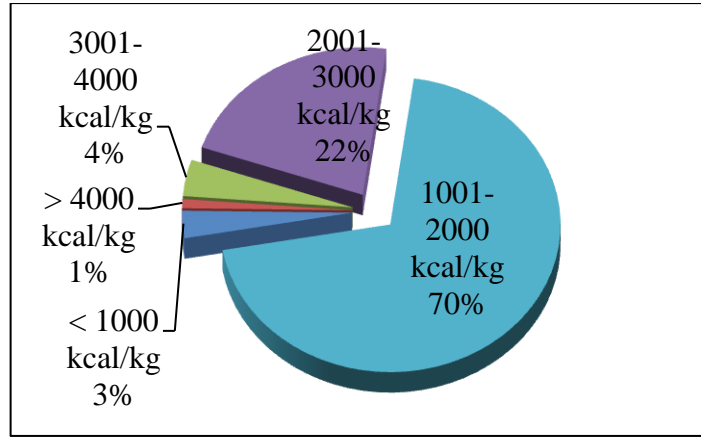
ii) Kazan Yanma Veriminin İyileştirilmesi:

- Yakıcı girişi hava ayarları,
- Yakma havasının kontrolü,
- Altı değirmenin birlikte çalışması durumunun test edilmesi.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

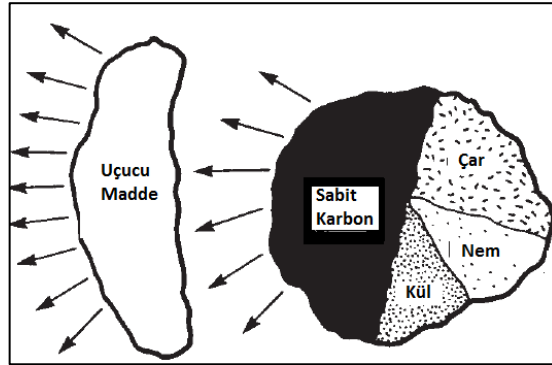
### 2.1. Kömür

Ülkemizin bilinen toplam kömür kaynağı yaklaşık 14 milyar ton'dur. Bunun 11,55 milyar tonu linyittir. Türkiye'deki linyitler standartta belirtilen alt ısıl değerinde oldukça altında değişiklik göstermektedir. Ülkemizde bulunan linyitin alt ısıl değeri (AID) değişimi Şekil 2.1'de verilmiştir [6].



Şekil 2.1: Türkiye linyit rezervlerinin ısıl değer dağılımları.

Kömür, sabit karbon, kül, nem, çar ve uçucu madde olmak üzere beş temel unsurdan oluşur (Şekil 2.2). Kömürün yapısı bölüm 2.6'da detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 2.2: Kömürün karakteristik yapısı.



Kömürü meydana getiren elementler genellikle yanabilen karbon (C), hidrojen (H), kükürt (S) ve yanmayan (kül, nem, nitrojen ve oksijen) elementler olmak üzere iki grupta toplanırlar. Hidrojen genellikle karbonla bileşik halinde bulunur, yanma sırasında önemli bir rol oynar.

Almanya’da ve Alman normlarını uygulayan bazı ülkelerde linyit yerine “Kahverengi Kömür” terimi kullanılır ve linyit bir kahverengi kömür türü olarak kabul edilir [15]. Kömürün sınıflandırılmasında dünyada en çok kullanılan ve en geçerli olan standart ASTM D 388 normudur. Bu normda kömür, antrasit, bitümlü kömür, yarı bitümlü kömür ve linyit olmak üzere dört temel grupta incelenir.

Antrasit ısı değeri en yüksek olan kömür türüdür. Bünyesinde kuru esaslı %86-98 sabit karbon bulunur. Uçucu madde miktarı %2-14 arasında olup oldukça düşüktür. Zor yanabilen kömür türüdür.

Bitümlü kömürler sabit karbon miktarı %46-86 ve uçucu madde miktarı %10-40 arasındadır. Bitümlü kömürlerin üst ısı değeri (ÜİD) 6100-7750 kcal/kg arasında değişir. Bu kömürler özellikle pulverize kömür ocaklarında çok kolay yanarlar. Yarı bitümlü kömürün üst ısı değeri 4600-6100 kcal/kg arasında olup bünyesindeki nem oranı % 15-30 civarlarındadır.

Linyit standartta tanımlanan en düşük ısı değere sahip kömür türüdür. Nemi, külü ve uçucu maddesi oldukça fazladır. Üst ısı değeri ise 3500-4600 kcal/kg’dır. Bu nedenle linyitin uzun mesafeler taşınması ekonomik olmaz ve genelde kömür madeninin yanı başında kurulan elektrik santrallerinde tüketilir. Türkiyedeki linyitler genelde standartta belirtilen linyitlere oranla çok daha düşük ısı değere sahiptir. Türkiye linyit rezervlerinin yaklaşık %55’inin alt ısı değerininin 1500 kcal/kg’ın altındadır [15].

## **2.2. Kömür Analizleri**

### **2.2.1. Kısa Analiz**

Kısa analiz yönteminin bir diğer adı endüstriyel analizdir. Yabancı kaynaklarda “Proximate Analysis” olarak geçmektedir. Kısa analiz en basit kömür analizi olup kömürün içindeki sabit karbonun, uçucu maddeler toplamının, nemin ve külün ağırlık yüzdelerini verir. Bu analiz kömür numunesinin tartılması, ısıtılması ve

yakılması gibi basit işlemlerle gerçekleştirilebilir. Kısa analiz’de ASTM D 1372 normu kullanılır [15].

### 2.2.2. Elementel Analiz

Elementel analiz detaylı bir laboratuvar analizidir. Yabancı kaynaklarda “Ultimate Analysis” olarak geçmektedir. Bu analizde kömürün içindeki karbonun (C), hidrojenin (H<sub>2</sub>), oksijenin(O<sub>2</sub>), kükürtün (S) ve azotun (N<sub>2</sub>) ağırlık yüzdeleri ile yakıtın ısı değeri saptanır. Kömürün elementel analizi kazanlar için gerekli olan yanma havasının hesaplanması ve buna bağlı olarak da yanma odasının, hava kanallarının, gaz kanallarının ve bu kanallar üzerindeki donanımların kapasitelerinin saptanması için gereklidir. Elementel analiz ASTM D 3176 normuna göre yapılır [15].

### 2.2.3. Isıl Değerin Saptanması

Isıl değerin saptanmasında ASTM D3176 normu kullanılır. Kömürün üst ısı değeri kalorimetre bombası (bombakalorimetre) aracılığı ile saptanır. Bu yöntemde belirli miktarda bir kömür numunesi, iki ayrı su gömleği içerisinde bulunan bir kalorimetre bombasında ve oksijen akışı altında tamamen yakılır. Yanma sonucunda gömlekler içindeki suyun aldığı ısıdan yakıtın üst ısı değeri hesap edilir. Yakıt içerisinde bulunan nemin ve yanma sonucu yakıtdaki H<sub>2</sub>’nin O<sub>2</sub> ile tepkimeye girmesiyle meydana gelen suyun, yanmadan sonra sıvı halde bulunmaları gereklidir. Kömürün alt ısı değerinin hesabında numunenin içerisinde bulunan nemin ve yanma sonucu H<sub>2</sub> nin O<sub>2</sub> ile tepkimeye girmesiyle meydana gelen suyun buharlaşması için harcanan ısı hariç tutulur.

AID değeri her tür yakıt için geçerli olan şu formülden hesaplayabiliriz.

$$AID = \text{ÜİD} - h_{fg} (9h_2 + w) \quad (2.1)$$

Metrik sistemde AID ve ÜİD’in hesabında 0 °C esas alınır. Yani, yakıtın içindeki yanabilen elementler yanmadan önce 0 °C da bulunur ve yanma sonrasında meydana gelen bileşiklerin yine 0 °C getirildiği var sayılır. Bu durumda suyun h<sub>fg</sub>

değeri yaklaşık 600 kcal/kg veya 2500 kJ/kg olduğuna göre bağıntılar sırasıyla eşitlik (2.2) ve eşitlik (2.3)'te verilmiştir.

$$AID = \dot{U}ID - 600 (9h_2+w) \text{ kcal/kg} \quad (2.2)$$

$$AID = \dot{U}ID - 2500 (9h_2+w) \text{ kJ/kg} \quad (2.3)$$

Buhar santrallerinde kullanılan alt ısı değeridir. Çünkü yakıttaki nemin ve yanma sonucu oluşan suyun buharlaşmasında harcanan ısıdan santralde yararlanılamaz. Alt ısı değeri hesaplayabilmek için elde deney sonucu bulunmuş bir  $\dot{U}ID$  yok ise, o zaman kömürün elementel analizinden yararlanarak  $\dot{U}ID$ 'i Dulong formülüyle yaklaşık olarak hesaplayabiliriz. Eşitlik (2.4)'de, karbon (C), hidrojen ( $H_2$ ), oksijen ( $O_2$ ) ve kükürt (S) elementlerin kömür numunesi içindeki ağırlık yüzdeleridir.

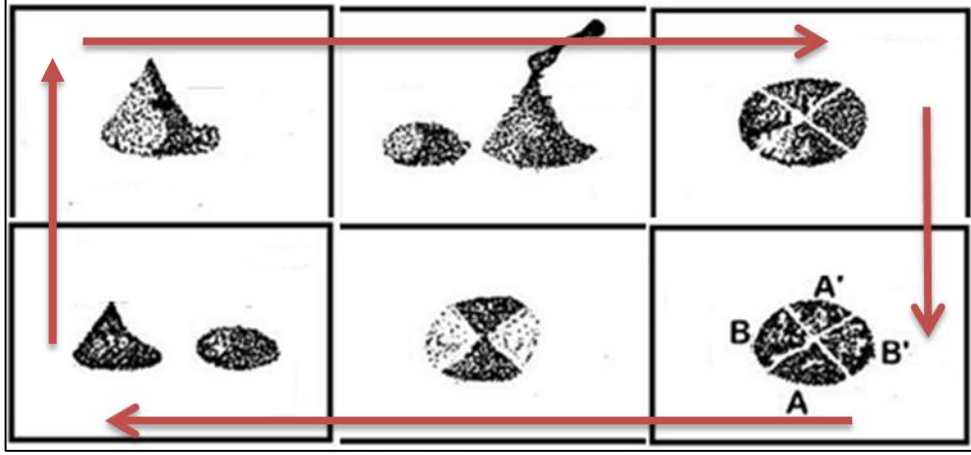
$$\dot{U}ID = 33950 C + 144200 (H_2 - O_2/8) + 9400 S \text{ kJ/kg} \quad (2.4)$$

Dulong formülü yüksek kaliteli kömürlerde daha yakın sonuçlar verir. Düşük kaliteli kömürlerde ise bu formülle bulunan ısı değeri genelde gerçek değerden daha düşük çıkar [15].

#### 2.2.4. Numune Alma Yöntemi

Numunenin özellikler bakımından tüm yakıtı temsil edebilmesi çok önemlidir. Aksi halde alınan numune ne kadar dikkatli analiz edilirse edilsin, analiz neticeleri hiçbir şey ifade etmez. Bu nedenle numuneler incelenecek olan yakıtın her tarafından ayrı ayrı alınmalı ve karıştırılmalıdır. Amca ulaşabilmek için en iyi yol, numuneleri yığın halinde bulunan kütleden değil de, hareket halinde bulunan kütleden almaktır.

Bu şekilde alınan numuneler karıştırıldığında, miktar yönünden oldukça büyük bir toplam tutarlar. Alınan numunelerin küçültülmesi gerekebilir. Numunelerin küçültülmesinde uygulanan en yaygın yol "Konileme ve Dörtleme Yöntemi" dir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Konileme-Dörtleme Yöntemi ile kömür numunesinin küçültülmesi.

Bu yöntemde şu sıra takip edilir.

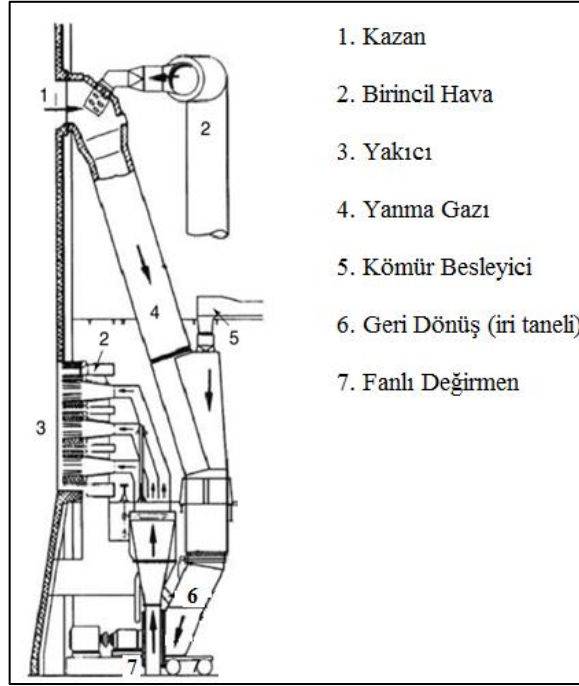
- Örnek, sert düzgün yatay yüzeyde koni biçiminde yığılır,
- Konileme işlemi iki kez tekrarlanır,
- Koninin tepesi kürekle vurularak koninin yassılaştırılması sağlanır ve 4 eşit kısma bölünür,
- Karşılıklı olan kısımlar atılır,
- En fazla 1-5 kg numune kalıncaya kadar Şekil 2.3'teki işlemler tekrarlanır.

Elde kalan bu numune analiz edileceği zamana kadar kapalı sızdırmaz kaplarda saklanır. Günümüz kömür santarlarında temsili örnek numune alma yönteminde DIN 51701 ve DIN51702 normları kullanılır [15].

### 2.2.5. Pulverize Kömür Örnekleme Yöntemi

Pulverize kömür yakıtlı kazanlarda kömür değirmenlerde öğütülerek toz haline getirilir ve hava yardımıyla ocak bölgesine dağıtılır. Değirmen kömürü öğütürken aynı zamanda kazandan sıcak gaz çeker. Sıcak gaz (yanma gazı) değirmene girmeden önce kömürle karışır ve kurutma işlemi buradan başlayarak değirmen sonrasına kadar devam eder. Böylece sıcak gaz kömürün hem öğütülmesini kolaylaştırır hem de yakıcı ağızda alev alma hızını artırır. Doğrudan ateşlemeli pulverize kömür yakma sistemlerine örnek olarak değirmen, yakıcı kanalları, ikincil

ve primer hava kanalları ve sıcak gaz kanalı bağlantı akış şeması Şekil 2.4'te verilmiştir [16].



Şekil 2.4: Kömür öğütme ve ateşleme sistemi.

Değirmen ile ocak arasındaki kanallarda kömür-hava karışımı akımından temsili örnekler elde etmek zordur. Yatay kanallarda büyük miktarda ayrışma gerçekleşebileceğinden örnekleme için düşey kanallarda yapılması önerilir.

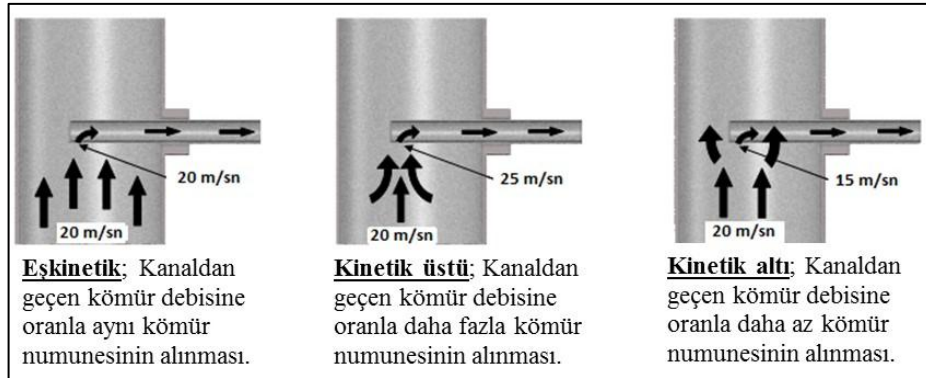
Kömür-hava akımından temsili örnek katı toplamak zor olduğu için, ekipman ve örnekleme prosedürün, geçerli ve tekrarlanabilir sonuçlar sağlama amacıyla düzgün ve tutarlı olmalıdır. Tavsiye edilen cihaz ve kömür örnekleme düzeneği ASTM D197-87 normunda verilmiştir. Mecbur kalmadıkça test cihazında yapılan değişiklikler tutarsız sonuçlara neden olur [17].

## 2.2.6. Eşkinetik Kömür Örnekleme Yöntemi

Pulverize kömür-hava kanallarında öncelikle kirli hava sondası ile hız ölçümü yapılır. Hız ölçüm sonuç verileri, hemen akabinde yapılan kömür örnekleme ölçümüne girdi parametrelerdir. Kömür örnekleme test sondasında kömür kanalındaki hızlara yakın hızlar oluşturularak eşkinetik ortam meydana getirilir.

Kömür kanalından geçen gerçek kömür miktarını saptamak amacıyla ölçüm sondası ve kanal arasında eşkinetik ortam yaratılır.

Kömür örnekleme probu iç basıncı ile kömür-hava kanalı iç basıncının eşit olması durumu eşkinetik ortam koşuludur. Bu yöntem ile kanaldan alınan numune, kanal içi gerçek kömür parçacık dağılımı ve kanal kömür debisinin tespitinde kullanılır. Eğer kömür örnekleme sondası iç basıncı kanal iç basıncından yüksek ise eşkinetik üstü az ise eşkinetik altı ortam oluşur (Şekil 2.5).



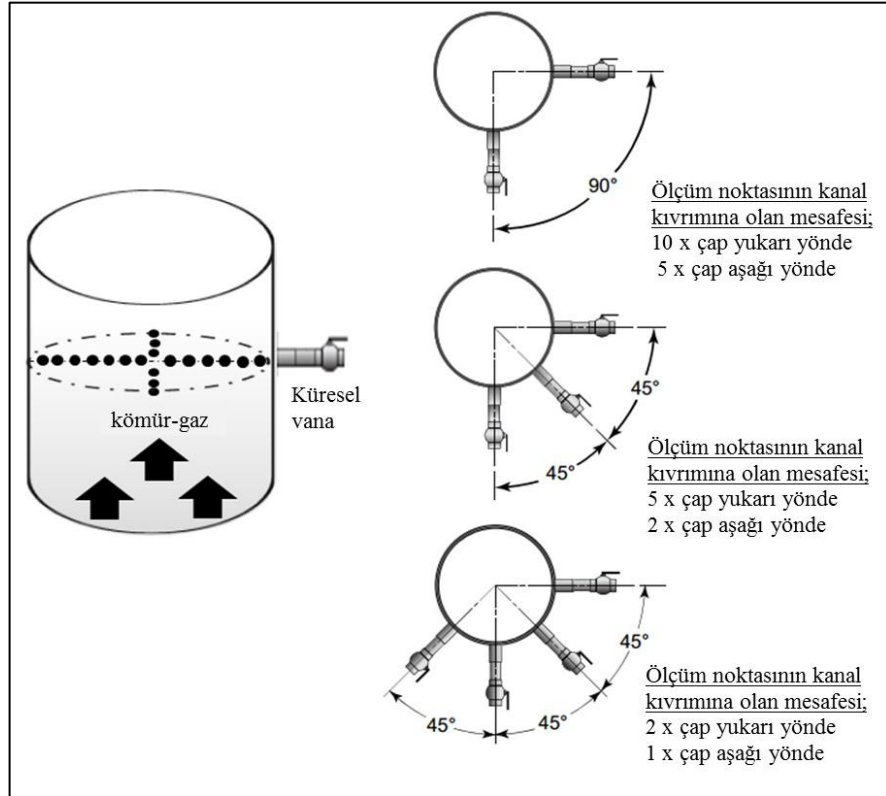
Şekil 2.5: Pulverize kömür örnekleme yöntemleri.

Eşkinetik kömür örnekleme test düzeneği ile yapılan ölçümler,

- Kanallar arası kömür dengesini,
- Her bir yakıt kanalında yakıt/hava oranını,
- Toplam pulverize yakıt/hava oranını,
- Her bir yakıt kanalında hızları,
- Kanallar arası hava debi dengesini,
- Yakıt hattı sıcaklık ve statik basıncı,
- Tane boyut analizi için temsili numune çekilmesini,
- Farklı besleyici hızlarında toplam yakıt debisini, belirlemek için kullanılır.

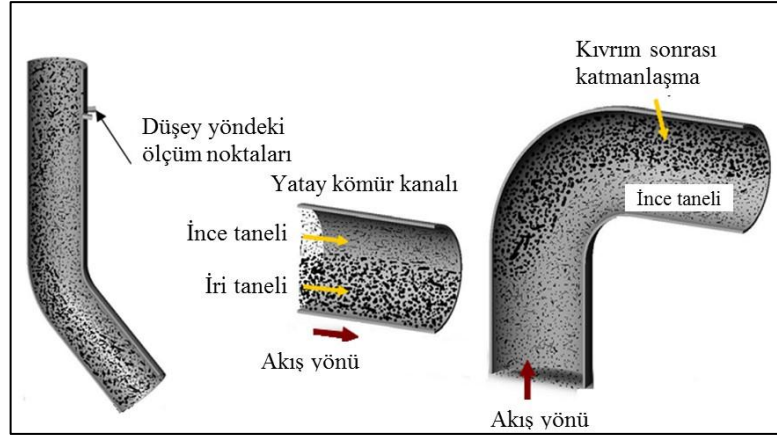
Eşkinetik kömür numune alma değirmen sonrası öğütülmüş kömürün gerçek tane boyut inceliğini ve değirmen performansını tespit etmek için uygulanır. Eşkinetik numune alma yöntemini uygulamak için değirmen sonrası yakıt kanallarına uygun sayıda ve açılarda ölçüm delikleri açılmalıdır. Dairesel veya dikdörtgenel bir kesiti eşit alanlarda tarayacak şekilde ölçüm sondası işaretlenir.

Doğru bir ölçüm için açılacak test deliklerinin sayısı ve konumları önemlidir. Numune alma noktaları, dirsek ve benzeri kıvrımları dikkate alarak belirlenmelidir. Test deliklerinin dikey kanal üzerinde olması tavsiye edilir. İdeal olarak, kömür-hava akışını etkileyecek kanal kıvrımlarından 10 çap aşağı veya yukarı yönde açılmalıdır. Ayrıca, ölçüm delikleri kanal iç basıncının negatif olduğu yerlere açılır. Aksi takdirde içten dışa doğru sıcak gaz ve kömür parçacık akışı olur.



Şekil 2.6: Pulverize kömür kanallarında ölçüm delik sayısının belirlenmesi.

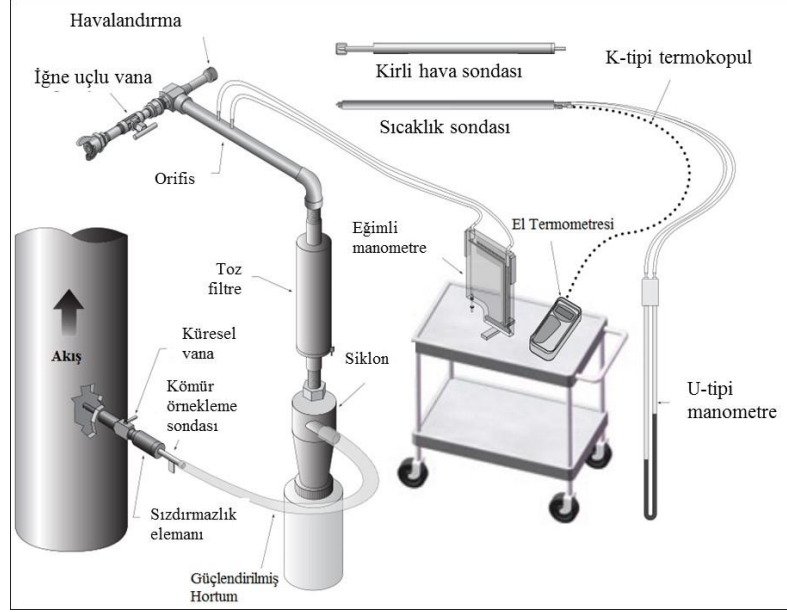
Ölçüm yapılacak noktada en az 90° açıyla 2 adet delik açılması gerekir. Kömür hava kanalında açılan delik sayısı aynı kanal üzerinde ölçüm noktasına en yakın kıvrıma olan uzaklığa göre belirlenir. Örneğin, düşey bir boruda kanal çapının 5 çap yukarısında veya 2 çap aşağısında bir kıvrım var ise bu kanal kesitine 45°'lik aralıklarla 3 adet delik yeterlidir. Eğer, 2 çap yukarısında veya 1 çap aşağısında bir kıvrım var ise 45°'lik aralıklarla 4 adet delik açılır. Ölçüm noktalarına Şekil 2.6'de gösterildiği gibi 1-1/4"lik yarım dişli manşon ve çift taraflı nipel ve küresel vana takılır.



Şekil 2.7: Pulverize kömür kanallarında kömür-hava akışının davranışı.

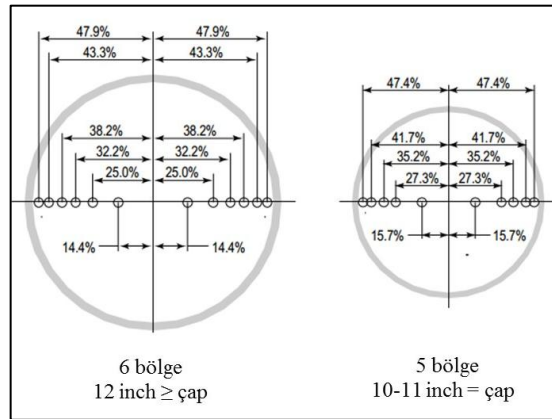
Değirmenlerde toz haline gelen kömür birincil hava yardımıyla kazan ocak bölgesine beslenir. Ölçüm noktaları değirmen ile ocak arasındaki kömür-hava hatları üzerinde seçilir. Genellikle, ölçüm noktaları düşey hat üzerine açılır. Kömür-hava kanalında, dirsekler ve dirseklere yakın bölgelerde kömür parçacıkları kümelenir. Hat kıvrımından ancak belirli bir mesafe sonra homojen bir kömür-hava akışı oluşur. Bu sebeple, kanaldan geçen kömür parçacık dağılımını doğru bir şekilde temsil etmesi açısından ölçüm portları boru kıvrımlarından mümkün olduğunca en uzak mesafede olması gereklidir. Her iki tarafı kıvrımlı olan bir kanalda ölçüm istenirse Şekil 2.6'deki yöntem uygulanarak ölçüm yeri ve adedine karar verilir. Yatay bir kanalda, kömür-hava akışı rejme girdikten sonra dahi kömür parçacık boyutlarındaki farklılıklar ve akışın doğası gereği daha hafif olan ince parçacıklar üst, daha ağır olan büyük parçacıklar alt tarafta kümelenir (Şekil 2.7). Yatay bir kömür-hava kanalında alınan numuneler, kanaldan geçen gerçek kömür tane boyut dağılımını temsil etmeyeceğinden düşey akış yönündeki kanallarda ölçüm yapılması tercih edilir.





Şekil 2.8: Eşkinetik ölçüm düzeneği.

Normlara uygun kömür örnekleme düzeneği parçaları ve bağlantı şeması Şekil 2.8'teki gibidir. Numune alma hortumunun bir ucu siklon girişine diğer ucu ise kömür örnekleme sondasına bağlanır. Cam yünü filtre kâğıdı, siklon çıkışındaki filtre kasası içinde yer alan gözenekli filtre borusuna yerleştirilir. Bu filtre kâğıdı gerektiği zaman değiştirilmelidir. Genellikle, her bir değirmen ölçümü tamamlandıktan sonra cam yünü filtre değiştirilir. Delikler ölçüme uygun hale getirildikten sonra kömür örnekleme ve kirli hava test sondası işaretlenir. Dairesel kesit, çapı Şekil 2.9'daki gibi 12" veya 12"ten büyük ise sonda, bir ölçüm deliğinde yarım daire kesitini 6 bölgede tarayacak şekilde, kanal çapı 10"-11" aralığında ise 5 bölgeyi tarayacak şekilde işaretlenir.



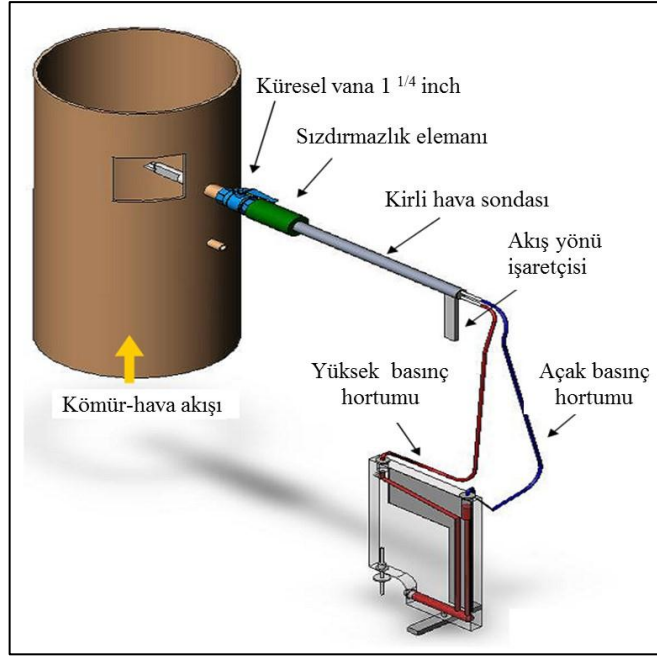
Şekil 2.9: Bir delikten yapılacak minimum ölçüm sayısı.

Kömür örnekleme ve kirli hava test sondasını işaretlemek için aşağıdaki talimatlar sırasıyla uygulanır:

- Küresel vana ucuna sızdırmazlık elemanı takılır.
- Kömür örnekleme sondası sızdırmazlık elemanı geçirilir ve küresel vana açılır. Sonda kanal arka duvarına çarpana kadar itilir. Sızdırmazlık elemanın sonda ile kesiştiği yer kalem ile işaretlenir.
- Sonda işaretlendikten sonra kanaldan çıkarılır. Sondayı sızdırmazlık elemanından tamamen çıkarmadan önce küresel vana kapatılır. İşaretlenen yerden sonda uç kısmına doğru 9,5 mm mesafe ölçülür ve işaretlenir. Bu değer 12"ten eşit veya büyük boru çapları için geçerli et kalınlığı olup daha küçük çaptaki borular için uygun bir değer alınır. Daha sonra ilk çizilen işaret silinir. En son işaretlenen noktadan yine sonda ucuna doğru kanal iç yarıçapı kadar mesafe uzunluktaki nokta işaretlenir. Bu işaret kanal merkez noktasını gösterir.
- Sonda üzerindeki kanal merkez noktasını belirten işaretin her iki yanına doğru Şekil 2.9'te belirtilen oranlarda sonda işaretlenir. Daha sonra merkez işaret de silinir. Kanal çapı 2"ten eşit veya büyükse üzerinde toplam 12 işaret olmalıdır.

Kirli hava test düzeneği ile pulverize kömür sevk kanallarında basınç farkı ölçümü yapmak için aşağıdaki talimatlar sırasıyla uygulanır:

- Kirli hava test probu işaretlendikten sonra Şekil 2.10'daki gibi düzenek kurulur.
- Test düzeneği ile kanal içi statik basınç ve basınç farkı ölçülür.
- Kömür örnekleme sondası sızdırmazlık elemanından içeri itilir, vana açılır ve sonda tamamen içeri yerleştirilir. Sonda örnekleme ucu işaretçisi kanal içi akış yönüne göre ayarlanır.



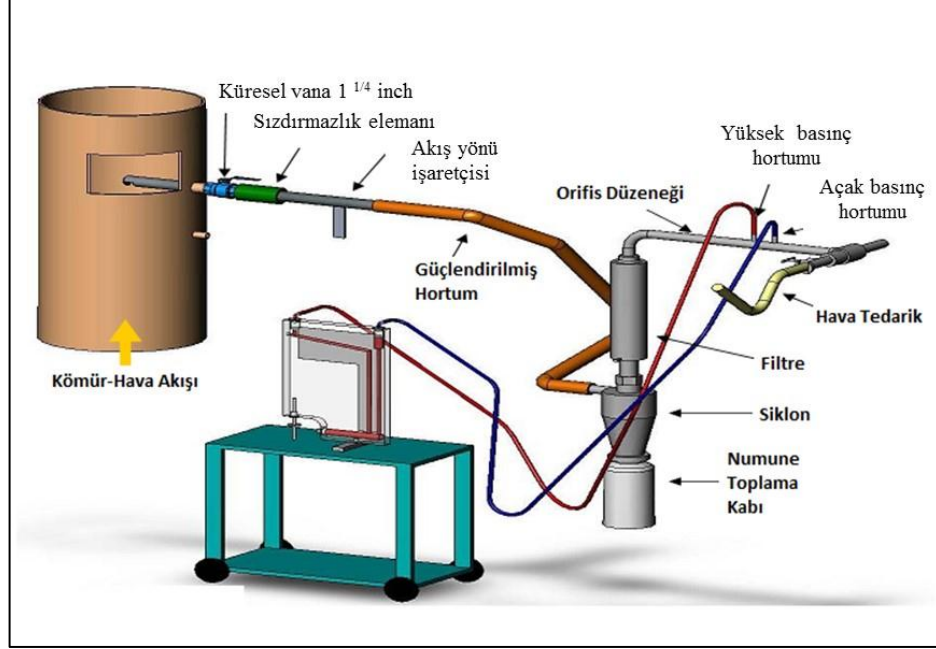
Şekil 2.10: Kirli hava test düzeneği.

- Kirli hava test sondası her bir işaretli noktada yaklaşık 5 sn kadar tutulur. Bu süre zarfında okunan ortalama basınç farkı değeri not edilir. Bu işlem bir test deliğindeki tüm işaretli noktalar için tekrar eder ve okunan değerler not edilir.
- Bu test sonucunda her bir delik için ortalama basınç farkı değeri hesaplanır. Bu değer daha sonra kömür örnekleme test ölçümünde girdi parametre olarak kullanılır.

Kömür örnekleme düzeneği ile pulverize kömür yakıcı kanallarından temsili numune almak için,

- Kömür örnekleme sondası işaretlendikten sonra Şekil 2.11'deki gibi birleştirilir.
- Kömür örnekleme düzeneğinde kömür-hava kanal iç hızlarını yakalayabilmek için sisteme fazladan hava hattı takılır.
- Kömür örnekleme sondası sızdırmazlık elemanından içeri itilir, vana açılır ve sonda tamamen içeri yerleştirilir. Sonda örnekleme ucu işaretçisi kanal içi akış yönüne göre ayarlanır. Havalandırma vanası açılıp kapatılarak basınç dengelenir ve zaman tutulur. Sonda bir noktada 5 saniye tutulur. İşaretlenen son noktaya gelindiğinde aspiratör vanası kapatılır ve sonda tamamen geri çekilir. Aynı işlem ikinci ölçüm deliği için tekrarlanır. Bu iki test deliği için örnekleme süresi 24

nokta için 2 dakika sürecektir. Eğer kömür-hava kanalına 3 veya daha çok test deliği açılmış ise her işaretli noktada durulacak süre toplam 2 dakika olacak şekilde ayarlanır. Önemli olan her işaretli noktada eşit sürede numune alınmasıdır.



Şekil 2.11: Kömür örnekleme test düzeneği.

- Değirmenden yakıcılara giden tüm kanallardaki her test deliğinde ölçüm tamamlandıktan sonra numune kabına biriken kömür ayrı bir saklama kabına boşaltılarak etiketlenir.

Bir değirmenden yakıcıya giden tüm kanallarda test tamamlandıktan sonra yakıt debisi aşağıdaki eşitlik (2.5) kullanılarak hesaplanır.

$$\text{Toz kömür debisi} \left( \frac{\text{lb}}{\text{saat}} \right) = \frac{\text{numune ağırlığı (gr.)}}{453,6 \text{ gr./pound}} \times \frac{60 \text{ dak./saat}}{\text{toplam süre (dak.)}} \times \frac{\text{kanal kesit alanı (ft}^2\text{)}}{\text{sonda ucu alanı(ft}^2\text{)}} \quad (2.5)$$

Bu hesaplamadan elde edilen sonuç değirmenden bir saatte yakıcılara beslenen yaklaşık kömür debisini verir (lb/saat). Yukarıda hesaplanan debi santral kumanda odasında o değirmene ait kömür besleyici hızından yola çıkarak hesaplanan kömür debisi ile karşılaştırılır. Bir Değirmene beslenen gerçek kömür debisinden

maksimum % 10 fark olacak şekilde teste devam edilir ve ölçümler tamamlanır. Ölçüm sırasında sıcaklık, statik basınç, basınç farkı, ölçüm süresi vb. veriler bir kâğıda kayıt edilir. Alınan numuneler poşetlenir, kodlanır ve tartılır. Kayıt altına alınan veriler (2.6) - (2.13) eşitliklerinde kullanılarak yakıcı kanalına ait gaz hızı, kömür debisi ve yakıt/hava oranı bulunur. Herbir yakıcı kanalına ait hesaplamalar yapıldıktan sonra kanallar arası yakıt, gaz dağılımı çıkmış olur. Pulverize yakma kazanlar için satandartda belirtilen değerler ile kıyaslaması yapılarak yorumlanır ve durumun kritikliği incelenir [10], [18], [19].

$$\text{Yoğunluk } (\rho) = \frac{460+70^{\circ}\text{F}}{460+T (^{\circ}\text{F})} \times \frac{\text{Bp} + \frac{\text{Sp} ( \text{"su sütunu} )}{13,6 \text{ Hg}}}{29,92 \text{ Hg}} \times 0,075 \text{ lbs/ft}^3 \quad (2.6)$$

$$\text{Hız} = 1096 \frac{\text{Avg } \sqrt{vh}}{\sqrt{\rho}} \times \text{Sonda K katsayısı} , \text{ ort. } \sqrt{vh} = \frac{\sum_{vh=1}^n \sqrt{vh}}{n} \quad (2.7)$$

$$\% \text{ Sapma/ort.} = \frac{\text{Hız} - \text{Ortalama Hız}}{\text{Ortalama Hız}} \times 100 \quad (2.8)$$

$$Q \text{ (CFM)} = \text{hız (fpm)} \times \text{kanal kesit alanı (ft}^2 \text{)} \quad (2.9)$$

$$\dot{m} \text{ (lb/saat)} = Q \text{ (CFM)} \times 60 \text{ ( dak./saat )} \times \text{yoğunluk ( lb/ft}^3 \text{)} \quad (2.10)$$

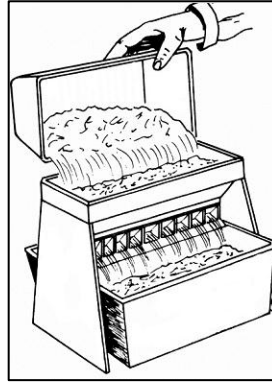
$$\Delta P = 1,573 \times (\text{Ort. } \sqrt{vh})^2 \times (\text{Sonda K katsayısı})^2 \quad (2.11)$$

$$\text{Sonda ucu alanı} = 0,0021 \text{ (ft}^2 \text{)} \quad (2.12)$$

$$\text{Hava yakıt Oranı} = \frac{\text{birincil hava debisi (pph)}}{\text{toz kömür debisi (pph)}} \quad (2.13)$$

### 2.2.7. Pulverize Kömür Tane İriliğinin Tayini

Kömür öğütme işleminden sonra alınan toz numunenin elek yardımı ile tane iriliği dağılımının saptanmasıdır. Bu şekilde değirmenin öğütme ve ayırma performansına bakılır. Tane iriliği, kazan yanma performansı üzerinde etkili olduğundan, bilinmesi kazan işletmecisi açısından önemlidir. Değirmen sonrası yakıcı kanallarından alınan numune önce 10-15°C'ye kadar kurutulur, daha sonra 50-100 gram gibi istenilen miktarda temsili numune alınır ve elenir.

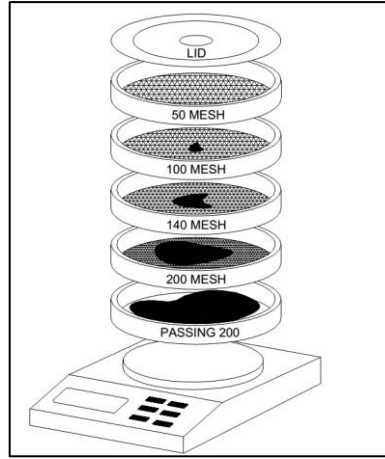


Şekil 2.12: Pulverize kömür ayırma ızgarası.

Numunenin ayrılmasında Şekil 2.12'deki ayırma ızgarası kullanılır. Izgara örnek numunenin karıştırılarak ikiye ayrılmasında kullanılır. Karıştırılarak ayrılan numuneler tekrar birleşilerek aynı ızgaradan geçirilir ve tekrar ayrılır. Daha eşit ayrılmış bir karışımın elde edilmesi için bu işlem en az iki defa tekrar edilmelidir.

Eleklerin temiz olmasına dikkat edilmeli, bir önceki elek analizinden olası kalmış katı parçacıkların temizlenmesine dikkat edilmelidir. Elekler büyükten küçüğe dizildikten sonra en alta bir toplama kabı konulur (Şekil 2.13). Bu elekler elek makinasına yerleştirilir. Elek makinası 10 dk. süreyle çalıştırılır ve elekler teker teker tartılır. Daha sonra birleştirilerek 5 dk. daha çalıştırılır ve elekler tekrar tartılır. Bir önceki çıkan sonuçlar ile arasındaki fark 0,5 gr.'dan daha az ise elek analizi tamamlanmıştır. Eğer 0,5 gr.'dan fazla ise aynı işlem 2 dk.'lık süreyle yapılır ve 0,2 gr.'dan az olana kadar devam edilir.

Ayrıca literatürde, 50 gr. kömür için 50, 100, 140 ve 200 gözlü (mesh) elekler üzerine koyarak 20 dakika süresince titreşim uygulanmasının yeterli olduğu da belirtilmiştir [10].

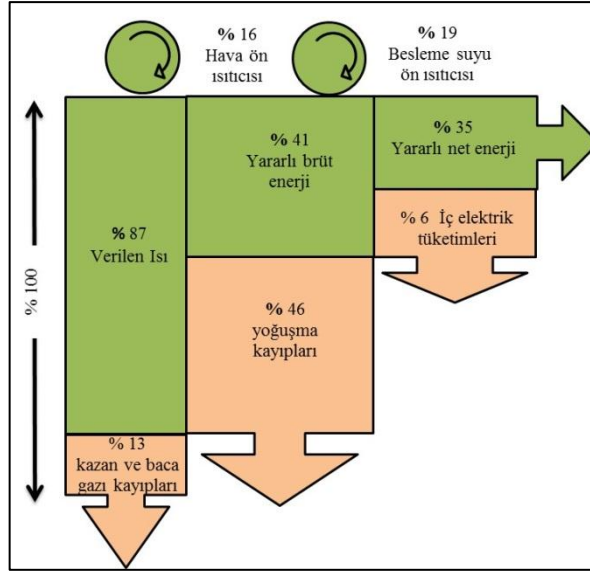


Şekil 2.13: Kömür incelik tayini elek düzeneği.

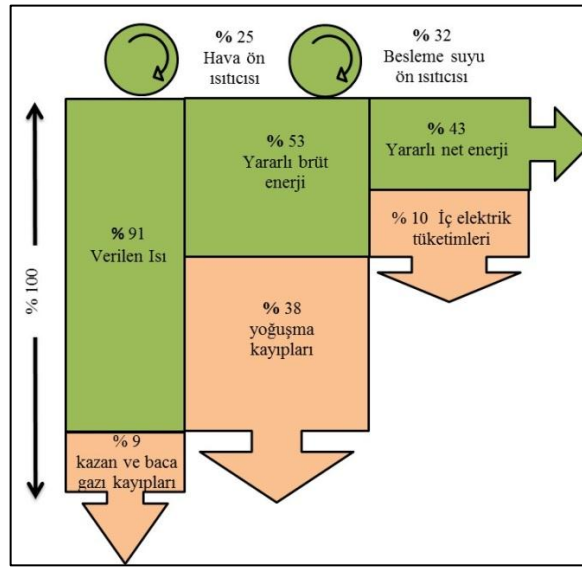
1960'larda kazan ocak bölgesini tasarlarken tek kademeli yanmaya göre kömür tane boyut dağılımı belirlenmişti. Bugün birçok kazan hava kirlilik yönetmeliğinde belirtilen  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  ve toz salınım limitleri dikkate alarak tasarlanmaktadır. Şimdi, 1960 model gibi eski tip kazanlarda  $\text{NO}_x$  salınımını azaltmak için sistem üzerinde iyileştirmeler yapılmaktadır.  $\text{NO}_x$  salınımını azaltmak için genellikle yanma kademelendirilir ve yakıcı ucunda yakıt/hava oranı azaltılarak  $\text{NO}_x$  salınım oluşumunu artıran yüksek sıcaklıkları düşürülür. Düşük  $\text{NO}_x$  ateşlemeli sistemler, pulverize kömür tane boyut dağılımının %75'i 200 gözlü elekten, %99,9'unun ise 50 gözlü elekten geçecek şekilde tasarlanırlar. Kömür tane inceliği her zaman kabul edilen  $\text{NO}_x$  salınım limitlerine ulaşmak için gerekmeyp, bazen daha kötü kömür tane boyut dağılımında da istenilen limitlere ulaşılabilir. Ancak, optimum yanmayı sağlamak ve uçucu küldeki yanmamış karbonu % 6'nın altında tutmak için yukarıda belirtilen kömür tane boyut dağılımını yakalamak gereklidir [20].

### 2.3. Geleneksel Buhar Kazanları

Termik santralda, yakıt bünyesindeki kimyasal enerji çeşitli kademelerden geçerek elektrik enerjisine dönüşür. Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'te görüldüğü gibi, bu dönüşümden elde edilen yararlı enerji miktarı tekniğin gelişmesine paralel olarak gittikçe artmaktadır. Kazan ve baca gazı kayıpları, yoğuşma kayıplarında düşüş göze çarparken iç elektrik tüketiminde ise gittikçe artan bir özellik göstermektedir.



Şekil 2.14: Ara Kızdırıcılı Domlu Kazanın verim grafiği.



Şekil 2.15: Çift Ara Kızdırıcılı Domsuz Kazanın verim grafiği.

Elektrik üretim amacıyla kurulan buhar santralleri, geleneksel buhar santraller; yakıt bünyesindeki kimyasal enerjinin bir dizi işlemlerden sonra elektriğe dönüşmesini sağlayan büyük ölçekli enerji değiştiricilerdir. Bu enerji değiştiricilerde yakıtın kazanlarda yakılması ile açığa çıkan enerji suya geçmekte ve onu buharlaştırmaktadır. Buhar enerjisi daha sonra türbinde mekanik enerjiye dönüşür. Sonunda, bu mekanik enerji generatörde elektrik enerjisi halini alır.

Geleneksel buhar santrallerinde çeşitli işlenen madde yolları bulunmaktadır. Bu madde yolları;

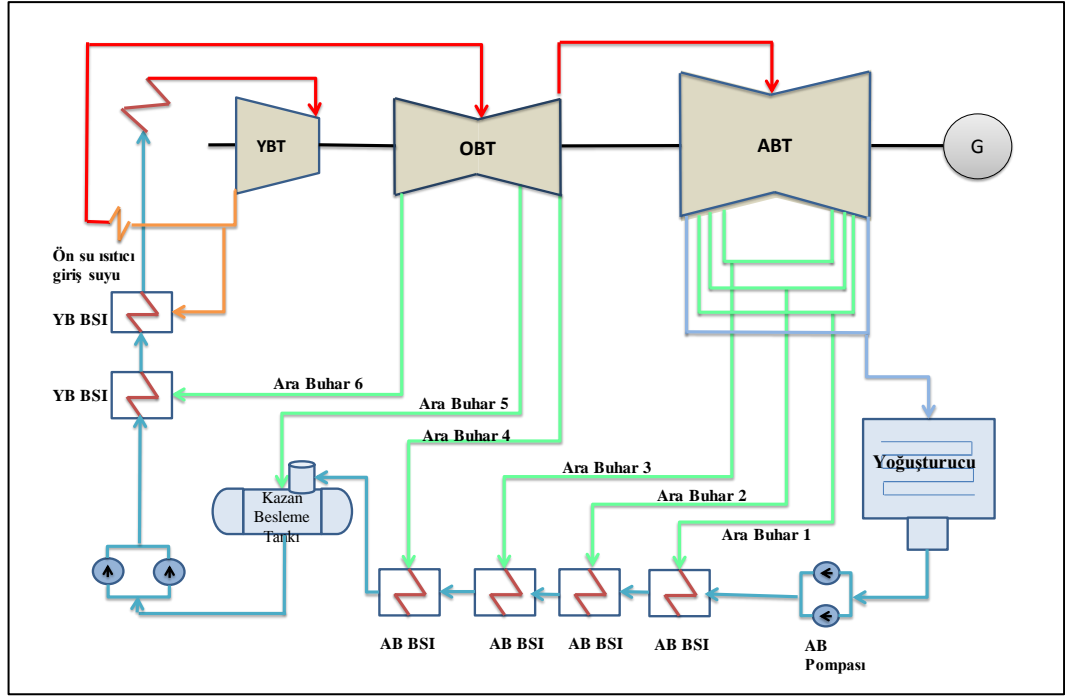


- Yakıt-cüruf yolu,
- Hava-gaz yolu,
- Su-buhar yolu,
- Soğutma suyu yolu,
- Yan ve yardımcı yollardır.

Yakıt-cüruf yolu: Kazan ocağında yanma havasındaki oksijenle birleşerek yanan yakıt gaz haline dönüşür ve yanma nedeni ile açığa çıkan ısı enerjisi bu gaz ile taşınır. Yakıt bünyesinde bulunan ve yanma özelliği olmayan kül ve cüruf gibi maddeler yanma sonucu kazandan alınarak atılır.

Hava-gaz yolu: Taze hava fanı yanma için gerekli olan havayı atmosferden emer ve bir ısı değiştiriciden geçirerek ısıtıttıktan sonra kazana basar. Yanma odasında hava yakıt ile birleşerek baca gazını meydana getirir. Baca gazı kazanın ısıtma yüzeyleri arasından geçerek ısınıp bu ısıtma yüzeylerine verir. Daha sonra hava ön ısıtıcılarından, filtrelerden geçer, cebri çekme fanı ile emilerek bacaya verilir ve oradan da atmosfere atılır.

Su-buhar yolu: Su-buhar çevrimi kapalı bir devre içerisinde kimi zaman su fazında, kimi zaman da buhar halinde dönüp durmaktadır. Kazandaki su buharlaştırılır. Ve kızdırılır. Baca gazları ile su arasındaki ısı alış-verişi, borulardan gelen kazan ısıtma yüzeyleri aracılığı ile gerçekleşir. Yüksek basınç ve yüksek sıcaklık altında kazandan çıkan buhar, türbinde genişletilir. Burada da tıpkı hava gaz yolunda olduğu gibi, çok büyük çapta hacim değişikliği meydana gelir. Buharın kinetik enerjisi türbin kanatlarında mekanik enerjiye dönüşür ve türbin kanatlarına çarpan buhar, bu kanatlar rotorun üzerine monte edilmiş olduğundan rotoru döndürür. Son türbin kademesinden çıkan buhar yoğunlaştırıcıya atılır ve burada yaklaşık 0,04 ata'lık bir vakum altında yoğunlaştırılır. Yoğuşarak su haline gelen buhar pompa ile basıncı bir miktar yükseltilir ve alçak basınç ön ısıtıcılardan geçirilerek kazan besleme suyu tankına gönderilir. Besleme tankından çıkan su, besleme suyu pompasına gelir. Besleme suyu pompası, suyu yüksek basınç ön ısıtıcılarından geçirerek kazana gönderir. Böylece çevrim tamamlanır ve aynı işlemler yeniden başlar. Örnek bir su-buhar türbin çevrimi Şekil 2.16'da verilmiştir.



Şekil 2.16: Pulverize kömür ateşlemeli bir ünite de türbin çevrimi.

Soğutma suyu yolu: Son türbin kademesinden çıkan buhar, nehir, göl, deniz ya da soğutma kulelerinden alınan soğutma suyu ile yoğuşturulur. Soğutma suyu miktarı, yoğuşturulan buharın ortalama 50-70 katıdır.

Yan ve yardımcı yolların en önemlisi generatörlerin, motorların yataklarının vb. soğutulmasında kullanılan soğutma suyu ile buhar çevrimindeki kayıpları karşılayan ilave sudur.

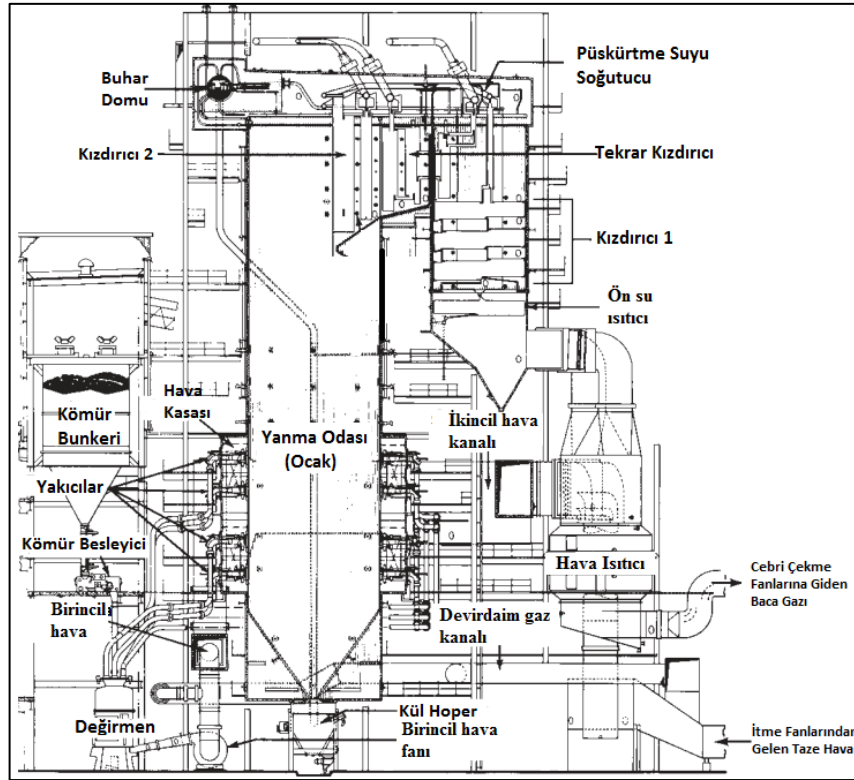
## 2.4. Pulverize Kömür Yakıtlı Kazanlar

Ateşleme sisteminde pulverize yakıt kullanmanın temel amacı ocak bölgesinin tüm hacmini katı yakıtların yanması için kullanabilmektir. Katı yakıt değirmenlerde yanma gazlarıyla karıştırılarak ince taneli boyutlara öğütülür, daha sonra yakmak için kazan yanma odasına havayla akışı sağlanır. Yakıtın kazan ocak bölgesinde yanma için gerekli süre 2-5 saniye ile kısıtlıdır. Yakıtın kuruluşu ve tane iriliği yanma odasında tam yanmanın gerçekleşebilmesi için önemlidir. Pulverize yakma sistemlerinde kömür tane iriliğinin nispeten daha küçük olması, ocak bölgesinde yanmanın kontrol edilebilirliğini kolaylaştırır da, bu durum yanma öncesi kömür hazırlama sisteminin yüksek sıcaklıklarda yapılmasını gerektirir ki bu da

dezavantajdır. Pulverize yakıt yakma sistemiyle elektrik üreten güç santralleri dünya genelinde 4000 MW tısl kapasiteye kadar inşa edilebilmiştir.

Antrasit'den linyit kömüre kadar tüm kömür çeşitleri pulverize yakıt yakma sistemleriyle yakılabilmektedir. Yakma sistemleri, yakıt ısıl değerine, bünyesindeki uçucu madde, kül ve nem miktarlarına göre tasarımda farklılık göstermektedir [21].

Ocak bölgesinde yanma sonucu meydana gelen gazlar (baca gazları) ısılarını taşınım ve ışımaya yolu ile kazan borularına vererek boruların içerisinden geçmekte olan suyun sıcaklığını yükseltir. Su sıcaklığı kazan basıncında buharlaşma sıcaklığına eriştiğinde buharlaşma başlar. Bu şekilde meydana gelen su-buhar karışımını "dom" denilen bir haznede doymuş buhar ve su olmak üzere ikiye ayrılır. Doymuş buhar daha sonra yine baca gazları ile kızdırılır. Su ise tekrar çevrimin baş tarafına gönderilerek yeniden ısıtılır. Kızdırıcılardan geçen baca gazının sıcaklığı oldukça yüksektir. Bu nedenle baca gazları dışarı atılmadan önce besleme suyunun ve yanma havasının ön ısıtılmasında kullanılabilir. Pulverize tip ocaklarda ocak sıcaklıkları 1400 °C civarındadır. Ocak bölgesinde ısı transferi ışımaya, kızdırıcılarda ve ön ısıtıcılarda ise taşınım yolu ile gerçekleşir.



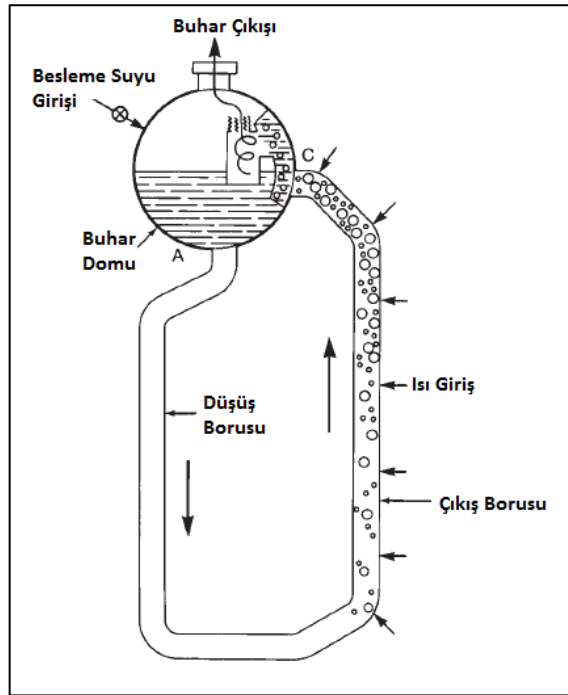
Şekil 2.17: Pulverize yakıtlı kazan ve yardımcı donanımlar.

Pulverize kömür yakıtlı kazanlar (su borulu kazanlar) büyük enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılır (Şekil 2.17). Bu tip büyük hacimli kazanlar, doğal çevrimli, cebri çevrimli ve tek geçişli kazanlar ( once-through boiler) olarak üç sınıfa ayrılırlar [22].

### 2.4.1. Doğal Çevrimli Kazanlar

Doğal çevrimli kazanlar özel durumlar hariç tek domlu tasarlanır. Gerektiğinde, düşük basınçlı veya atık yakıtların yakıldığı doğal çevrimli kazanlarda iki veya daha fazla dom kullanılabilir.

Kazan ocak bölgesinde yanan yakıt baca gazlarını meydana getirir. Baca gazları Şekil 2.18’de görüldüğü gibi ısılarını kazan borularındaki suya vererek kazanı baştanbaşa kat ederler. Besleme suyu önce ön su ısıtıcısına gelir. Daha sonra domdan çıkarak, kazan örtüsünün dışında kalan iniş borularından aşağıya dökülür. Burada kollektörde toplanan su buharlaştırıcı borularda ısınarak yükselir ve tekrar dom döner. İniş borularındaki su ile buharlaştırıcı borulardaki su-buhar karışımının özgül ağırlıkları arasındaki fark, bu çevrimi sağlayan basınç farkını meydana getirir.

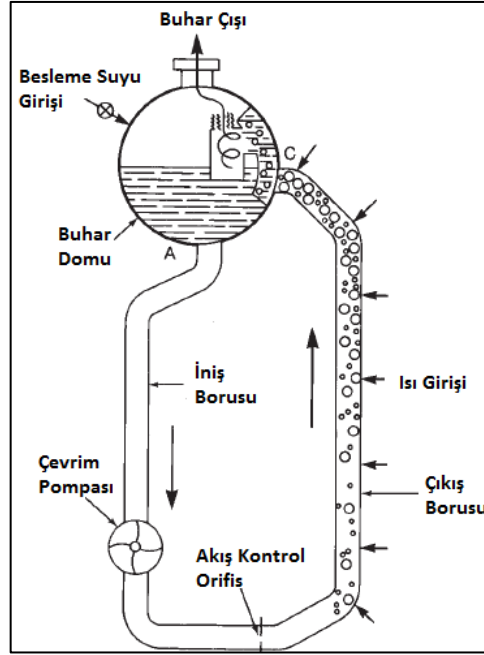


Şekil 2.18: Dağal çevrimli domda su-buhar akışı.

Doma dönen su-buhar karışımı burada doymuş buhar ve su olmak üzere ikiye ayrılır, su iniş borularından aşağıya dökülerek yeni bir çevrime başlarken, doymuş buhar kızdırıcılarda kızdırılarak türbine gönderilir [22].

#### 2.4.2. Cebri Çevrimli Kazanlar

Doğal çevrimli kazanlarda basınç artırıldığında iniş borularındaki suyun özgül ağırlığı ile buharlaştırıcı borulardaki su-buhar karışımının özgül ağırlığı arasındaki fark gittikçe küçülür. Bu ise çevrimin sağlanabilmesine engel olur. Doğal çevrimli bir kazan için mümkün olan en yüksek çalışma basıncı 180 bar dolaylarındadır. Bu değer aşıldığında çevrim sağlanamaz.

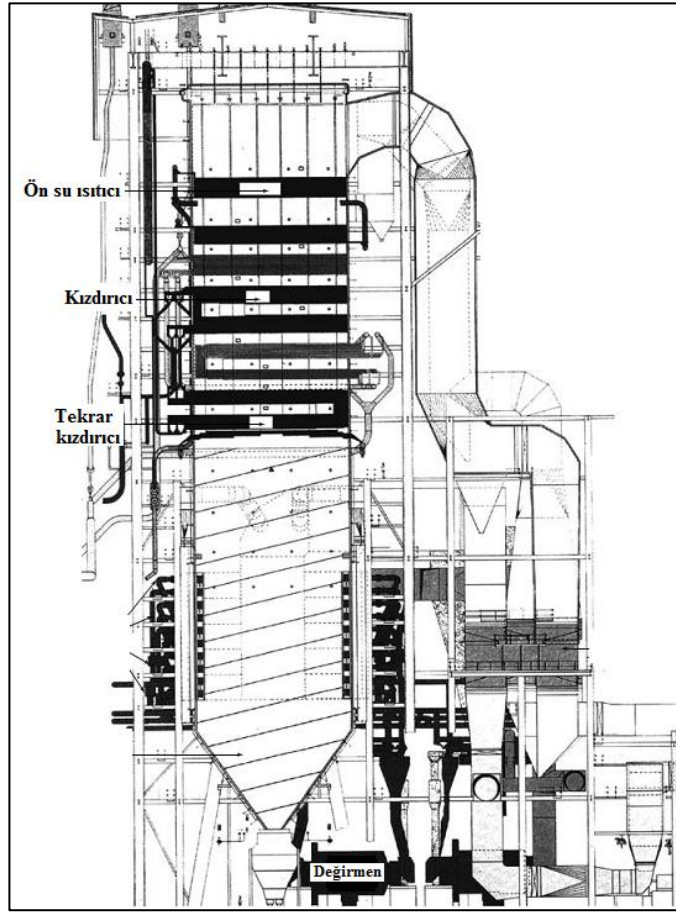


Şekil 2.19: Cebri (zorlanmış) çevrimli domda su-buhar akışı.

Doğal çevrimli kazanların bu limitasyonu cebri çevrimli kazanların yapımına neden olmuştur. Bu kazanların doğal çevrimli kazanlardan farkı, iniş borularından aşağıya dökülen suyun bir pompa ile buharlaştırıcı borulara basılmasıdır. Yani çevrim, bir pompa yardımı ile sağlanmaktadır. Şekil 2.19'de zorlanmış çevrimli bir domda su-buhar akış şeması verilmiştir [22].

### 2.4.3. Tek Geçişli (Domsuz) Kazanlar

Bu kazanlar, tek geçişli boru düzeninden meydana gelmiştir ve kazanın ön su ısıtıcısı, buharlaştırıcı ve kızdırıcı bölümleri birbiri ardına sıralanmıştır. Besleme suyu pompasının basıncı ile kazan borularının bir ucundan giren su, öteki ucundan kızgın buhar olarak çıkar. Bu tür kazanlara örnek olarak 4 x 344 MW kapasiteli Afşin-Elbistan-A santrali verilir [15]. Domlu kazanların doğal çevrimli olmaları halinde 180 ata, cebri çevrimli olmaları halinde ise 200 ata'ya kullanabilmelerine karşılık, domsuz kazanların işletme basınçları yalnızca besleme suyu pompasının gücüne bağlıdır. Günümüz tasarım koşulları göz önüne alındığında domsuz kazanların işletme basınçları 500 ata'ya kadar çıkabilmektedir. Şekil 2.20'de örnek olarak 500 MWe, kule-tipli, tek-geçişli pulverize kömür yakıtlı kazan resmi verilmiştir [16].



Şekil 2.20: 500 MWe, Kule-tipli, tek-geçişli pulverize kömür yakıtlı kazan.

## 2.5. Değirmenler

Değirmenler kömürlerin ğtlebilmeleri sertliklerine bağlı olduğu gibi, değirmenlerin boyutlarına, glerine ve tiplerine de bağlıdır. Bir kömürün ğtlebilme özelliğinin saptanmasında standard hardgrove test değirmeninden yararlanır. Bu bilyeli tip küçük bir değirmendir. Toplam 29 kg ağırlık altında, 25,4 mm çapında 8 adet bilyası vardır. Deneyden önce 0,6-1,2 mm kalınlığına incelti miş olan 50 g'lık kömür numunesi bu değirmende 60 devir/dk. hızla öğütülür. Değirmenden çıkartılan kömür 0,075 mm'lik elekten geçirilir. kömürün öğütülebilirliği (HGI) Şu formülden bulunur. Eşitlik (2.14'te m1: 0,075 mm elek üstünde kalan kömürün ağırlığıdır.

$$HGI= 13+6,93(50-m_1) \quad (2.14)$$

Yukarıdaki formülle bulunan kömürün öğütülebilirliği, değirmen kapasitelerinin doğru seçilebilmesi için mutlaka standart kömür numuneleri ile karşılaştırılmalıdır [23].

Buğn buhar santrallerinde farklı tip değirmenlerden yararlanılmaktadır. Bu değirmenler 3 ana grupta toplanabilir.

- Tamburlu tip değirmenler (düşük devirli),
- Galeli ve bilyalı tip değirmenler (orta devirli),
- arpmalı tip değirmenler (yüksek devirli).

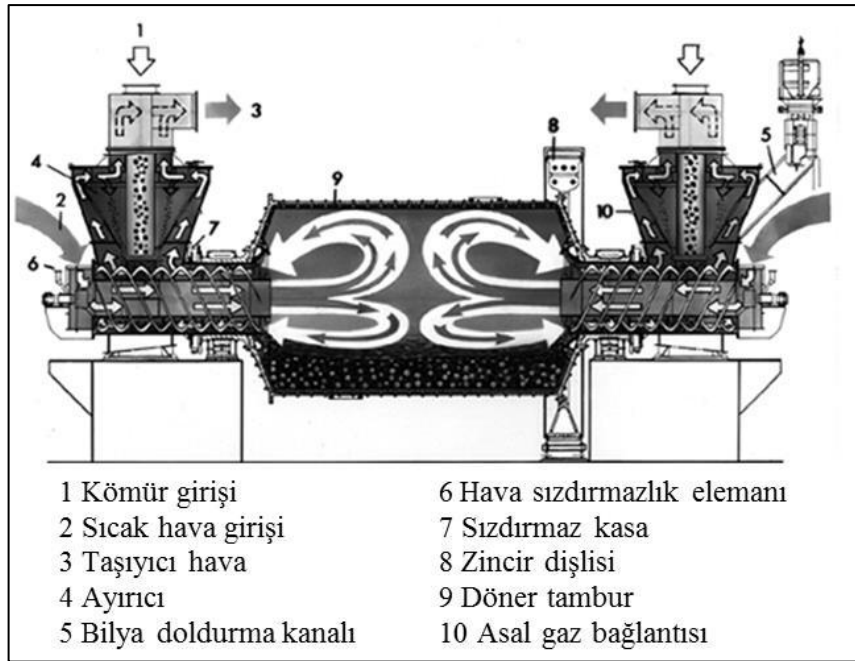
Tüm değirmenlerin kullanılma amacı aynı olup, kömürün öğütülmesi ve öğütme işlemi sırasında kömürün kurutulmasını sağlamaktır [15].

### 2.5.1. Tamburlu Tip Değirmenler

Tamburlu tip değirmenler i yüzeyi zırhlı kaplanmış bir tamburdan meydana gelir. Bu tambur, hacminin % 30'una kadar, çapı 30-60 mm olan elik bilyalarla doldurulur. Tambur, her iki yanından genellikle kaymalı yada masuralı yataklarla yataklanır (Şekil 2.21). Mil uçları oyuk olarak dizayn edilir. Bu oyuktan değirmenin

içerisine giren kömür bir yandan öğütülürken, bir yandan da kazandan emilen gazlarla kurutulur.

Öğütülen ve kurutulan kömür yoluna devam ederken eleğe takılan bölümü, iri kömür dönüş hattından tekrar geri döner. Tambur dönme hızı 15-30 devir/dk. arasındadır. Dönme sırasında kömür, tamburun içindeki bilyalar tarafından öğütülür. Bu tip değirmenlerde dönme hızı yüksek olursa, bilyalar ve kömür merkezkaç kuvveti ile çevreye yapışacağından öğütme gerçekleştirilemez. Öğütülmüş olan kömür, elekten sonra kömür yakıcılar aracılığı ile kazana yollarır.



Şekil 2.21: Döner tamburlu tip değirmen.

Bu tip değirmenlerin ağırlıkları çok fazla olduğundan çektikleri güç miktarı da oldukça fazladır ( 15-35 kWh/ton kömür). Öğütebildikleri maksimum kömür miktarı 60 ton/saat dolaylarındadır.

Tamburlu tip değirmenlerin avantajları olarak çok ince öğütebilme özelliklerini, en sert yakıtlarda bile az bir aşınma göstermelerini, yabancı maddelere karşı duyarlı olmalarını ve bakımlarının kolay olmasını gösterebiliriz. Ancak bu değirmenlerin çok fazla güç çekmeleri ve fazla yere ihtiyaç göstermeleri gibi olumsuzlukları da bulunmaktadır. Tamburlu tip değirmenler önceleri sadece maden kömürü için kullanılmaktaydı. Ancak günümüzde bazı sert linyit türleri için de kullanılmaktadır [15], [16], [21] ve [24].

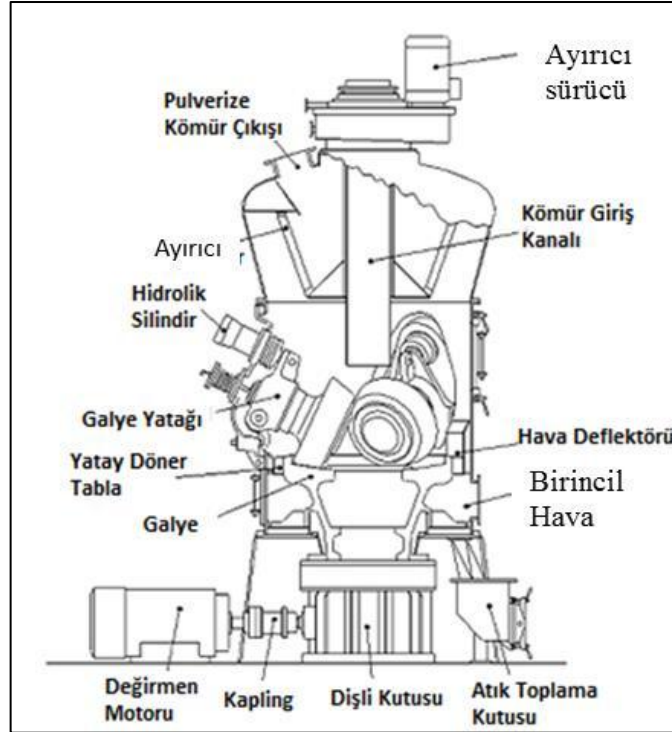


## 2.5.2. Galeli ve Bilyalı Değirmenler

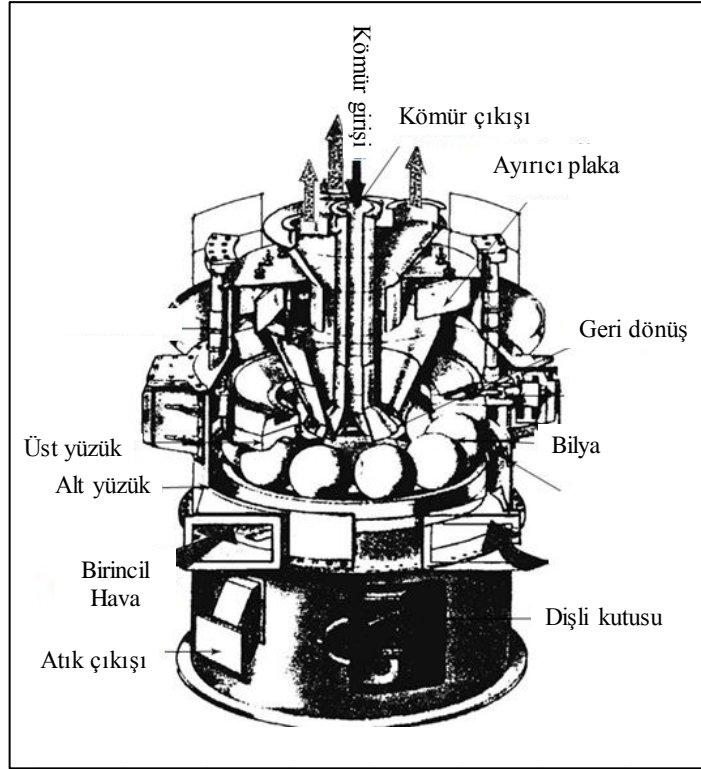
Bu tip değirmenlerde öğütücü galeler ya da bilyalar, yatay konumdaki bir tablanın üzerine yay, hidrolik vb. ile bastırılır. Kömür tablaya ortadan iletilebileceği gibi yan taraftan da iletilebilir. Tablanın üzeri değiştirilebilir tipten aşınma plakaları ile kaplanır ve bir motor-dişli kutusu düzeni ile döndürülür. Bilyalar ya da galeler konumlarını değiştirmeden tablanın üzerinde yuvarlanır. Öğütücüler ile tablanın arasında kalan kömür böylece toz haline getirilir ve sıcak hava ya da gaz aracılığı ile hem kurutulur hem de taşınır.

Galeli değirmenlerin maksimum kapasitesi 80 ton/saat, bilyalı değirmenlerin ise 40 ton/saat dolaylarındadır. Bu değirmenlerde öğütülen kömürlerin nem miktarları %20'ye kadar çıkabilir. Çektikleri güç miktarı ise 10-15 kWh/ton kömür'dür

Galeli ve bilyalı değirmenlerde tabla hızı 20-40 devir/dk. kadardır. Bu değirmenlerin az yere ihtiyaç göstermeleri, az ısınmaları, büyük kapasiteler için imal edilebilmeleri gibi avantajları vardır Şekil 2.22 ve Şekil 2.23 [20] ve [25].



Şekil 2.22: Galeli tip değirmen.



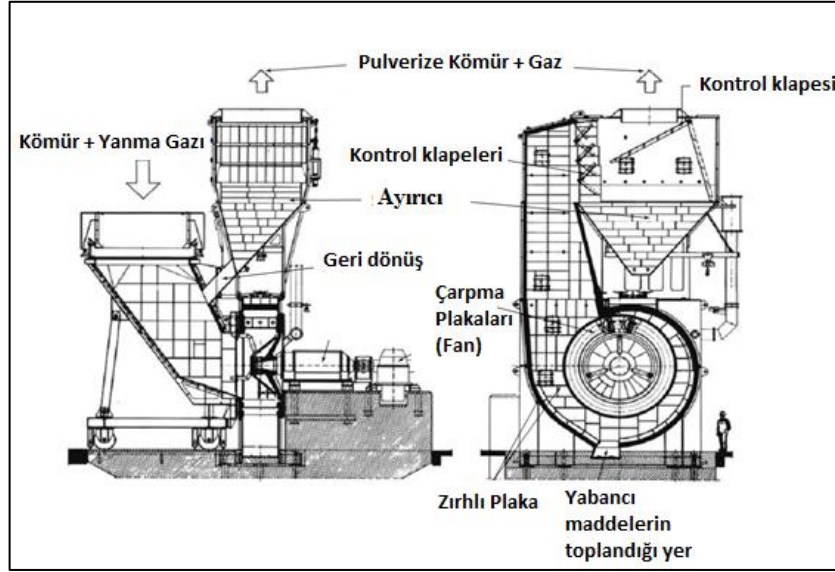
Şekil 2.23: Bilyalı tip değirmen.

### 2.5.3. Çarpmalı Tip Değirmenler

Bu tip değirmenlerde kömür, zırhla kaplanmış değirmen gövdesi ile değirmenin dönen bölümlerinin çarpma ve sürtünme etkileri sonucunda öğütülür. Değirmen millerinin dönme hızı küçük değirmenlerde 1500 devir/dk., büyük değirmenlerde ise 400-900 d/dk. dolaylarındadır. Çarpmalı tip değirmenler, çekiçli fanlı ve hem çekiçli hem de fanlı olarak imal edilebilirler.

Çekiçli değirmen, her iki taraftan yataklanmış bir mil ve aşınmaya karşı dayanıklı sert malzeme ile kaplı bir gövdeden meydana gelmektedir. Milin üzerinde çok sayıda çekiç bulunur. Çekiçler, çekiç kolları ile çekiç başlarından oluşmaktadırlar. Genellikle çekiç başları çekiç kollarına bir miktar hareket edebilecek şekilde monte edilirler. Çekiç başları özel alaşımlı çeliklerden imal edilirler. Çekiçli değirmenler yabancı maddelere çok duyarlıdır. Kömürün arasına karışarak değirmene girebilen büyükçe bir demir parçası, çekiç kolları ve çekiç başlarını parçalayabilir. Bu değirmenlerin maksimum öğütme kapasitesi 35 ton/saat, enerji harcaması ise her ton kömür için yaklaşık 13-25 kWh dolaylarındadır.

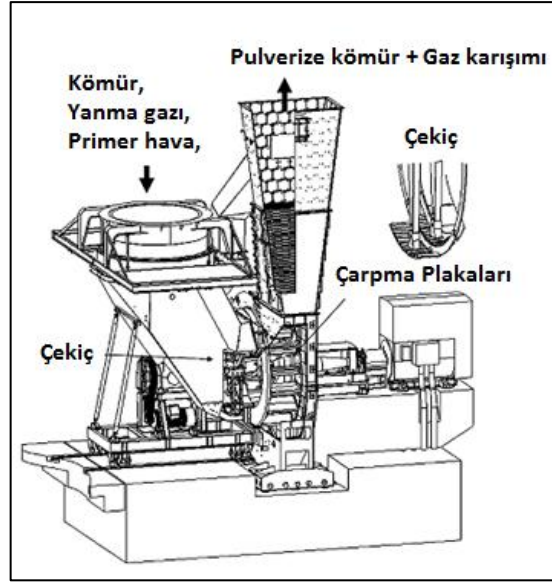
Fanlı değirmenlerde, kömürün öğütülmesi için çekiç yerine büyük çaplı fanlardan yararlanır (Şekil 2.24). Bu değirmenler özellikle linyit için geliştirilmiştir.



Şekil 2.24: Fanlı tip değirmen.

Değirmen fanı, kömürün kurutulması için gerekli olan 800-1000 °C sıcaklıktaki gazı kazandıktan sonra (1 ton linyit için yaklaşık 3000 m<sup>3</sup> gaza gereksinim vardır). Fan yüzeylerine çarparak öğütülen kömür bir yandan da bu gaz tarafından kurutulur.

Hem çekiçli, hem de fanlı olarak imal edilen değirmenlerde ise, önce değirmenin çekiçli bölümüne giren kömüre bir ön öğütme uygulanmış olur. Daha sonra fanın yüzeylerine çarpan kömür, gerekli incelikte öğütülür. Şekil 2.25'te hem çekiçli, hem de fanlı bir değirmenin kesiti verilmiştir.



Şekil 2.25: Çekiçli-fanlı tip değirmen.

Son iki tip değirmende öğütülen kömür yakıcılara fanın gücü ile basılır. Kazanların düşük yüklerde ve çok değişken kömür kalitelerinde rahatça çalışabilmesi ve kazan yük düşümüne hızlı yanıt vermesi için bu değirmenlerde genellikle hızı ayarlanabilen türden tahrik düzenekleri kullanılır. Büyük değirmen fanlarının atalet momentleri de çok büyük olduğundan durma süreleri oldukça uzundur. Bu nedenle büyük değirmenler gerektiğinde hidrolik ya da elektromanyetik fren ile donatılır. Bu tip değirmenler 150 ton/saat kapasiteye kadar imal edilmekte olup 1 ton kömür için harcadıkları enerji 10-13kWh dolaylarındadır [15] ve [16].

#### 2.5.4. Çarpmalı Tip Değirmenlerde Kömür Öğütme İşlemi

Kazan içinde yanma sonrası çekilen sıcak gaz (900-1000°C), duruma göre birincil hava ile karıştırılarak yakıt besleme kanalına girer. Burada kömüre anlık kurutma uygulanır. Kömür, değirmen çarpma plakalarında parçalanıp toz haline gelebilmesi için yeterli kurulukta olmalıdır. Değirmen çıkış sıcaklığı 120-200°C arasında değişmekte ve pulverize kömür % 50-60 oranında 90 µm'lik elekten geçebilmektedir.

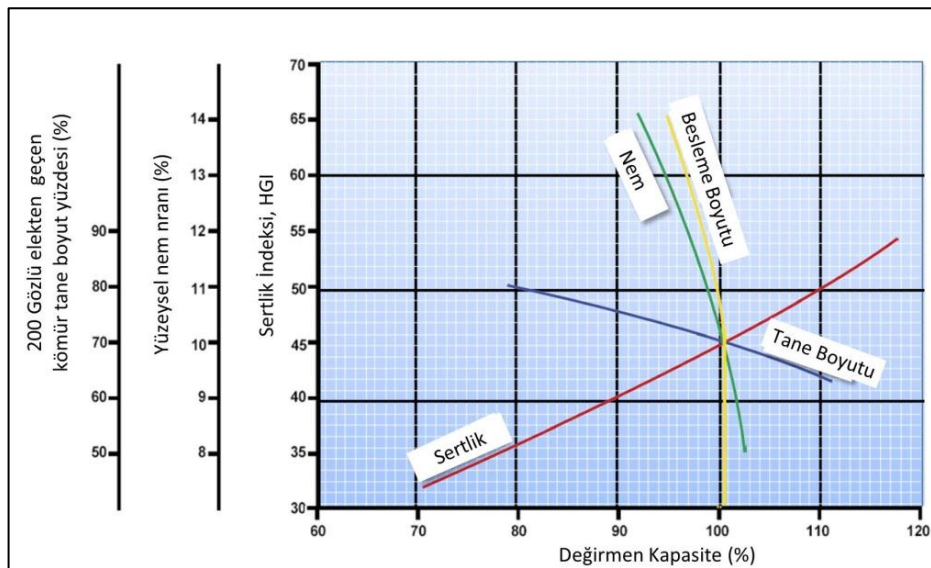
Değirmen seçiminde yakıt nemi önemli bir parametredir. Yüksek ve orta derecede nem içerikli linyit kömürleri için tercih edilen değirmenlerin genel özellikleri aşağıda verilmiştir.

Yüksek nemli kömürleri öğütülmesinde kullanılan çarpmalı tip değirmenlerin yapısal özellikleri şunlardır:

- Hızları 450-750 rpm dolaylarındadır.
- % 60 yakıt neminde, Kapasiteleri 35-200 ton/saat'tir.
- Değirmen çıkış sıcaklığı 120°C dolaylarındadır.
- Öğütülmüş kömürün % 50'si 90 µm'lik elek üzerindedir.
- Motor büyüklüğü 300-1600 kW arasında değişiklik göstermektedir.
- Güç tüketimi 4-16 kWh/ton kömür arasındadır.

Orta derecede nemli kömürleri öğütülmesinde kullanılan çarpmalı tip değirmenlerin yapısal özellikleri şunlardır:

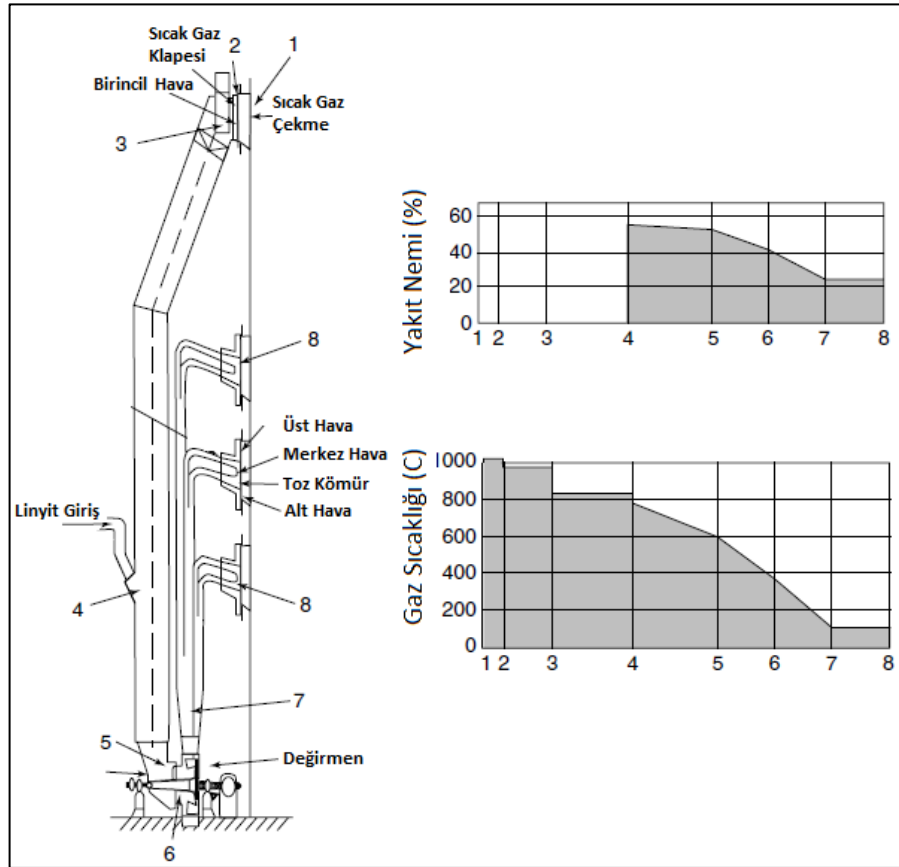
- Bu tür değirmenler çekiçli fanlı tip öğütücülerdir.
- Hızı 400-750 devir/dk. dolaylarındadır.
- Ateşleme gereksinimine göre ayırıcı kullanılır.
- Kapasiteleri 10-90 ton/saat arasındadır.
- Pulverize kömür, nemi % 12, sertlik indeksi % 60, tane iriliği 90 µm'lik elek üstü % 25'tir.
- Motor büyüklüğü 250-2000 kW arasında değişmektedir [16].



Şekil 2.26: Değirmen kapasitesinin sıcaklık, nem ve tane iriliği ile ilgili ilişkisi.

Değirmen kapasitesi, Şekil 2.26’da görüldüğü gibi kömürün sertliği, nem içeriği ve öğütme sonucu beklenen tane boyut dağılımı ile doğrudan ilişkilidir. Kömürün sertliği arttıkça öğütebilirlik kolaylaşacağından değirmen tam yükte çalıştırılabilecektir. Değirmende sürekli bir kurutma olsada gelen kömürün daha nemli olması kapasite artışını zorlaştıracaktır [26].

Değirmen çıkışında büyük parçaların geri dönmesi için ayırıcı vardır. Ayırıcı, yakıcı ve kazan ateşleme sistemine göre tasarlanır. Bu şekilde istenilen tane inceliğinde kömür öğütülerek yakıcı kanallarına basılır. Linyit yakıtlı köşeden ateşlemeli kazanda öğütme işlemine örnek akış şeması Şekil 2.27’de verilmiştir. Bu akış şemasında, linyit değirmene girmeden önce sıcak gaz ile buluşup kazan ocak bölgesine girene kadar geçen süreçteki yakıt nemindeki değişim Şekil 2.27’de verilmiştir. Buna göre %50 nem içeriğindeki kömür sıcak gaz ile %25’e kadar düşmüştür. Kurutma işleminde, 1000°C’deki sıcak gaz 120 °C’ye kadar düşmüştür [27].



Şekil 2.27: Linyit öğütme işleminde yakıt nemi ve gaz özelliklerinin değişimi.

## 2.6. Kömür Parçacığının Yanma Evreleri

Yanma işleminin amacı, yakılan maddenin içerisindeki enerjiyi açığa çıkarmak ve bu enerjiyi kullanılabilir bir ısıya dönüştürmektir. Yanma işlemi yakılan maddenin türüne göre farklılık gösterir. Farklı oranlarda organik madde ve mineral içeren heterojen katı yakıtların yanması homojen gaz yakıtların yanmasına göre daha karmaşıktır.

Kömür gibi katı yakıtların ısıtılmasıyla yakıtın içerisindeki organik maddelerin pirolizi başlar. Kömürün ısıtılma işlemi sırasında uçucu hidrokarbon, hidrojen, sülfür açığa çıkmakta ve katı olarak çar oluşmaktadır. Sıcaklığın artması ve yakılabilir bir karışımın oluşmasıyla oluşan bu uçucu maddeler ve çar hava içerisindeki oksijenle tutuşur. Katı yakıtların yanma aşamaları kurutma, piroliz, tutuşma, uçucuların ve çarın yanması şeklinde sıralanabilir [27].

### 2.6.1. Kurutma

Kömürün yüzeyine ve gözeneklerine yerleşen su, 100°C ve üzeri sıcaklıklarda buharlaşmaya başlar. 300°C seviyesinde yüzey ve gözeneklerdeki su tamamen ayrıştırılmış olur. Bu aşamada suyun ayrıştırılmasının yanında metan, karbondioksit ve nitrojen gibi gazlar oluşmaktadır. Pulverize tip yakıcılarda hızlı yanma sağlamak için önceden kurutma işlemi yapılmaktadır.

### 2.6.2. Piroliz

Isıtma sırasında organik maddelerin kömürden ayrışması ve gaz ürünlerinin oluşması işlemine uçucusuzlaştırma veya piroliz denir. Bu işlem sıcaklığın 300°C üzerine çıkmasıyla başlar ve 600°C civarına geldiğinde gaz (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>), katran ve yakıcı hidrokarbon (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) oluşumu meydana gelir.

400°C'ye kadar kömür parçacıklarında fazla bir değişim olmazken bu sıcaklığın üzerinde yumuşama başlar. 550°C'ye kadar katran ve gazların oluşumu parçacıkların kabarmasına sebep olur. Bu sayede gözenekler ve yüzey alanları belirgin bir şekilde artar. 600°C'nin üzerine çıkılmasıyla karbonmonoksit ve hidrojen parçacıktan önemli ölçüde ayrışır ve çar oluşmaya başlar. Açığa çıkan uçucu

ürünlerin oranı kömürün cinsine, yapısına, ısıtılma hızına ve son piroliz sıcaklığına göre farklılık göstermektedir. Son piroliz sıcaklığının artmasıyla uçucu ürün oranı da artmaktadır.

### **2.6.3. Tutuşma**

Tutuşma yanma işleminin başlangıcıdır. Tutuşma başlamadan önceki sıcaklıklarda ısı yakıt oksitlenmesiyle çevreye yayılır ve sıcaklıkta dikkate değer bir artış gözlenmez. Ancak tutuşma sıcaklığına ulaşıldığında ısı önemli ölçüde artar ve bu şekilde tepkime hızlanarak kararlı bir yanma elde edilir. Bu yanmayla beraber çarın ve uçucu ürünlerin yakılması gerekmektedir. Bu da yakıcı havayla ve sıcaklığın artmasıyla sağlanır. Çarın tutuşma sıcaklığı 800°C'nin üzerindeyken yanıcı uçucuların ve yakma havasının tutuşma sıcaklığı 500-700°C arasındadır.

Tüm bu yanma süreçleri parçacığın büyüklüğüne ve ısıtılma hızına bağlı olarak değişebilmektedir. Örneğin, iri taneli bitümlü kömürün yavaş ısıtılmasıyla önce uçucu ürünler salınır, ardından parçacık civarında tutuşma başlar. Hava gazının ve uçucuların parçacık etrafında yoğunlaşmasından dolayı oksijen parçacıklara ancak uçucuların tutuşmasıyla ulaşır ve parçacık tutuşması bu şekilde başlar.

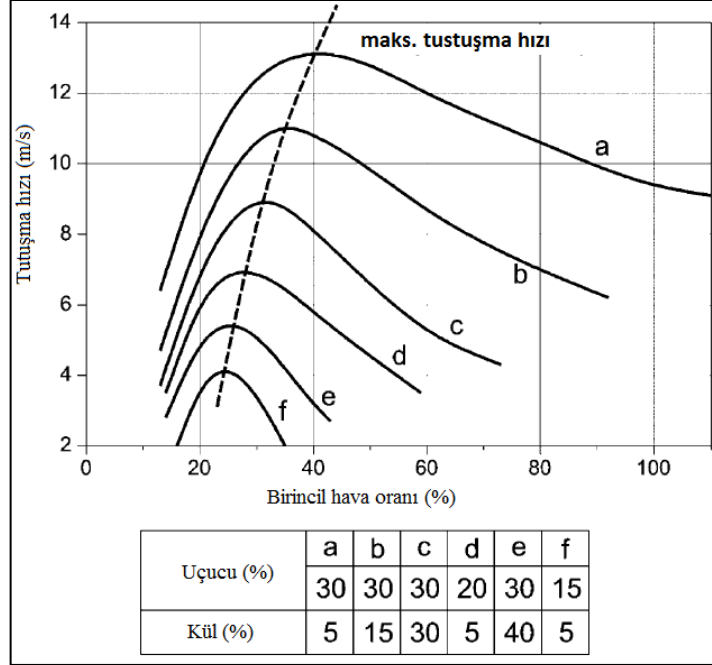
İri taneli parçacıkların hızlı ısıtılmasıyla uçucularla çarın eş zamanlı tutuşması sağlanmaktadır. Bu durumda piroliz daha yüksek sıcaklıklarda meydana gelir ve parçacıklar, gazların tamamı yanmadan tutuşabilir. Küçük parçacıklarda ise tutuşma doğrudan parçacık yüzeyinden başlar. Bu sayede parçacık hızlı bir şekilde ısınarak etrafında yanıcı karışım oluşmadan tutuşma sıcaklığına ulaşabilmektedir.

Sonuçta, iri taneli parçacıklarda tutuşma ilk önce uçucularda meydana gelirken hızlı ısıtılan orta ölçekli parçacıklarda uçucuların ve parçacığın tutuşması eşzamanlı olarak gerçekleşmektedir. Ayrıca parçacıklarda uçucu oranı düştükçe parçacığın tutuşması daha çabuk olur. Ancak uçucu oranının düşük olduğu çar ve düşük kaliteli kömürlerde tutuşma sıcaklığı yüksekken uçucu oranının fazla olduğu kömürlerde tutuşma sıcaklığı düşüktür. Yani kömürün kalitesi arttıkça tutuşma sıcaklığı düşmektedir.

Kararlı bir alev oluşturmak için akış hızı ile tutuşma hızının eşit olduğu bir bölge oluşturulmalıdır. Tutuşma hızı ise birincil hava oranına göre değişiklik göstermektedir. Düşük oranlardaki birincil havanın sağladığı oksijen yakma işlemi



için yeterli olmazken yüksek oranlardaki hava alev sıcaklığının düşmesine sebep olur (Şekil 2.28). Her iki durumda da tutuşma hızı düşmektedir. Kül oranının fazla olması ise tutuşmada gecikmeye sebep olur [27].

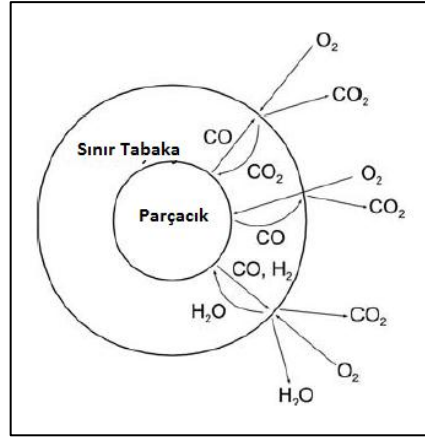


Şekil 2.28: Pulverize kömürün birincil hava oranına bağlı tutuşma hızı.

#### 2.6.4. Uçucu Ürün ve Çarın Yanması

Uçucu ürünler parçacık yüzeylerinde yoğunlaşırken parçacıktan uzaklaştıkça yoğunluk düşmektedir. Oksijen ve uçucu ürünlerin sitokiyometrik yoğunluğu bulunan bir alev alanı içerisinde uçucuların yanması dengelenir. Parçacığı kuşatan alevin çapı parçacığın çapından birkaç kat daha büyüktür. Pulverize kömürün yakılmasında birbirinden ayrı parçacıklarının oluşturduğu uçucuların yanması için tutarlı bir gaz alevi oluşturulmalıdır.

Uçucuların parçacıktan ayrılmasıyla geriye karbon ve külden oluşan gözenekli bir yapı kalır. Yeterince yüksek yüzey sıcaklığına sahip karbonun oksitlenmesi  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  ve su buharıyla sağlanır. Bu sıcaklıkta oksijenle heterojen olarak yanması sağlanan çarın tepkime hızı uçucuların homojen yanma hızından daha düşüktür. Karbonun oksitlenmesiyle ilk başta  $CO$  oluşur ve reaksiyonun devam etmesiyle  $CO_2$  ve  $H_2O$  oluşumu başlar (Şekil 2.29). Çarın yanmasıyla toplam yanma zamanı belirlenir [28].



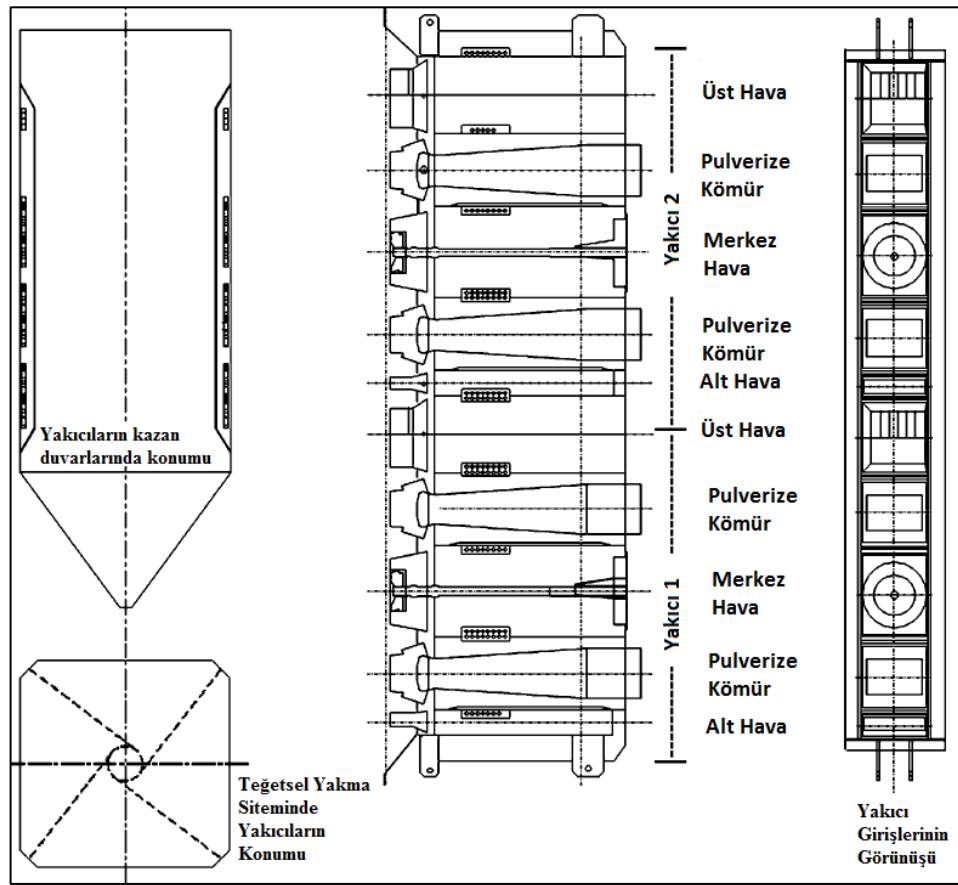
Şekil 2.29: Çar parçacığının yanma işlemi.

Çarın yanma süreci üç aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar sırasıyla kimyasal tepkimeler, gözenekler yardımıyla yayılma ve katmanlarda meydana gelen yayılma olarak sıralanmaktadır. Kimyasal tepkimede oksijen düşük sıcaklıklarda gözeneklerden geçerek çar içine ulaşır. Böylece oksijen yoğunluğu atmosfer yoğunluğuna eşitlenir. Yanma hızını sadece oksijenin kimyasal tepkimesiyle etkilemektedir. Gözeneklerdeki yayılma kimyasal tepkimelerin hızı sıcaklıkla beraber artar. Çarın içinde tepkimelerin başlamasıyla oksijen yoğunluğu zamanla azalır ve oksijenin gözeneklerden yayılma ile içeri alınma hızı yanma hızını etkiler. Sonuçta, sıcaklığın sürekli artmasıyla oluşan katmanlı yapıdan oksijen yayılma yoluyla geçerek yanma işlemini tamamlamış olur. Ulaşılan bu son sıcaklık parçacık büyüklüğüne bağlı olarak 1100-1500°C arasında değişmektedir. Yanmanın başlangıcından itibaren oluşan kül katmanı sürekli arttığından yanma hızı kademeli olarak azalmaktadır. Bundan dolayı pulverize tip yakıcılarda külün etkisini en aza indirmek için piroliz işlemi uygulanarak gözenekli yapının artması sağlanmaktadır [27].

## 2.7. Pulverize Kömür Yakıcıları

Pulverize tip yakıcıların geliştirilmesi, kullanılan yakıtın tamamen yakılması ve istikrarlı bir yanma elde edilmesi doğrultusunda başlamış ve günümüzde bunlara ek olarak düşük miktarda zararlı salınımları sağlayan yakıcıların geliştirilmesiyle devam etmiştir. Bu amaçla ilk etapta jet yakıcılar, ardından geleneksel tip pulverize kömür yakıcıları ve son olarak da düşük NOx salımlı yakıcılar geliştirilmiştir. [27].

Jet yakıcılar, pulverize kömürün tek bir nozul ağzından birincil havayla beraber ocak içerisine gönderilerek yanmasını sağlamak amacıyla geliştirilen ilk yakıcı tipidir. Yanmayı sağlamak amacıyla nozul üstüne ve altına ikincil hava girişleri yerleştirilmiştir. Yakıcıların ocak giriş yerleri kullanılan ocağa göre farklılık gösterse de hepsinde yakıtın tamamen yakılarak yanma veriminin artırılması amaçlanmıştır. Şekil 2.30'de pulverize kömür yakmak için geliştirilmiş bir jet yakıcı gösterilmektedir. Yakıcı girişleri ocağın köşelerine konumlandırılarak teğetsel bir yakmayla yanma veriminin artırılması amaçlanmıştır. Türkiye'de linyit yakmak amacıyla kullanılan yakıcı tipi, jet yakıcı modelidir.



Şekil 2.30: Teğetsel yakma sisteminde kullanılan jet yakıcı modeli.

Geleneksel pulverize kömür yakıcılar, jet yakıcılarla tam olarak sağlanamayan yüksek yanma verimine ulaşmak amacıyla geleneksel yakıcılar geliştirilmiştir. Geleneksel pulverize kömür yakıcıların jet yakıcılardan en önemli farkı, yakıcının nozul ucuna yerleştirilen kanatlardır. Bu şekilde kömürün ikincil hava içerisindeki dağılımı sağlanarak yanma verimi artırılır. Ayrıca, ikincil hava girişi birbirleriyle

bağlantılı ayrı girişlerden oluşur ve bu girişler yakıcının kullanılma durumuna bağlı olarak kapalı, kısmen açık ve tamamen açık olacak şekilde ayarlanabilir.

Geleneksel yakıcıların biraz daha geliştirilmesiyle ikincil hava akışı ve kanatlar ayrı ayrı kontrol edilmeye başlanmıştır. Bu yakıcılarda ikincil hava miktarı hareketli bir disk tarafından, diskin yakıcı ağızına yakınlaştırılması ve yakıcı ağızından uzaklaştırılmasıyla kontrol edilir. İkincil hava türbülansı ise yakıcı ağızında konumlandırılmış, ayarlanabilir dönen kanatçıklarla sağlanır [27].

Yeni nesil yakıcılar, jet ve geleneksel yakıcılarda yanma veriminin artırılması amaçlanırken NO<sub>x</sub> salınım önemsenmemiş ancak, düşük NO<sub>x</sub> salımlı yakıcıların geliştirilmesiyle hem yüksek yanma verimi hem de düşük NO<sub>x</sub> salınımı elde edilmeye çalışılmıştır [27].

### 3. TEST YERİNİN İNCELENMESİ

Değirmen performans tespiti ve kazan yanma iyileştirme çalışmaları Soma B Termik Santrali 2. Ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Testler öncesinde 2. Ünite kazan ve yardımcı donanımlarında görsel incelemelerde bulunulmuştur.

Soma B Termik Santrali 6 x 165 MW<sub>brüt</sub> elektrik üretim kapasitesine sahip altı üniteden oluşmaktadır. 1, 2, 3, ve 4 no'lu üniteler 2400 kcal/kg ve 5 ve 6 no'lu üniteler ise 1550 kcal/kg ısıl değere sahip linyit kömürlerine göre tasarlanmıştır. 2. Ünite'de kullanılan yakıt ve kazana ait karakteristik özellikler Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Soma B Termik Santrali 2. Ünite kazanının karakteristik özelliği.

| 2. Ünite Kazanı Karakteristik Yapısı    |  |
|---|--|
| Yapımcı                                 | SES TALMECE (Çek Cumhuriyeti)                  |
| Kazan tipi                              | Doğal çevrimli, ışınımlı ve tekrar kızdırıcılı |
| Kızdırıcı buhar çıkış sıcaklığı         | 540 °C   |
| Kızdırıcı buhar çıkış basıncı           | 142 Kg/cm <sup>2</sup>                         |
| YBT çıkış buhar sıcaklığı               | 347 °C   |
| YBT çıkış buhar basıncı                 | 33 Kg/cm <sup>2</sup>                          |
| Tekrar kızdırılmış buhar sıcaklığı      | 540 °C   |
| Tekrar kızdırılmış buhar basıncı        | 31Kg/cm <sup>2</sup>                           |
| Kazan esleme suyu sıcaklığı             | 234 °C   |
| Değirmen sayısı (ana yakıt)             | 5+1  |
| Fuel-oil yakıcı sayısı (yardımcı yakıt) | 6 Adet   |
| Nominal debi                            | 525 ton/saat                                   |

Tablo 3.2: Soma B Termik Santrali 2. Ünite linyit içeriği.

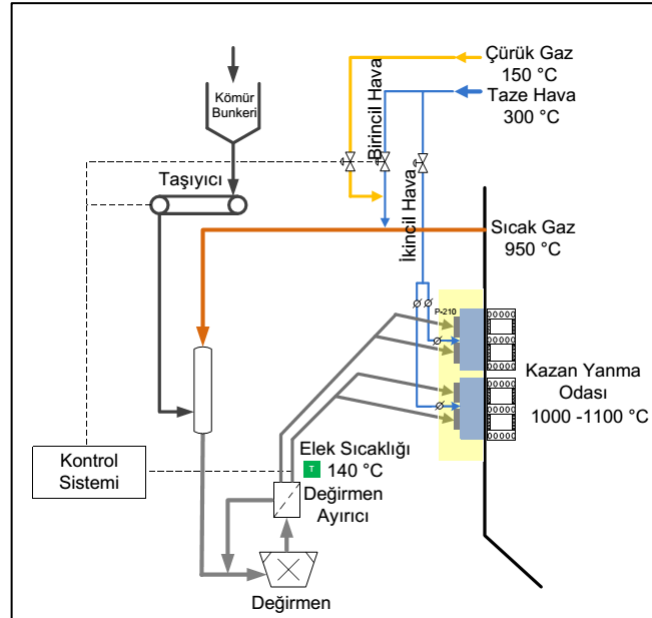
| Linyit İçeriği            |         |            |
|---------------------------|---------|------------|
| Isıl değeri               | kcal/kg | 2400 (±10) |
| Nem                       | %       | 27         |
| Kül (Kuru Baz)            | %       | 41         |
| Uçucu madde (Orjinal Baz) | %       | 16-35      |
| Kükürt                    | %       | 1,5        |
| Karbon                    | %       | 11-34      |
| Kül ergime sıcaklığı      | °C      | 1178       |

Tablo 3.3: Soma B Termik Santrali 2. Ünite kül içeriği.

| Kül İçeriği                    |   |      |
|--------------------------------|---|------|
| SiO <sub>2</sub>               | % | 62   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % | 27,8 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % | 4,2  |
| CaO                            | % | 0,8  |
| MgO                            | % | 0,6  |
| TiO <sub>2</sub>               | % | 0,8  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | % | 0,1  |
| SO <sub>3</sub>                | % | 0,1  |
| Alkaliler                      | % | 3,1  |

Soma B Termik Santrali 2. Ünite kazan ve yardımcı donanımlarına ait diğer tasarım bilgileri şöyledir:

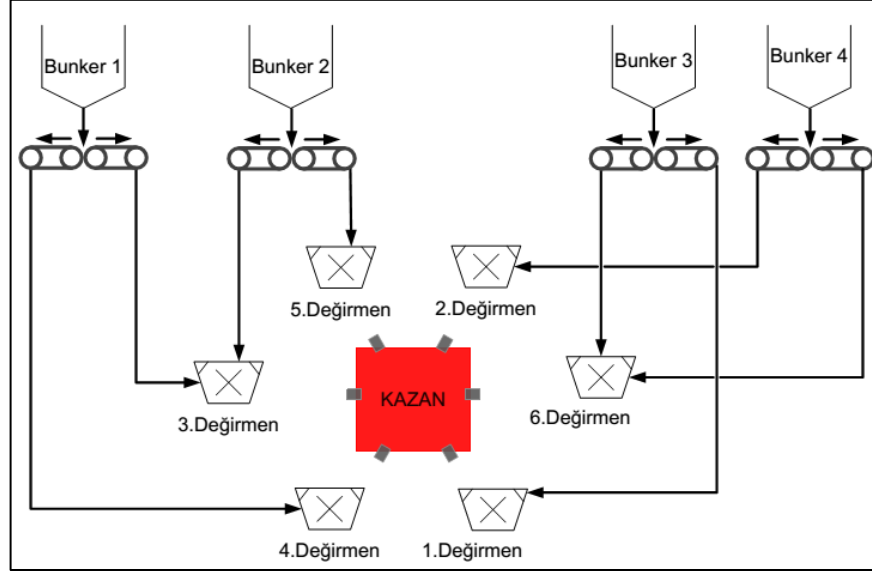
- 2. Ünitenin genel resmi Şekil 3.6'da verilmiştir.
- Değirmenleri besleyen toplam 4 adet kömür bunkerli vardır. Bunkerlere beslenen kömür 0-30mm boyutlarındadır.
- Kömür değirmende öğütüldükten sonra 13. ve 17. metre yükseklikte iki seviyede kazana altı değişik noktadan beslenir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: 2. Ünite kömür öğütme ve ateşleme sistemi.

- Her bir bunker çıkışında 2 adet kömür taşıyıcısı vardır. 1, 2, 4 ve 5. değirmeni besleyen bir taşıyıcı 3. ve 6. değirmeni besleyen 2 adet taşıyıcı olup, bunlar yedekli çalışırlar (Şekil 3.2).

- Kazan çalışma sırasında bir değirmen yedek olarak bekletilir (Şekil 3.3).



Şekil 3.2: 2. Ünite kömür besleme hatları.

- 13. metrede yanma odasını çevreleyen 6 tane sıvı yakıt yakıcısı vardır. Bu yakıcılar, kazan ilk ateşleneceği sırada ve kazan içinde olası alev kesintilerinde devreye girer.

- Elek sıcaklığı kritik kontrol parametresi olup değirmen sonrası gaz sıcaklığıdır. Değirmen yük artışında veya yük düşümünde etkin rol oynar.

- Mevcut işletmede, değirmen hız ve yük, birincil hava ve çürük gaz klape açıklık ayarları ile elek sıcaklığı istenilen aralıkta tutulmaya çalışılır.

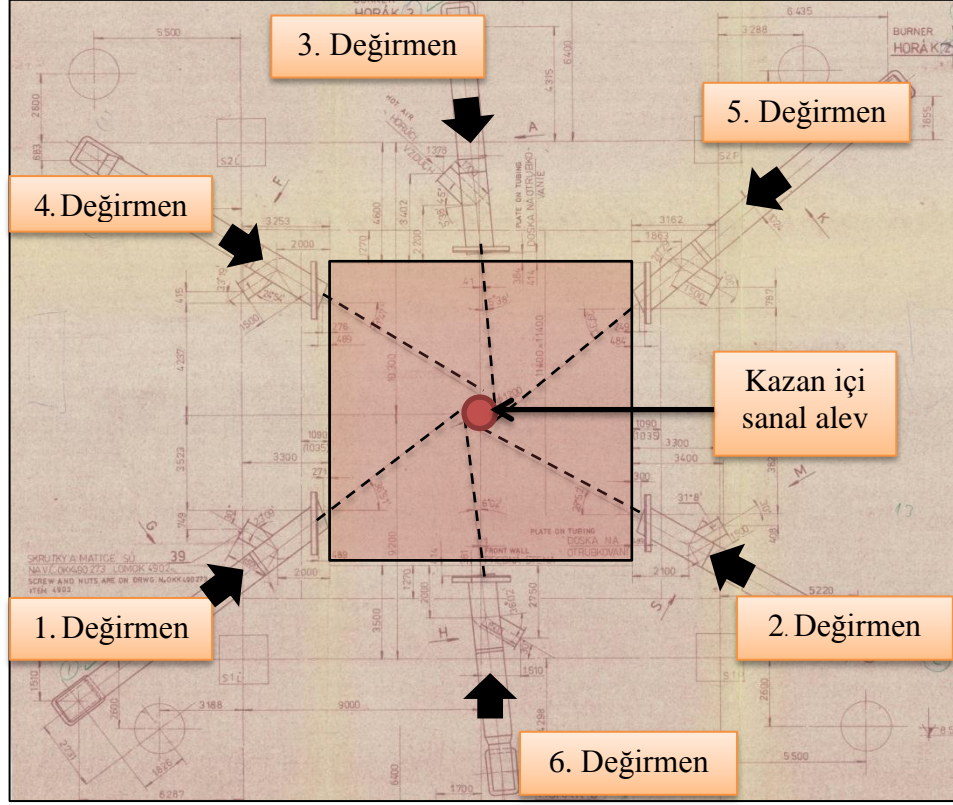
- Şekil 3.5'te görüldüğü üzere tüm yakıcı ağızları kazan içinde yatay eksende 15° aşağı doğru eğilimlidirler.

- Değirmene gelen kömür 30'uncu metre kazan yanma odası çıkışından çekilen sıcak gaz 950°C ile kurutulmaktadır.

- Yakma havası ikincil hava kanalları vasıtasıyla 6 yönden kazana beslenmektedir.

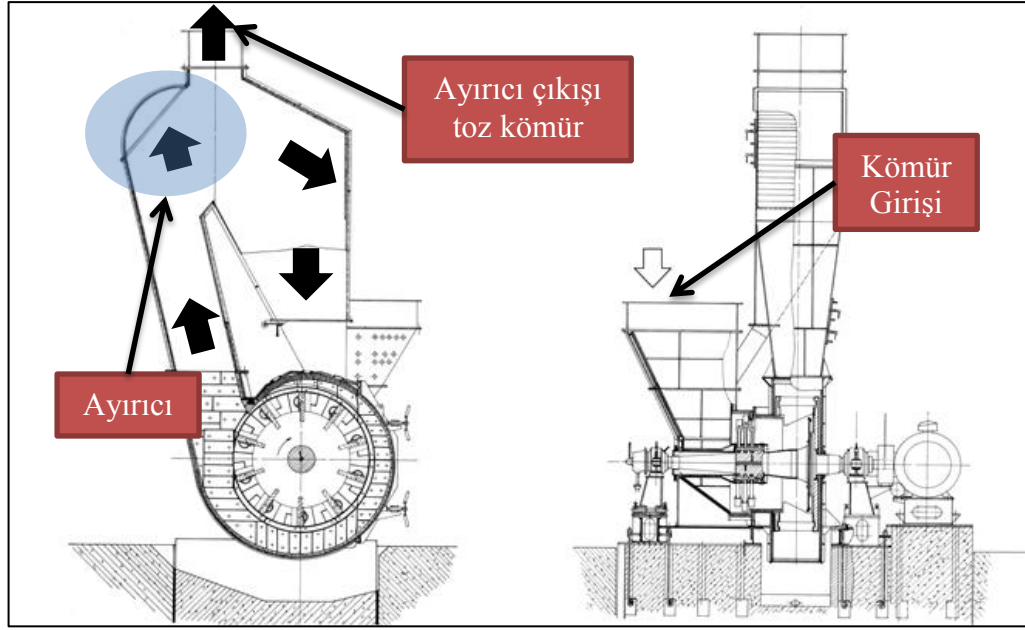
- Taze hava kasası 40 metre yükseklikte kazanı çevreler. 24'üncü metrede bulunan ayar klapeleri ile yakıcılara verilen hava ayarlanmaktadır.

- 13 ve 17'nci metre yakıcı girişlerinde elle kontrol edilebilir yakma havası yönlendirme klapeleleri mevcuttur.
- Kazan ön su ısıtıcısı gaz çıkışında ölçülen O<sub>2</sub> oranına göre hava debisi kontrol edilir [29].

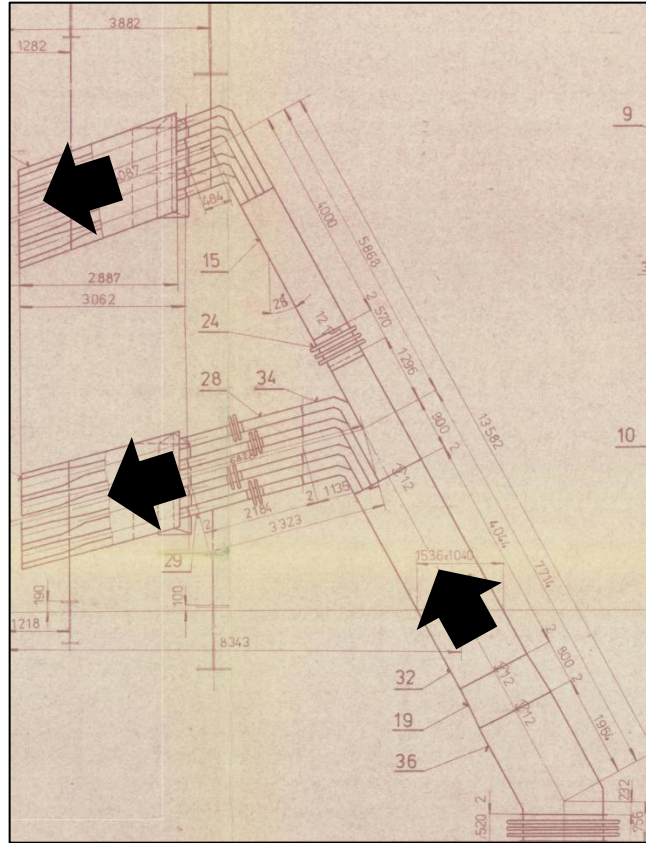


Şekil 3.3: 2. Ünite değirmen ve yakıcı kanallarının üstten kesit görünüşü.

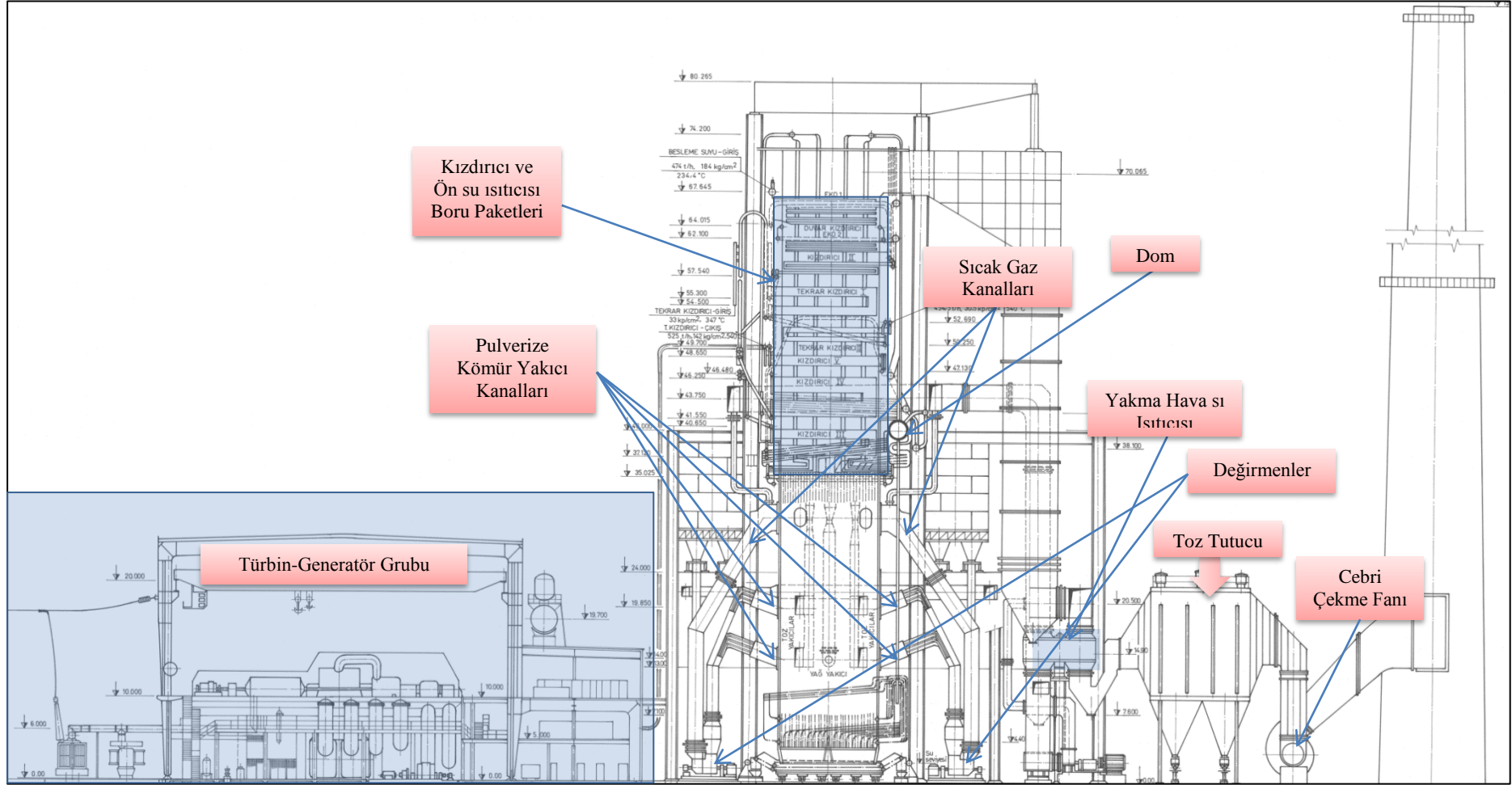




Şekil 3.4: 2. Ünite değirmenlerin teknik resmi.

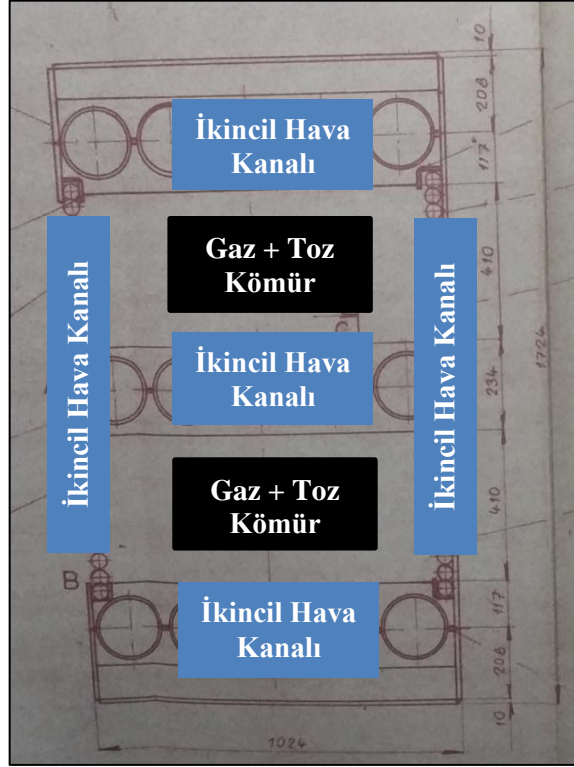


Şekil 3.5: 2. Ünite pulverize kömür kanallarının teknik resmi.



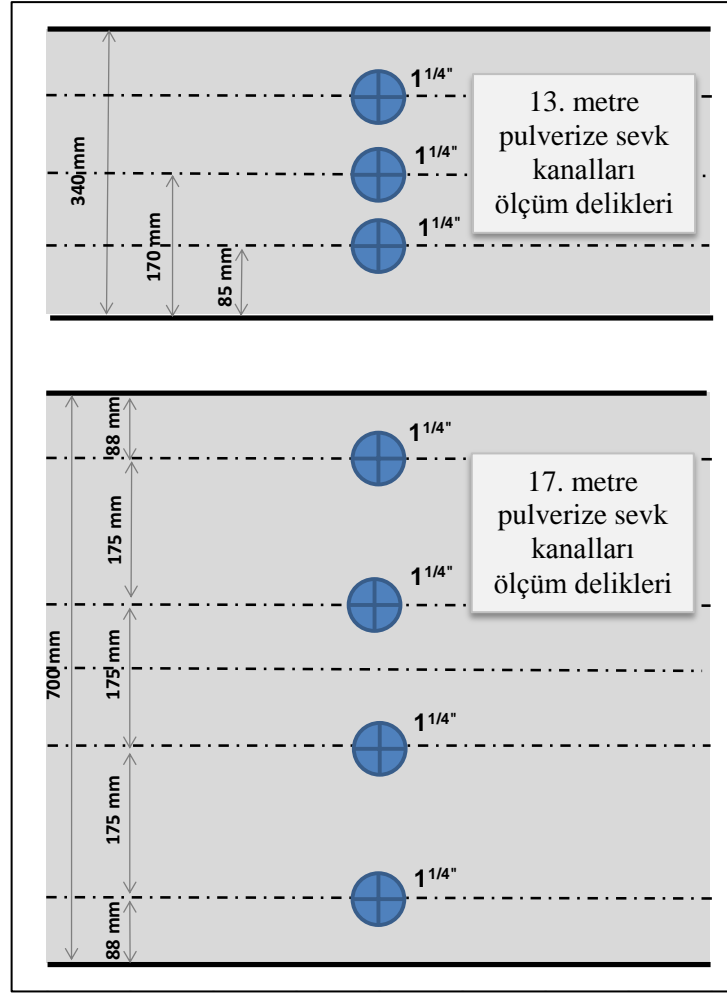
Şekil 3.6: Soma B Termik Santrali 2. Ünite genel teknik resmi.

Değirmen sonrası pulverize kömür kanallarında yapılacak kömür örnekleme ve kirli hava testleri için uygun ölçüm noktaları belirlenmiştir. 2. Ünite kazanını besleyen 6 adet değirmen vardır. Her bir değirmen 2 yakıcıyı beslemektedir. Değirmenden çıkan pulverize kömür hattı 13. ve 17. metrelerde ikiye sonra tekrar ikiye ayrılarak toplam 4 ayrı kanaldan kazana besleme yapılmaktadır. Kazan yakıcı girişi Şekil 3.7'deki gibidir [29].



Şekil 3.7: 2. Ünite kazanı pulverize kömür yakıcı girişi.

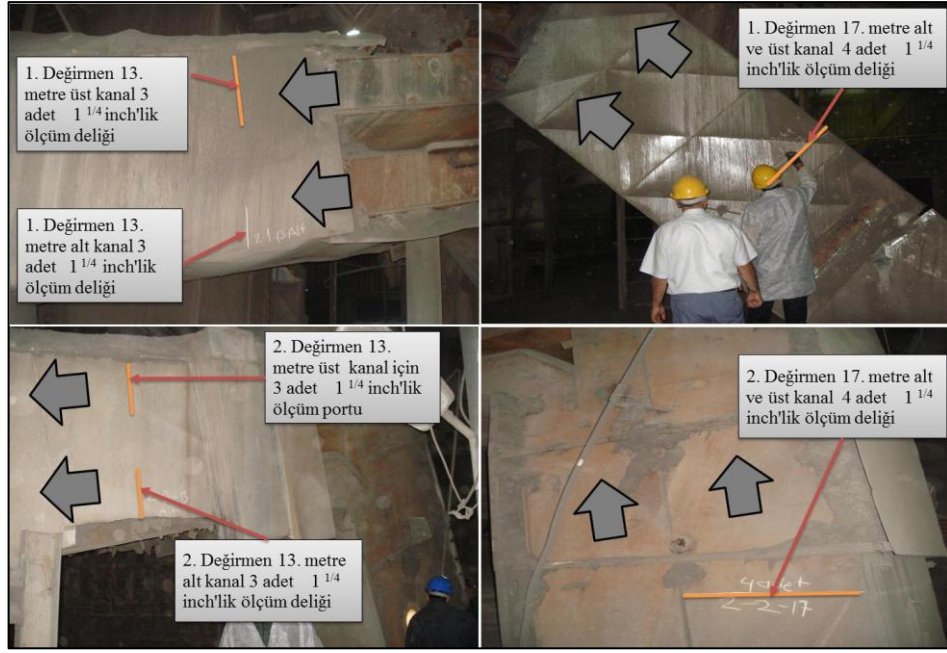
13'üncü metrede (12X3) 36 adet 1<sup>1/4</sup> inch'lik, 13'üncü metreden 17'nci metreye giden pulverize kömür kanallarında ise (6X4) 24 adet 1<sup>1/4</sup> inch'lik ölçüm deliği açılmıştır. Ölçüm delikleri ve pulverize kanalların teknik resmi Şekil 3.8'de verilmiştir.



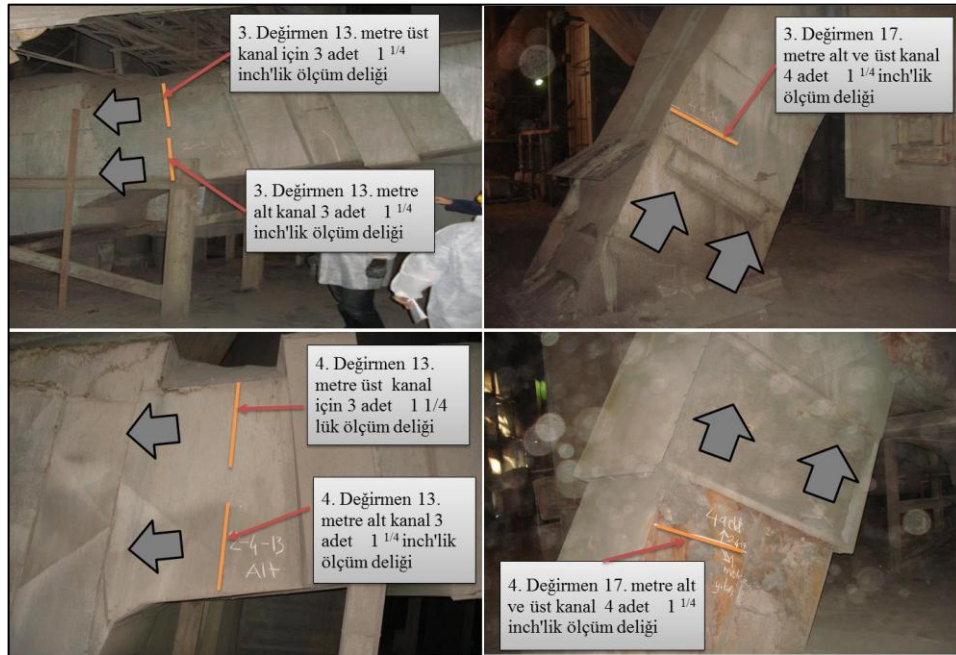
Şekil 3.8: Değirmen çıkışı pulverize kömür kanalı ve ölçüm noktaları.

Pulverize kömür sevk kanallarında belirlenen ölçüm konumları  
Şekil 3.9,

Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de verilmiştir. Yakıcı kanallarında ölçüm noktaları belirlenirken karışıklığı önlemek amacı ile kodlanmıştır. Toplam 60 adet ölçüm deliği vardır. Kodlama Tablo 3.4’te verilmiştir.

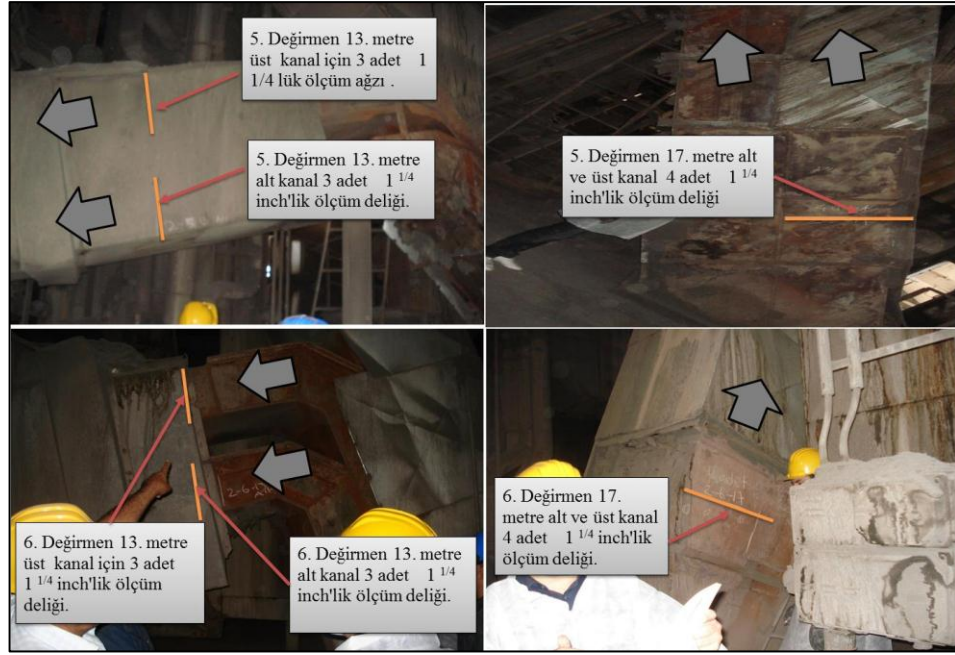


Şekil 3.9: 1. ve 2. Nolu pulverize kömür kanallarındaki ölçüm konumları.



Şekil 3.10: 3 ve 4 Nolu pulverize kömür kanallarındaki ölçüm konumları.





Şekil 3.11: 5 ve 6 Nolu pulverize kömür kanallarındaki ölçüm konumları.

Tablo 3.4: Ölçüm noktalarının kodlaması.

| No | Değirmen No | Yakıcı Kanal Yüksekliği | Üst/Alt Kanal | Ölçüm Noktası | Kodlama        |
|----|-------------|-------------------------|---------------|---------------|----------------|
| 1  | 1           | 13. metre               | alt           | A             | 1-13-alt-A     |
| 2  | 1           | 13. metre               | alt           | B             | 1-13-alt-B     |
| 3  | 1           | 13. metre               | alt           | C             | 1-13-alt-C     |
| 4  | 1           | 13. metre               | üst           | A             | 1-13-üst-A     |
| 5  | 1           | 13. metre               | üst           | B             | 1-13-üst-B     |
| 6  | 1           | 13. metre               | üst           | C             | 1-13-üst-C     |
| 7  | 1           | 17. metre               | alt ve üst    | A             | 1-13-alt&üst-A |
| 8  | 1           | 17. metre               | alt ve üst    | B             | 1-13-alt&üst-B |
| 9  | 1           | 17. metre               | alt ve üst    | C             | 1-13-alt&üst-C |
| 10 | 1           | 17. metre               | alt ve üst    | D             | 1-13-alt&üst-D |
| 11 | 2           | 13. metre               | alt           | A             | 2-13-alt-A     |
| 12 | 2           | 13. metre               | alt           | B             | 2-13-alt-B     |
| 13 | 2           | 13. metre               | alt           | C             | 2-13-alt-C     |
| 14 | 2           | 13. metre               | üst           | A             | 2-13-üst-A     |
| 15 | 2           | 13. metre               | üst           | B             | 2-13-üst-B     |
| 16 | 2           | 13. metre               | üst           | C             | 2-13-üst-C     |
| 17 | 2           | 17. metre               | alt ve üst    | A             | 2-13-alt&üst-A |
| 18 | 2           | 17. metre               | alt ve üst    | B             | 2-13-alt&üst-B |
| 19 | 2           | 17. metre               | alt ve üst    | C             | 2-13-alt&üst-C |
| 20 | 2           | 17. metre               | alt ve üst    | D             | 2-13-alt&üst-D |
| 21 | 3           | 13. metre               | alt           | A             | 3-13-alt-A     |
| 22 | 3           | 13. metre               | alt           | B             | 3-13-alt-B     |

Tablo 3.4: Ölçüm noktalarının kodlaması. Devam

|    |   |           |            |   |                   |
|----|---|-----------|------------|---|-------------------|
| 23 | 3 | 13. metre | alt        | C | 3-13-alt-C        |
| 24 | 3 | 13. metre | üst        | A | 3-13-üst-A        |
| 25 | 3 | 13. metre | üst        | B | 3-13-üst-B        |
| 26 | 3 | 13. metre | üst        | C | 3-13-üst-C        |
| 27 | 3 | 17. metre | alt ve üst | A | 3-13-alt ve üst-A |
| 28 | 3 | 17. metre | alt ve üst | B | 3-13-alt ve üst-B |
| 29 | 3 | 17. metre | alt ve üst | C | 3-13-alt ve üst-C |
| 30 | 3 | 17. metre | alt ve üst | D | 3-13-alt ve üst-D |
| 31 | 4 | 13. metre | alt        | A | 4-13-alt-A        |
| 32 | 4 | 13. metre | alt        | B | 4-13-alt-B        |
| 33 | 4 | 13. metre | alt        | C | 4-13-alt-C        |
| 34 | 4 | 13. metre | üst        | A | 4-13-üst-A        |
| 35 | 4 | 13. metre | üst        | B | 4-13-üst-B        |
| 36 | 4 | 13. metre | üst        | C | 4-13-üst-C        |
| 37 | 4 | 17. metre | alt ve üst | A | 4-13-alt ve üst-A |
| 38 | 4 | 17. metre | alt ve üst | B | 4-13-alt ve üst-B |
| 39 | 4 | 17. metre | alt ve üst | C | 4-13-alt ve üst-C |
| 40 | 4 | 17. metre | alt ve üst | D | 4-13-alt ve üst-D |
| 41 | 5 | 13. metre | alt        | A | 5-13-alt-A        |
| 42 | 5 | 13. metre | alt        | B | 5-13-alt-B        |
| 43 | 5 | 13. metre | alt        | C | 5-13-alt-C        |
| 44 | 5 | 13. metre | üst        | A | 5-13-üst-A        |
| 45 | 5 | 13. metre | üst        | B | 5-13-üst-B        |
| 46 | 5 | 13. metre | üst        | C | 5-13-üst-C        |
| 47 | 5 | 17. metre | alt ve üst | A | 5-13-alt ve üst-A |
| 48 | 5 | 17. metre | alt ve üst | B | 5-13-alt ve üst-B |
| 49 | 5 | 17. metre | alt ve üst | C | 5-13-alt ve üst-C |
| 50 | 5 | 17. metre | alt ve üst | D | 5-13-alt ve üst-D |
| 51 | 6 | 13. metre | alt        | A | 6-13-alt-A        |
| 52 | 6 | 13. metre | alt        | B | 6-13-alt-B        |
| 53 | 6 | 13. metre | alt        | C | 6-13-alt-C        |
| 54 | 6 | 13. metre | üst        | A | 6-13-üst-A        |
| 55 | 6 | 13. metre | üst        | B | 6-13-üst-B        |
| 56 | 6 | 13. metre | üst        | C | 6-13-üst-C        |
| 57 | 6 | 17. metre | alt ve üst | A | 6-13-alt ve üst-A |
| 58 | 6 | 17. metre | alt ve üst | B | 6-13-alt ve üst-B |
| 59 | 6 | 17. metre | alt ve üst | C | 6-13-alt ve üst-C |
| 60 | 6 | 17. metre | alt ve üst | D | 6-13-alt ve üst-D |

## 4. DEĞİRMEN ÖĞÜTME PERFORMANSININ TESPİTİ

### 4.1. Pulverize Kömür Örnekleme Ölçümleri

Pulverize kömür yakma sistemlerinde değirmenler kömürün istenen boyutta öğütülmesini ve öğütülmüş olan kömürün yakıcılara hava ile iletilmesini sağlayan donanımlardır. Burada yakıcılara iletimi sağlayan hava, birincil hava olarak anılmaktadır. Değirmenlerde birincil havanın iki görevi vardır. Bunlar, öğütülmüş kömürün yakıcılara iletilmesini sağlamak ve kömüre ısıyı vererek kömürün yüzeysel ve içsel neminin buharlaşmasına yardımcı olmaktır.

Mevcut durumda ünite, değirmenlere birincil hava olarak ön ısıtıcılardan çıkan ~300 °C mertebesinde taze hava kullanılmamakta, ihtiyaç durumunda elek sıcaklığını tutturmak için soğuk gaz devirdaimi yapılmaktadır. Esas itibari ile değirmenlerde kurutmayı ve akışı sağlayan ana akışkan, kazandan çekilen sıcak gazdır.

Literatürde kömür ve birincil hava değirmende karıştıktan sonra, kirli hava karışımı olarak anılmakta olup, bu havanın yakıcılara eşit olarak dağıtılması önemlidir. Burada oluşabilecek dengesizlikler kömürün yakıcılara eşit olarak dağıtılmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Yakıcılara giden kömür ve havanın dengesi konusunda kabul edilmiş standartlar ise şöyledir.

- Değirmenlerin her bir yakıt kanallarında kirli hava dengesi  $\pm\%5$  aralığında olmalıdır.
- Değirmenlerin her bir yakıt kanallarında yakıt dengesi  $\pm\%10$  aralığında olmalıdır [19].

Pulverize kömür yakıtlı termik santrallarda hava ve yakıt dengesi, aşağıdaki çalışma şartlarını sağlayacağından verimli işletme açısından büyük önem taşımaktadır.

- Külde kabul edilebilir seviyede yanmamış karbon elde edebilmek için,
- Kazan boyunca homojen ısı transferini sağlayabilmek için,



- Cürufanma ve kirlenme eğilimlerini azaltabilmek için,
- Yanma bölgesi ve kazan çıkış baca gazı sıcaklıklarını tasarım aralığında tutabilmek için,
- Kazan borularının aşırı ısınmalarının önüne geçebilmek için.

Pulverize kömür sevk kanalları boyunca kömür-hava dağılımını etkileyen birçok etmen vardır. Bunlar:

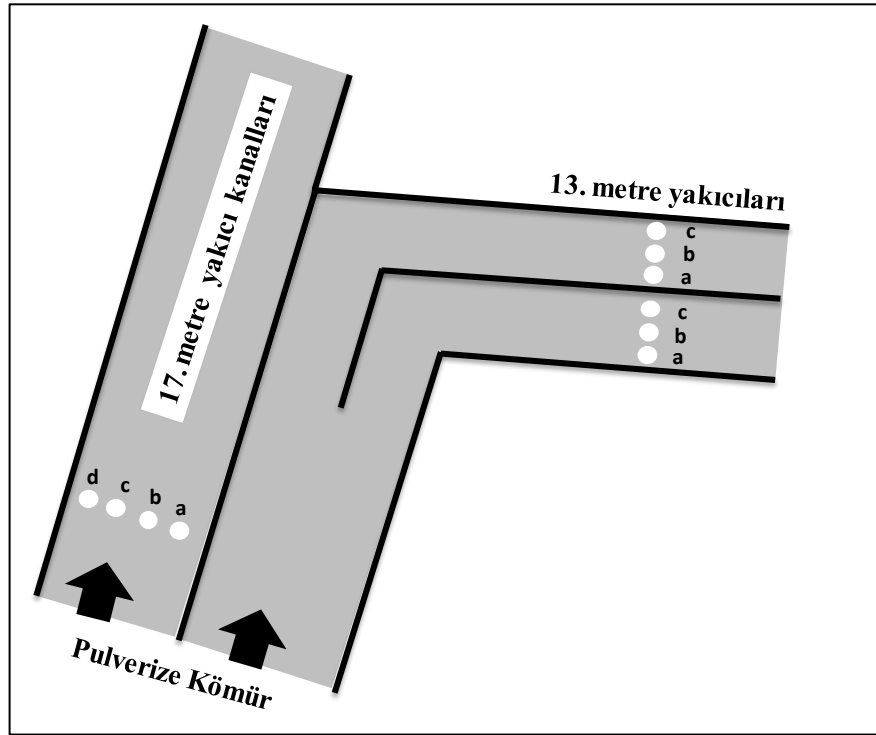
- Değirmen çıkışındaki kömür tane boyut büyüklükleri,
- Yakıcı kanallarındaki basınç dirençleri,
- Yakıtı göre ayarlanan ve değirmenlere verilen toplam hava veya gaz miktarı,
- Yakıcı kanallarındaki hızlar,
- Değirmen sonrası ayırma sistemlerinin (elek, sayırıcı) bakımları.

Kömürün nemi, değirmene girmeden önce kazan çıkışından alınan yüksek sıcaklıktaki gaz ile karıştırılarak yanma öncesinde düşürülmektedir. Bu durum, elek sıcaklık kontrolü ile yapılmakta olup, değirmen çıkışı elek sıcaklığı arttığında, gaz devirdaim fanı ile soğuk gaz verilerek elek sıcaklığı istenilen dereceye ayarlanmaktadır. 2. Ünite kazanına ait değirmenler ile ilgili tasarım bilgileri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Soma B Termik Santralı 2.Ünite değirmen özellikleri.

|  |                      |
|--|----------------------|
| Değirmen tipi                                  | Çekiçli, Savurmalı   |
| Sayısı   | 6 adet ( 5+1 yedek)  |
| Maksimum Kapasitesi                            | 37 ton/saat          |
| Kömür öğütme boyutu 1mm altında                | %97-98               |
| Kömür öğütme boyutu 1mm içinde 0,09 mm altında | 50%                  |
| Değirmen çıkışı elek sıcaklığı                 | 140°C                |
| Değirmen çıkışı gaz sıcaklığı çalışma aralığı  | 100-180°C            |
| Değirmen çıkışı trip sıcaklığı                 | 220°C’den büyük eşit |
| Değirmen işletme hızı                          | 450-650 devir/dk.    |
| Maksimum hızda değirmen çıkış gaz hacmi        | 25 m <sup>3</sup> /s |
| Maksimum fan hızı                              | 90m/s                |
| Kazandan çekilen gaz sıcaklığı                 | 925°C                |

Testler sırasında 2.Ünite'ye ait bütün değirmen sonrası pulverize kömür/gaz kanallarında ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerde, öncelikle statik ve dinamik basınç ölçümleri ile hızlar ölçülmüş, Şekil 4.2 ve ardından buna bağlı olarak eşkinetik şartlarda kanallardan kömür numuneleri alınmıştır (Şekil 4.3). Bu ölçümlerin amacı kazana değişik yüksekliklerde ve konumlarda beslenen kömür/gaz karışımlarının miktarlarını ölçmek ve varsa yakıt/gaz dengesizliklerini belirlemektir. Bu sebeple ölçümlerden önce, Şekil 4.1'de gösterildiği gibi her bir değirmenden 13'üncü metredeki herbir yakıcı kanalına üçer adet ve 17'nci metredeki 2 yakıcıya giden kanala dörder adet 1 ¼ inch 'lik ölçüm deliği açılmıştır.



Şekil 4.1: Değirmen çıkışı pulverize kömür kanallarında ölçüm noktaları.

Her bir ölçüm deliğinden içeriye doğru 12-13 noktada ölçüm yapılmıştır. Kullanılan ölçüm ağızları ve sıklığı yapılan ölçümlerin doğruluk derecesini oldukça arttırmıştır. Alınan kömür numunelerine dayanılarak yapılan kömür debi hesapları ile kömür taşıyıcısı hızına göre hesaplanan kömür debi miktarları arasında bir fark görülmektedir. Bu farkın büyük bir kısmının kömür kurutma için sıcak gaz kanalından çekilen gaz içerisindeki kül olduğu düşünüldüğünde; bu tip kömür ölçümleri için sözü edilen bu fark normal olarak kabul edilebilir.

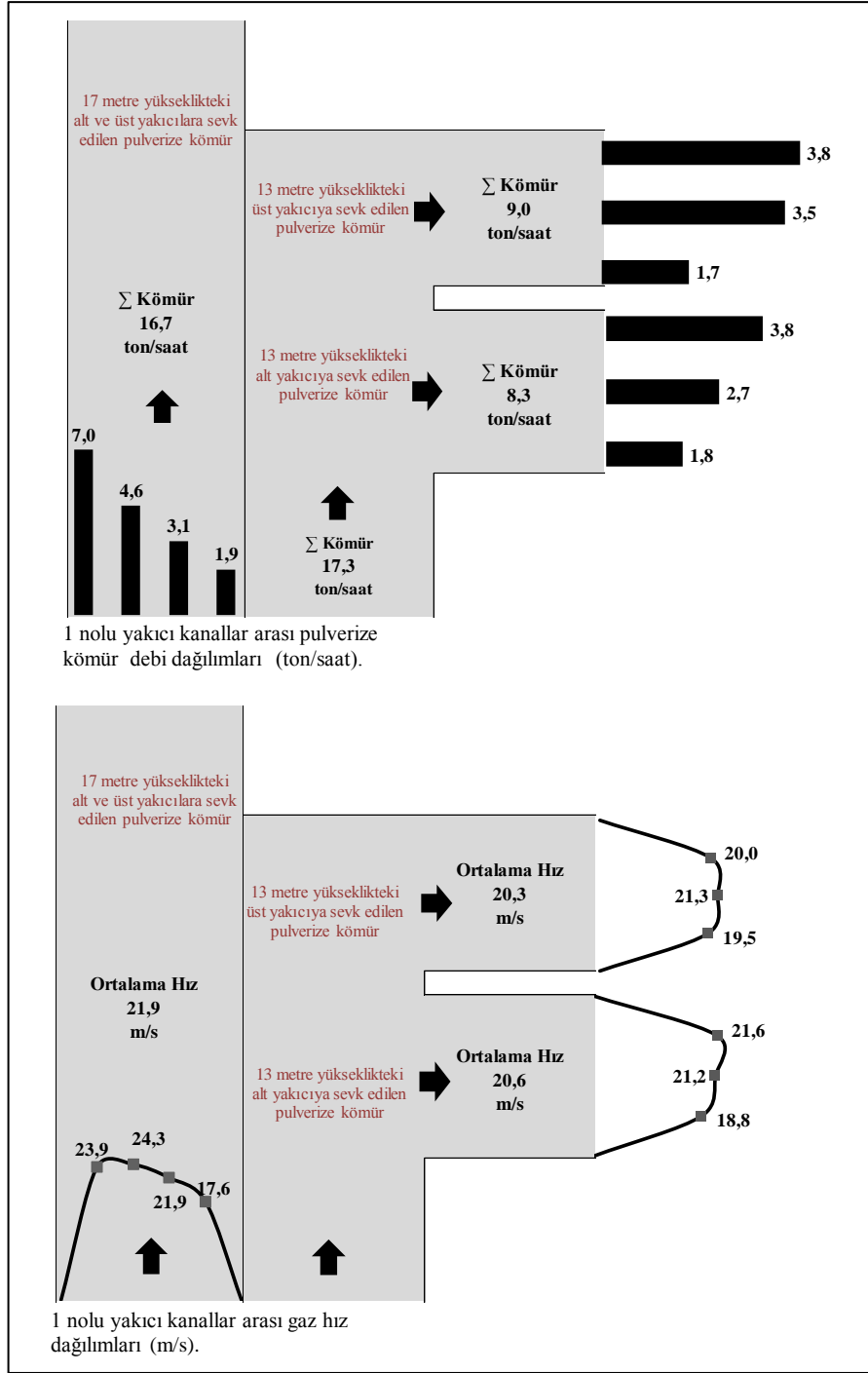


Şekil 4.2: Yakıcı kanalı hız ölçümü.

Her bir değirmenin rahat olarak çalışabileceği maksimum yüke sabitlenerek kömür/gaz ölçümleri yapılmıştır. Ünite de değirmenlerin çıkışından yakıcılara giden kömür debisini ayarlamak için herhangi bir ayar klapesi bulunmamaktadır. Ölçümlerde elde edilen sonuçlar Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir.

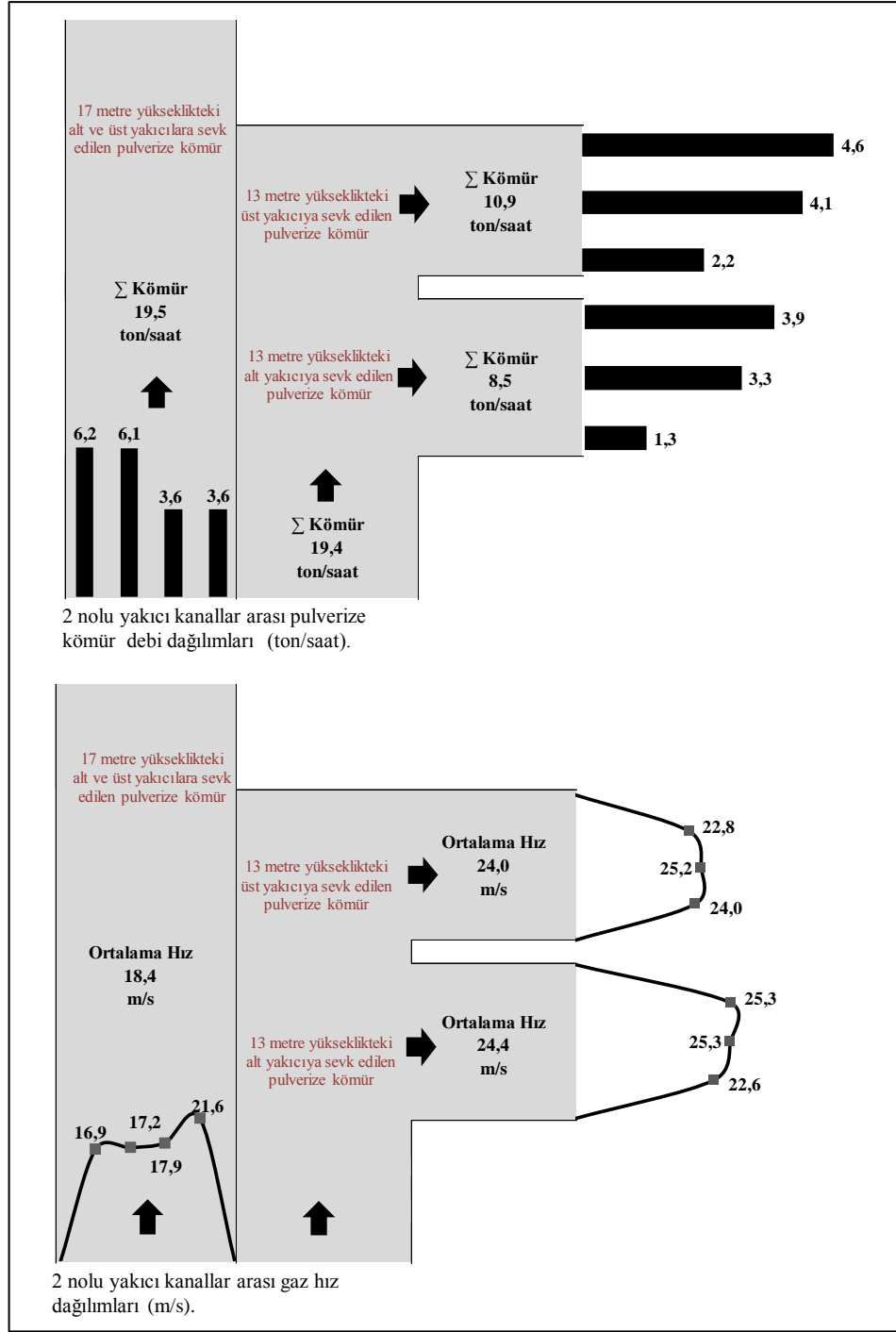


Şekil 4.3: Yakıcı kanalında eşkinetik kömür örnekleme ölçümü.



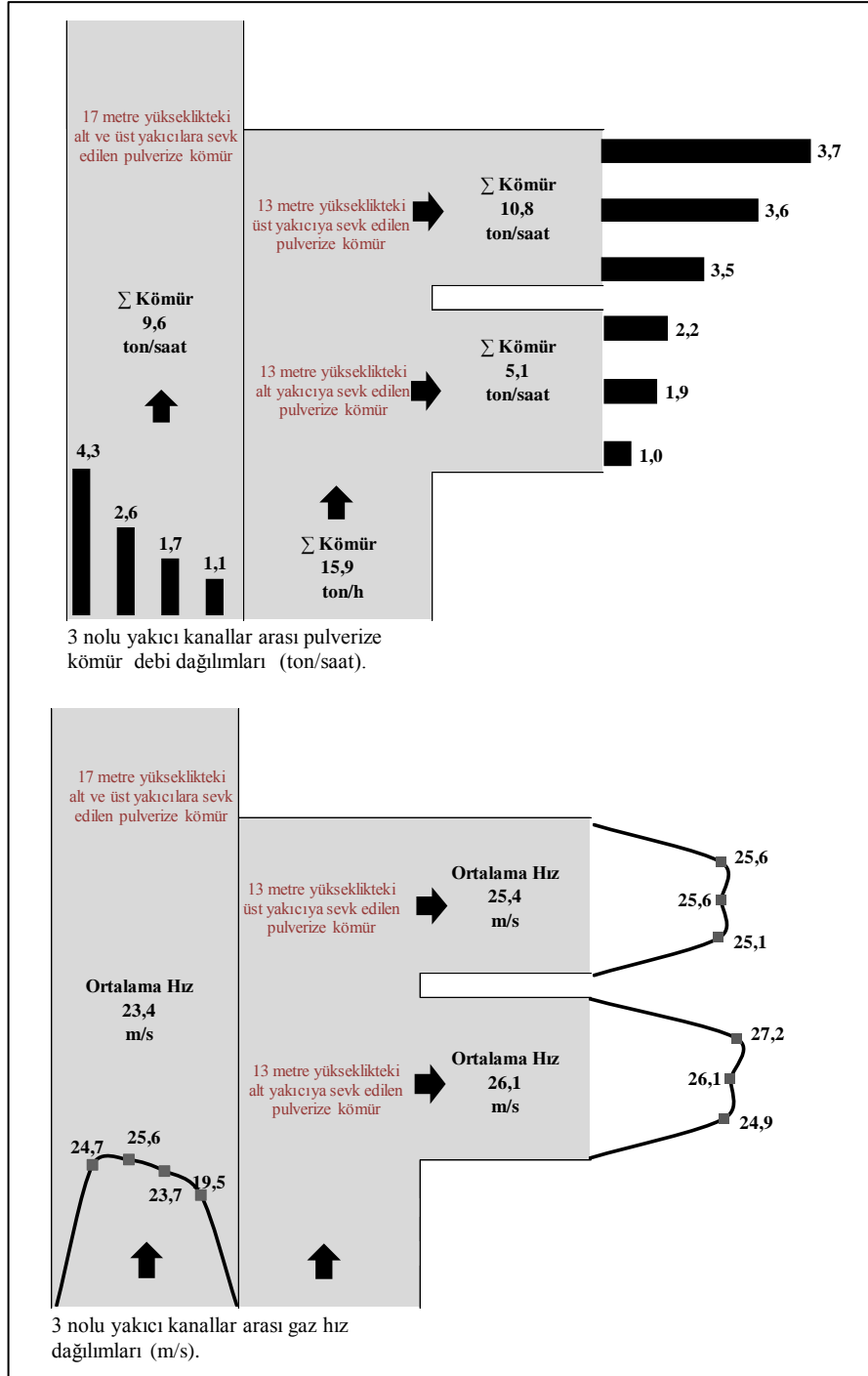
Şekil 4.4: 1 Nolu yakıcı kanallarında yapılan ölçümlerin sonuçları.

1 Nolu yakıcı kanallarında, ortalama %76,7 taşıyıcı hızında toplam kömür debisi 34 ton/saat olarak ölçülmüştür. Bu kömürün, 13. ve 17. metrelerdeki yakıcılara dağılımı yaklaşık eşit olarak gerçekleşmiştir. Yine aynı şekilde 13. metredeki yakıcılar arasındaki dağılım da eşit olarak gerçekleşmiştir. Yakıcı kanallarındaki ortalama gaz hızı 17. metre yakıcı kanalı için 21,9m/s; 13. metre yakıcı kanalında ise 20,5m/s olarak gerçekleşmiştir.



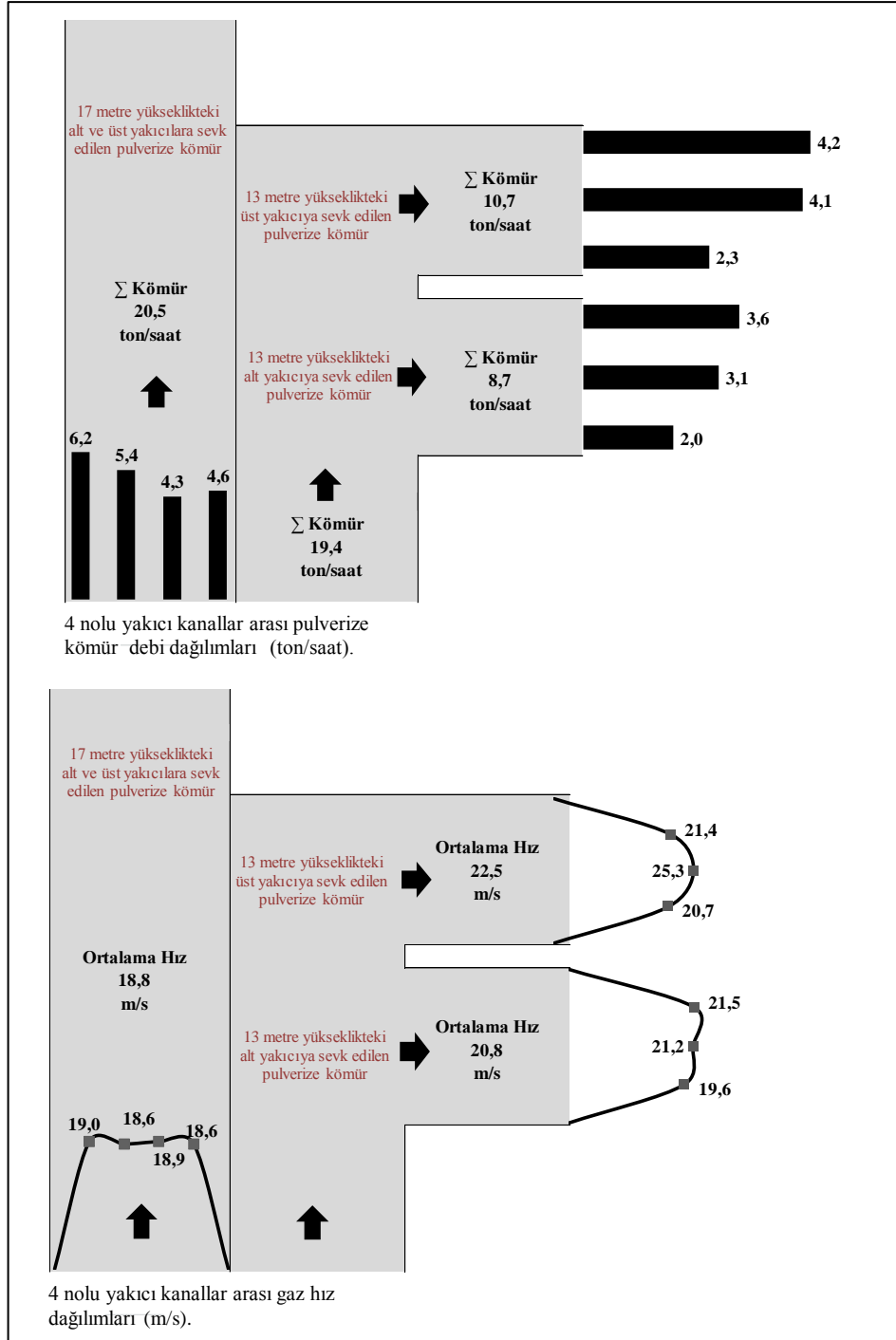
Şekil 4.5: 2 Nolu yakıcı kanallarında yapılan ölçümlerin sonuçları.

2 Nolu yakıcı kanallarında, ortalama %90,6 taşıyıcı hızında toplam kömür debisi 38,9 ton/saat olarak ölçülmüştür. Bu kömürün, 13. ve 17. metrelerdeki yakıcılara dağılımı eşit olarak gerçekleşmiştir. 13. metredeki yakıcılar arasındaki dağılımları ise %22 ve %28 oranlarında gerçekleşmiştir. Yakıcı kanallarındaki ortalama gaz hızı, 17. metre için 18,4m/s; 13. metre için ise 24,2m/s olarak gerçekleşmiştir.



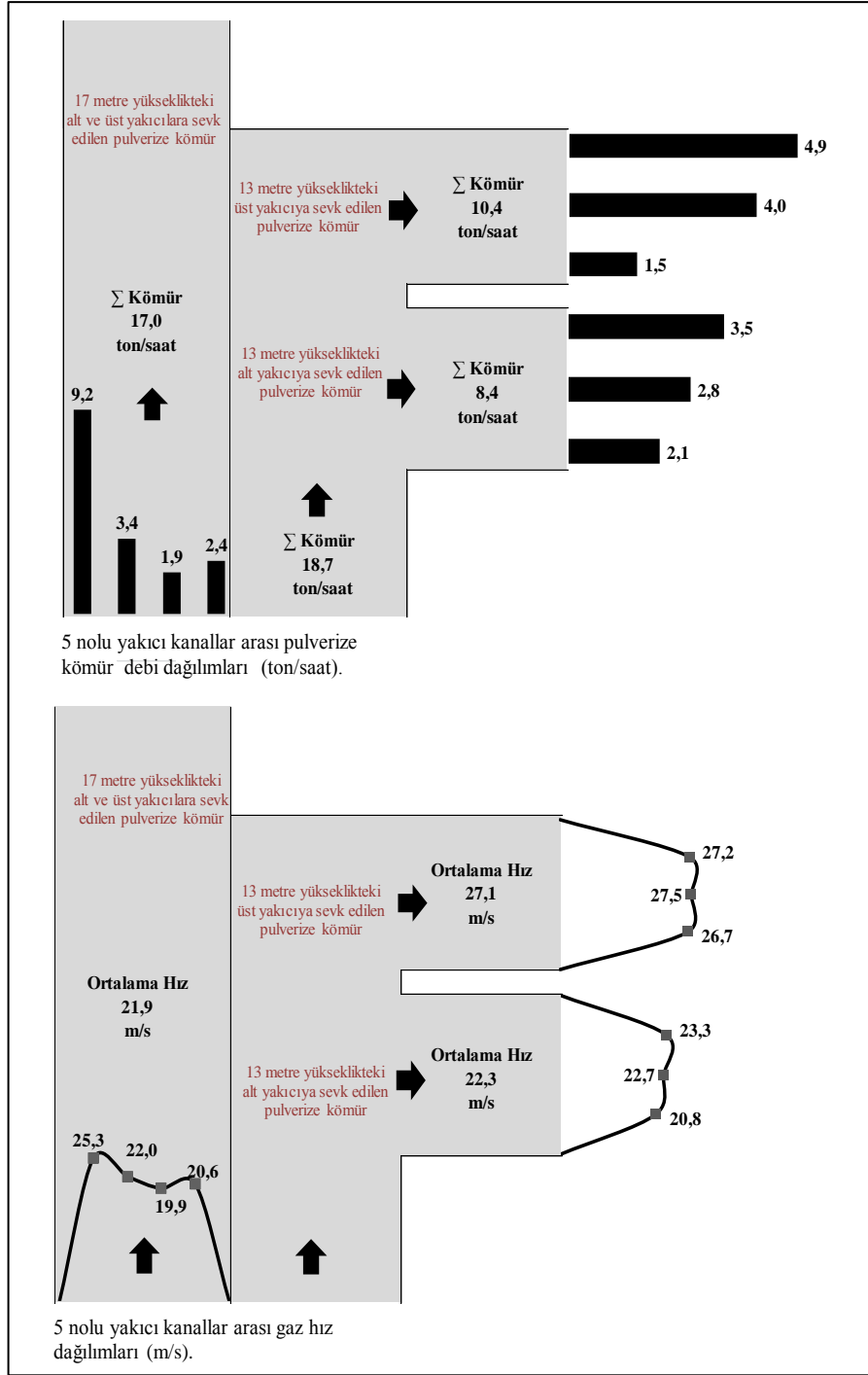
Şekil 4.6: 3 Nolu yakıcı kanallarında yapılan ölçümlerin sonuçları.

3 Nolu yakıcı kanallarında, ortalama %85,3 taşıyıcı hızında toplam kömür debisi 25,5 ton/saat olarak ölçülmüştür. Bu kömürün, 13. ve 17. metrelerdeki yakıcılara dağılımı 15,9 ton/saat ve 9,6 ton/saat olarak gerçekleşmiştir. 13. metredeki yakıcılar arasındaki dağılımlar da ise % 23 oranında farklılık vardır. Yakıcı kanallarındaki ortalama gaz hızı, 17. metre yakıcı kanalı için 23,4m/s; 13. metre yakıcı kanalında ise 25,8m/s olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.7: 4 Nolu yakıcı kanallarında yapılan ölçümlerin sonuçları.

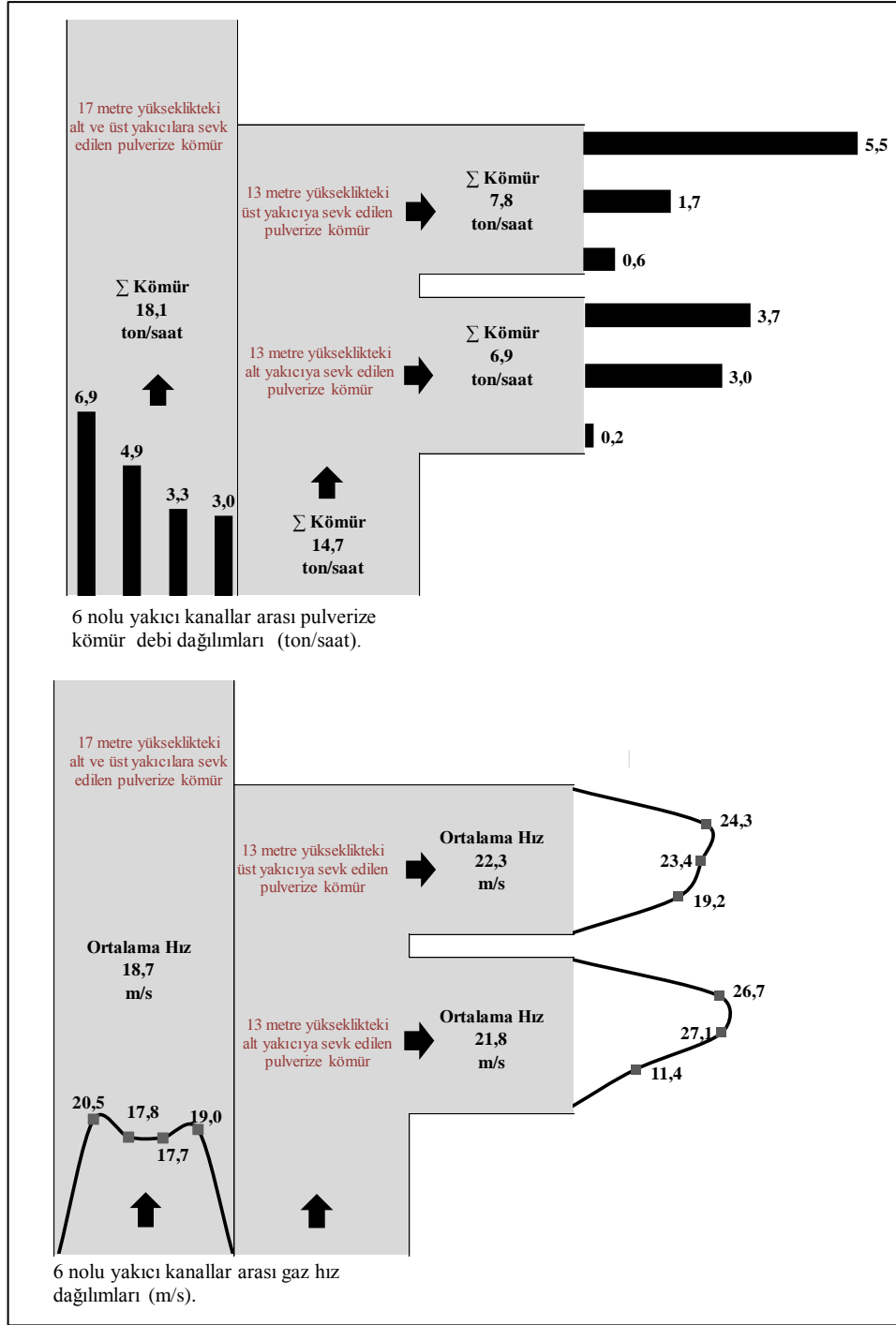
4 Nolu yakıcı kanallarında, ortalama %85,3 taşıyıcı hızında toplam kömür debisi 39,9 ton/saat olarak ölçülmüştür. Bu kömürün, 13. ve 17. metrelerdeki yakıcılara dağılımı 19,4 ton/saat ve 20,5 ton/saat olarak gerçekleşmiştir. 13. metredeki yakıcılar arasındaki dağılımlar da ise %5'lik farklılık vardır. Yakıcı kanallarındaki ortalama gaz hızı, 17. metre yakıcı kanalı için 18,8m/s; 13. metre yakıcı kanalında ise 21,5m/s olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.8: 5 Nolu yakıcı kanallarında yapılan ölçümlerin sonuçları.

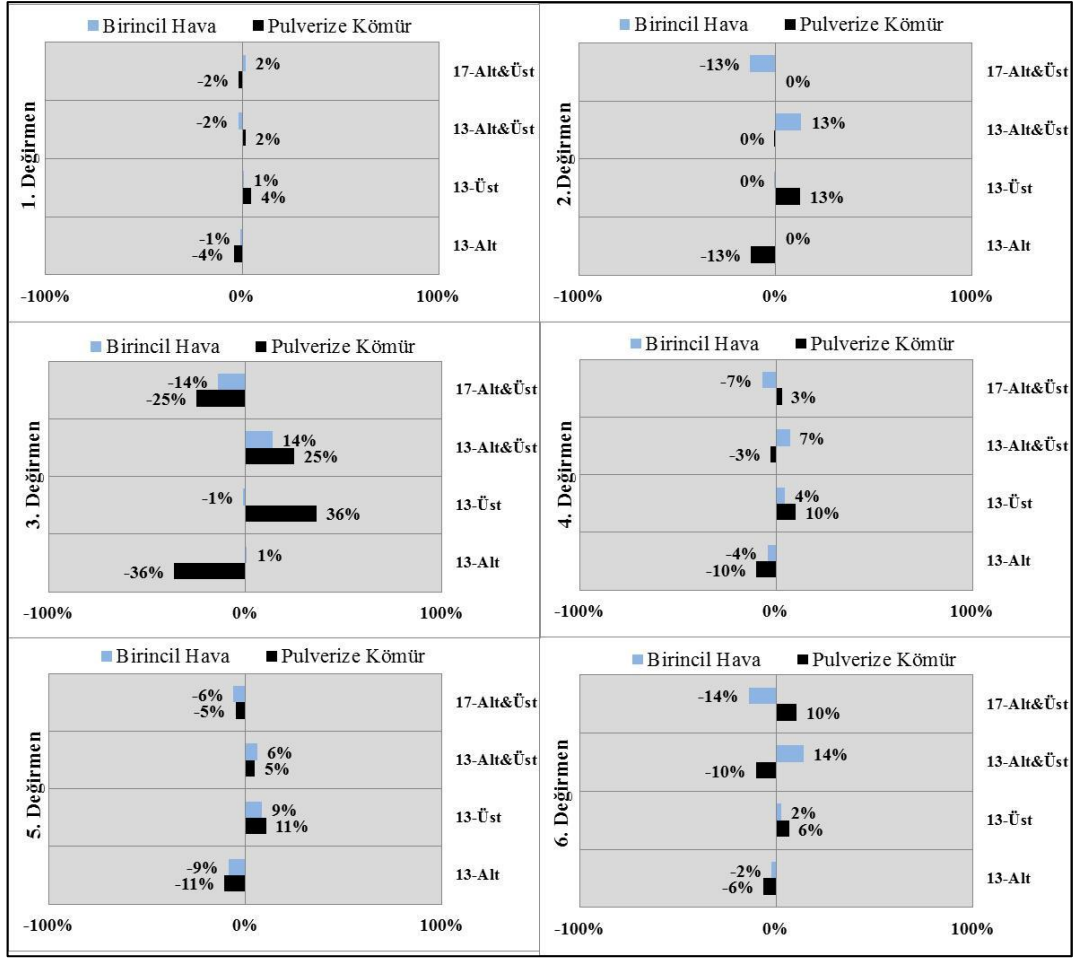
5 Nolu yakıcı kanallarında, ortalama %75,8 taşıyıcı hızında toplam kömür debisi 35,7 ton/saat olarak ölçülmüştür. Bu kömürün, 13. ve 17. metrelerdeki yakıcılara dağılımı 18,7 ton/h ve 17 ton/holarak gerçekleşmiştir. 13. metredeki yakıcılar arasındaki dağılımları ise 8,4 ton/saat ve 10,4 ton/saat olarak gerçekleşmiştir. Yakıcı kanallarındaki ortalama gaz hızı, 17. metre yakıcı kanalı için 21,9m/s, 13. metre yakıcı kanalında ise 22,3 ve 27, m/s olarak gerçekleşmiştir.





Şekil 4.9: 6 Nolu yakıcı kanallarında yapılan ölçümlerin sonuçları.

6 Nolu yakıcı kanallarında, ortalama %89,4 taşıyıcı hızında toplam kömür debisi 32,8 ton/saat olarak ölçülmüştür. Bu kömürün, 13. ve 17. metrelerdeki yakıcılara dağılımı 14,7 ton/saat ve 18,1 ton/saat olarak gerçekleşmiştir. Yine aynı şekilde 13. metredeki yakıcılar arasındaki dağılımları ise 6,9 ton/saat ve 7,8 ton/saat olarak gerçekleşmiştir. Yakıcı kanallarındaki hız ortalama, 17. metre yakıcı kanalı için 18,7m/s, 13. metre yakıcı kanalında ise 21,8 ve 22,3m/s olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.10: Yakıcı kanallarında pulverize kömür ve birincil hava dağılımları.

Şekil 4.10'da görüldüğü üzere, 1, 2, 4, 5 ve 6 no'lu değirmenlerden 13. ve 17. metreye giden pulverize kömür kanallarında kömür/gaz dağılım farklılıkları %10 ve içinde olması, dağılımın iyi olduğunu göstermektedir. 3 no'lu değirmende ise bu durum farklı olup fark %25 mertebesinde gerçekleşmiş olup, bu değer olması gereken %10 toleranstan daha fazladır. 13. metre yakıcılarıdaki dağılıma bakıldığında ise 1, 4 ve 6 no'lu değirmendeki dağılım toleransın içinde gerçekleşmiştir. Özellikle 3 no'lu değirmende 13. metredeki alt ve üst yakıcılar arasındaki dağılım farkı iki katına kadar çıkmıştır.

Yakıcı kanalları ve ayırıcı tasarımına bağlı olarak yakıcı ucu çıkışındaki kömür dağılımında aşırı derecede yığılma gözlemlenmektedir. Her bir yakıcı ucunda üst ve alt kısımlardaki kömür dağılımı dengesiz olup, istenmeyen bir durumdur.

Kazan içerisinde, yanma sırasında yerel olarak yanma sitokiyometrisi değişerek zengin yakıt bölgeler oluşturulur. Hem yakıtın yoğunlaşmış olması, hem de yanma havasının bu yakıt ile tepkimeye girecek kadar yeterli olmamasından

dolayı yanma tamamlanamaz ve bunun sonucu olarak hem kül içerisindeki yanmamış karbon miktarı artar hem de yanma kazan çıkışında da devam ederek taşınım bölgesine taşınır ki bu bölgedeki kızdırıcı boru yüzeylerinde cürufılanmayı hızlandırır.

Soma B Termik Santralı 2. Ünitesinin kül ve cüruftaki yanmamış karbon oranının fazla olması göz önünde bulundurularak bu durumun düzeltilmesi için kömürün yakıcı ucunda mümkün olduğu kadar homojen dağıtılması önemlidir. Bu ise yakıcı ucundan önce yapılacak bir tasarım değişikliği ile mümkün olabilir.

Tablo 4.2: Pulverize kömür kanallarında ortalama gaz hızları.

| Ortalama Gaz Hızları m/s |                         |                                    |                                    |
|--------------------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Değirmen No              | 17. metreye giden kanal | 13. metre alt yakıcıya giden kanal | 13. metre üst yakıcıya giden kanal |
| 1                        | 21,9                    | 20,6                               | 20,3                               |
| 2                        | 18,4                    | 24,4                               | 24,0                               |
| 3                        | 23,4                    | 26,1                               | 25,4                               |
| 4                        | 18,8                    | 20,8                               | 22,5                               |
| 5                        | 21,9                    | 22,3                               | 27,1                               |
| 6                        | 18,7                    | 21,8                               | 22,3                               |

Yakıcı kanallarında gerçekleşen pulverize kömür hızları Tablo 4.2’de verilmiştir. Pulverize linyit yakıtlı termik santrallarda olması gereken minimum hız değerine (17-19m/s) göre yüksek gerçekleşmiştir [30]. Literatüre göre bu kanallardaki hızın üst sınırı ise 28 m/s’dir [31].

Yakıcı girişinde minimum hız yaklaşık 20,3m/s, maksimum hız ise 27,1m/s olarak gerçekleşmiştir. Bu değer için ünite işletme talimatında herhangi bir bilgi verilmediğinden diğer santralların yakıcı girişi hız değerleri 17-19 m/s ile karşılaştırıldığında, bu hızların yüksek olduğu görülmektedir. Bu hızı belirleyen unsur değirmenlerin dönme hızlarıdır. Santralda bu hız, değirmenlerin el verdiği ölçüde maksimumda tutulmakta olup kumanda odasından ayarlanabilen bir parametredir.

Yakıcıların kazana aşağıya doğru belli bir açıda yerleştirildiği de dikkate alındığında, hızın yakıcı ucunda yüksek olmasının bazı sakıncaları vardır. Bunlar şöyle sıralanabilir.

Kömür gaz karışımı yakıcı ucunda hızlı olduğunda yanma için kömüre verilmesi gerekli ikinci havanın nüfuzu zayıf olur. Bu durum ise yakıt hava karışımının kazan içinde yavaş olmasına sebep olur. Bu yanma şekli, uzun alevlerin geriye doğru kıvrılarak dengesiz bir yanmanın oluşumuna, aynı zamanda yanmanın, yakıcı uçundan daha uzakta gerçekleşmesine neden olur. Bunun sonucu zayıf yakıt hava karışımı, kazan içinde oksijen ve sıcaklıkların dağılımında dengesizlikler oluşturur.

## 4.2. Pulverize Kömür Tane İriliğinin Tayini

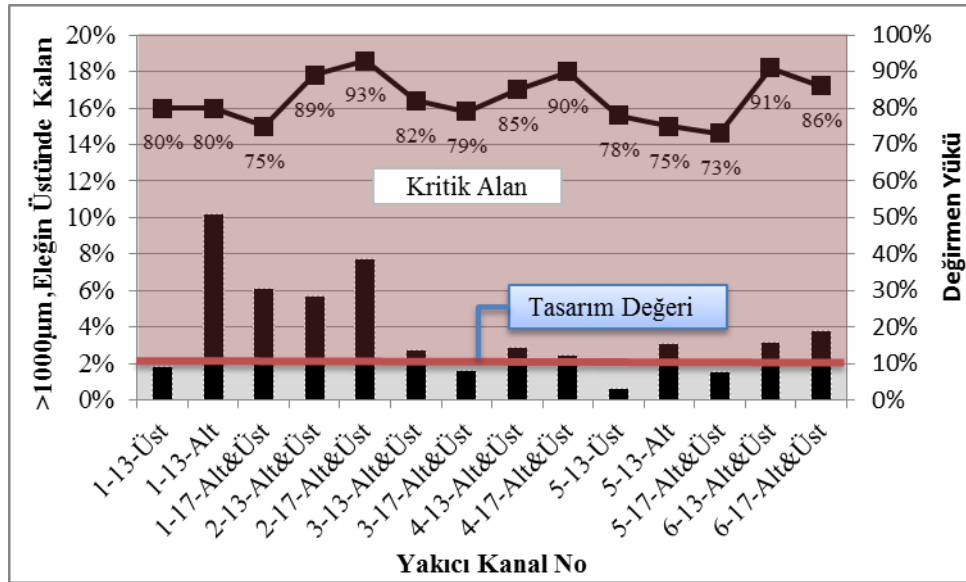
Pulverize kömür yakıtlı santrallarda değirmen, kömürü öğüten; ayırıcı ise boyutu büyük olan pulverize kömürleri ayırarak tekrar değirmene yönlendirilmesini sağlayan donanımdır. Değirmen ile ayırıcının birlikte performansı, kömürü istenilen boyuta öğütüp öğütemediği ile ölçülmektedir. Bu kapsamda değirmenlerden yakıcılara giden pulverize kömür kanallarından eşkinetik şartlarda alınmış numunelere elek analizi yapılmıştır. Alınan bu numuneler, sırasıyla 1120, 850, 500,315, 140, 100, 90 ve 71  $\mu\text{m}$  göz aralığına sahip eleklerle elenerek değirmenin öğütme ve ayırma performansına bakılmıştır.

Santral tasarımında, değirmende öğütülen ve yakıcılara verilen kömür boyutunun, miktar olarak %98'inin 1000 $\mu\text{m}$ 'nin; %50'sinin ise 90  $\mu\text{m}$ 'nin altında olması öngörülmüştür [31]. Pulverize kömür santrallarında kazan içerisinde optimum yanmanın sağlanabilmesi için değirmen ve ayırıcıdan beklenen; minimum, %75 oranında 74  $\mu\text{m}$ 'nin altındaki pulverize kömürün yakıcılara gönderilmesinin sağlanması ve bu pulverize kömürün maksimum %0,1'nin ise 297  $\mu\text{m}$  gözlü eleğin üzerinde kalmasıdır. Yani, pulverize kömürün %99'unun 297  $\mu\text{m}$  gözlü elekten geçebilmesi gerekmektedir [19].

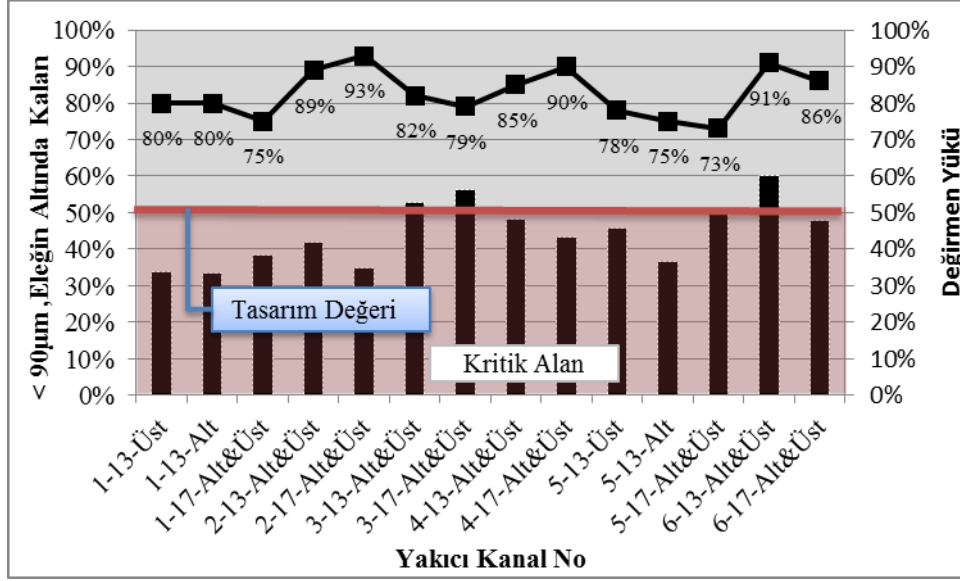
Kazana kömürün toz halinde beslenilmesinin temel amacı, tane yüzey alanının artırarak kömür parçacığının havayla olan temasını artırmak ve yanmayı kolaylaştırmaktır. Kömür tane boyutunun küçülmesiyle kazan ocak bölgesinde tam ve hızlı bir yanma oluşumunu sağlamaktır. Böyle bir yanma sonucu açığa çıkan ısının yanma odasındaki su borularına aktarılması için daha fazla süre olacak ve ocak bölgesinde ısı transfer verimi artacaktır. Bunun neticesinde daha az soğutma suyu kullanılacak, cürufanma azalacak, ayrıca boyutun küçülmesi ile yakıtın, kazan

yakıcıları arasındaki eşit paylaşımı daha da iyileşecektir [19]. Normal olarak parçacık yanma süresi, parçacık çapının karesi ile doğru orantılı olduğundan [32]; büyük çaplı kömür parçacıklarının yanmayı, kazanın çıkışından sonrasına taşıma riskleri bulunmaktadır. Bu risk kömürün boyutunun küçülmesi ile asgari seviyeye çekilebilecektir.

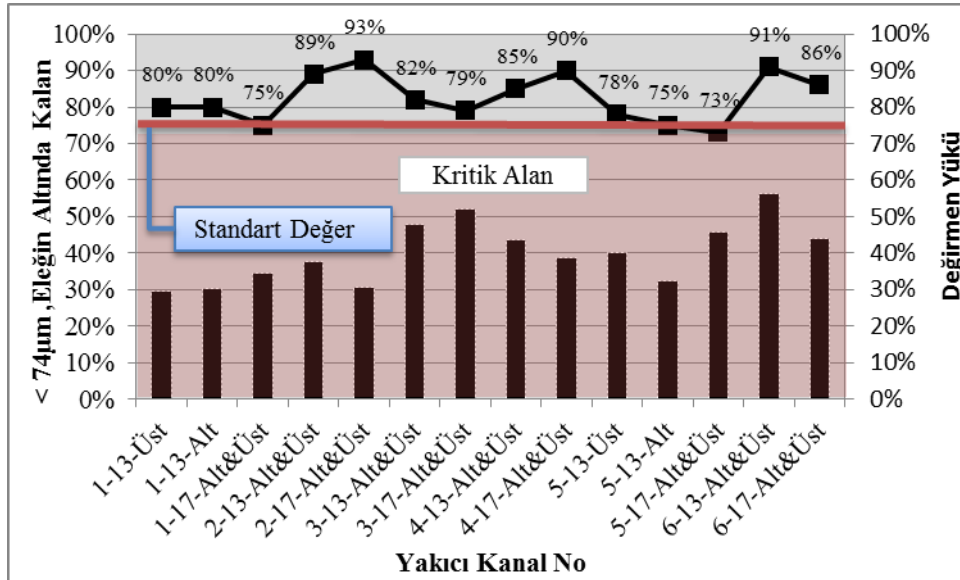
1 ve 5 no'lu değirmenlerden yakıcılara giden kanallar üzerindeki ölçüm deliklerinden alınan numuneler için, diğer değirmenlerde ise 13. ve 17. metreye giden yakıcı kanallarından alınan numune karışımları için elek analizleri yapılmıştır. Yapılan elek analizlerinin sonuçları Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de verilmiştir.



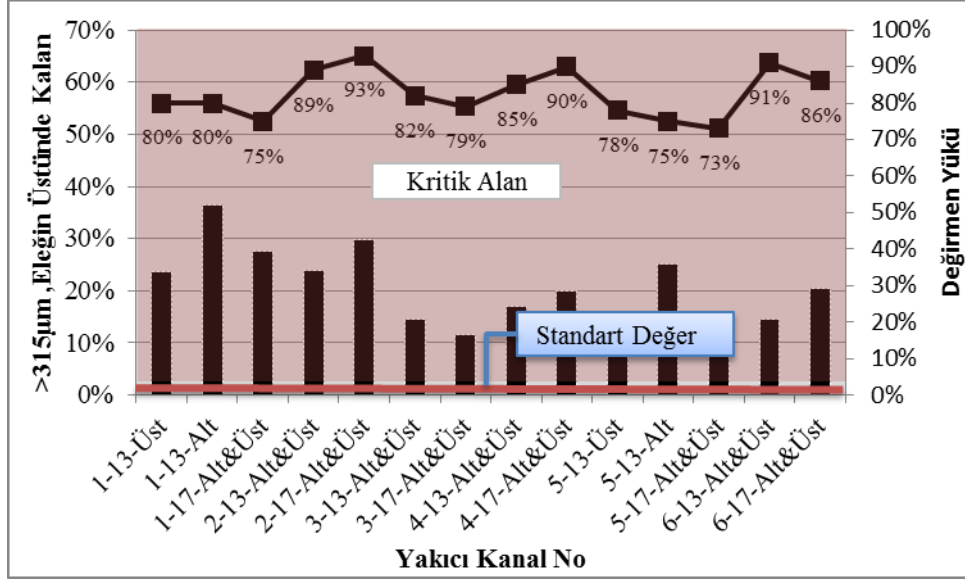
Şekil 4.11: 1000 µm gözlü elekten geçen pulverize kömürün grafiği.



Şekil 4.12: 90 µm gözlü elekten geçen pulverize kömürün grafiği.



Şekil 4.13: 74 µm gözlü elekten geçen pulverize kömürün grafiği.



Şekil 4.14: 315 µm gözlü elekten geçen pulverize kömürün grafiği.

Elde edilen değerler, tasarım gereği olması gereken değerler ile karşılaştırıldığında;

- 1 ve 2 no'lu değirmenlerin çıkışından alınan numunelerin 1000 µm gözlü eleğin üzerinde kalan miktarın, tasarım değerinden uzak olduğu, Şekil 4.11,
- 1, 2, 4, ve 5 no'lu değirmenlerin çıkışından alınan numunelerin tasarımda belirtilen 90 µm gözlü elekten geçen miktarlarının ise tasarım değerlerini sağlamadığı Şekil 4.12'de tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, kömür boyutunun küçülmesi yanma verimini arttıracığından değirmen ve ayırıcının en azından tasarım değerlerine yakın değerleri sağlaması gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında 1, 2, 4 ve 5 no'lu değirmenlerin öğütme performanslarının tasarım değerlerinden saptığı görülmektedir. Bu durumun iyileştirilmesi kazan veriminin artırılması açısından büyük önem arz etmektedir.

Diğer önemli bir konu da; değirmenlerin en son yenileme tarihinden sonraki çalışma saatlerine bağlı olarak performanslarıdır. 2. ünite değirmenlerine ait palet değişim tarihleri ile çalışma saatleri aşağıdaki Tablo 4.3'de verilmiştir. Ortalama iki palet değişimi arasındaki süre 4130 saat olup 172 gün yani 5,7 aylık çalışmaya tekabül etmektedir [31].

Tablo 4.3: Son yapılan değirmen bakımından ölçüm anına kadar geçen süre.

| Değirmen No | Son bakımdan sonra geçen çalışma süresi (saat) | Son palet değişiminden sonra geçen çalışma süresi (saat) |
|-------------|--|--|
| 1           | 764  | 4.606  |
| 2           | 409  | 3.588  |
| 3           | 3.297  | 4.018  |
| 4           | 532  | 3.728  |
| 5           | 2.360  | 4.324  |
| 6           | 278  | 4.515  |

Değirmen çalışma saatlerine bakıldığında; 3 no'lu değirmenin son bakımdan sonra 3297 saat çalışmış olmasına rağmen diğer değirmenlere göre daha iyi öğütme yaptığı görülmektedir. Dolayısıyla, diğer değirmenlerin daha az süre ile çalışmalarına rağmen daha düşük performans göstermesi; değirmenlerin mevcut durumlarının, çalışma sürelerinden daha önemli olduğunu göstermektedir. Kazanda optimum yanmanın oluşabilmesi için elek analizlerinden çıkan sonuçlar tasarımda olması gereken değerlerle karşılaştırıldığında, tüm değirmenlerin çıkışından alınan numunelerin, 74  $\mu\text{m}$  ve 315  $\mu\text{m}$  gözlü eleklerden geçmesi gereken oranları sağlayamadığı görülmüştür (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14).

Büyük taneli kömür parçalarının hem yanma performansını düşürdüğü hem de cürufanma üzerinde olumsuz etki yaptığı bilinmektedir. Ayırıcı ayarlamaları ile kömür tane boyutu küçültülebilir ancak bu durum değirmen kapasitesinin düşmesine sebep olabilir. Bütün yapılan bu inceleme ve testler sonucunda mevcut değirmen ayırıcılarda sorunların olduğu görülmektedir. Bu nedenle ayırıcıların tamamen değiştirilmesi ve geliştirilecek yeni bir ayırıcı modeli ile değirmen ayırma performansı artırılabilir. Böylece değirmenlerin öğüttüğü kömürün uygun bir şekilde ayrıştırılarak yakıcılara gönderilmesi mümkün olacağından, hem değirmen kapasitelerinde artış olacak, hem de büyük çaplı parçacıklar kazana gönderilmemiş olacaktır. Kömür tane büyüklüğü analizlerinin detaylı sonuçları Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'te verilmiştir.



17 metre yükseklikteki alt ve üst yakıcılara sevk edilen pulverize kömür.

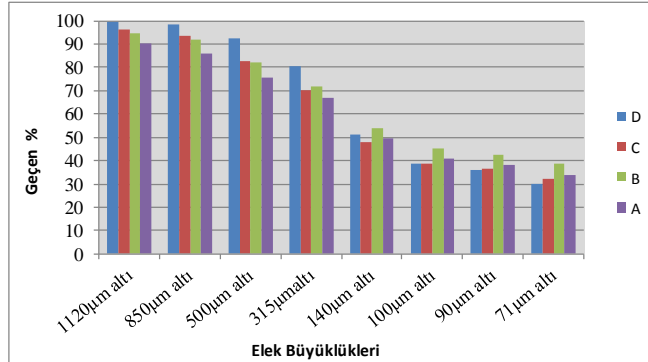
|          | ort.  | D     | C     | B     | A     |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| > 1000µm | 6,1%  | 1,2%  | 5,0%  | 6,6%  | 11,7% |
| > 315µm  | 27,5% | 19,3% | 29,7% | 27,9% | 33,1% |
| < 90µm   | 38,3% | 35,8% | 36,5% | 42,7% | 38,3% |
| < 74µm   | 34,4% | 31,1% | 32,7% | 39,1% | 34,6% |

13 metre yükseklikteki üst yakıcıya sevk edilen pulverize kömür.

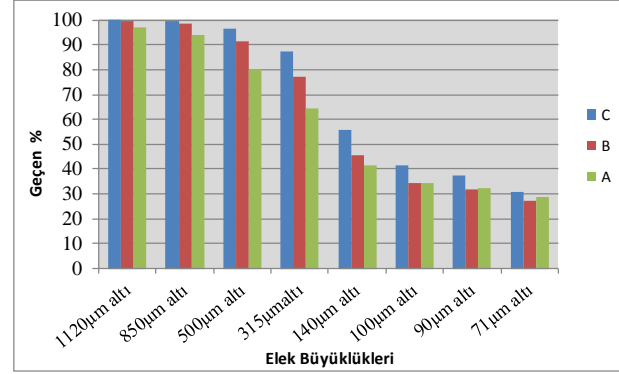
|      | >1000µm | >315µm | < 90µm | <74µm |
|------|---------|--------|--------|-------|
| C    | 0,3%    | 12,7%  | 37,2%  | 31,9% |
| B    | 0,9%    | 22,8%  | 31,7%  | 27,8% |
| A    | 4,3%    | 35,6%  | 32,5%  | 29,4% |
| ort. | 1,9%    | 23,7%  | 33,8%  | 29,7% |

13 metre yükseklikteki alt yakıcıya sevk edilen pulverize kömür.

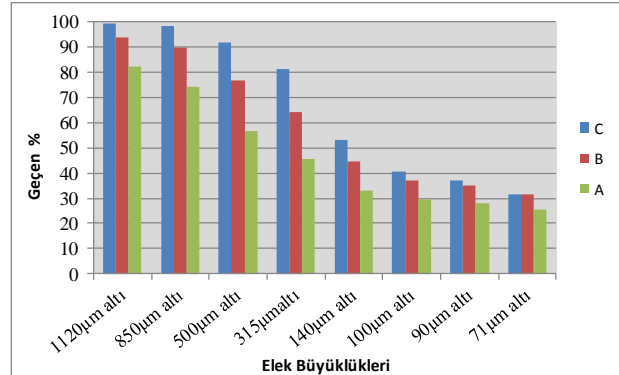
|      | >1000µm | >315µm | < 90µm | <74µm |
|------|---------|--------|--------|-------|
| C    | 1,2%    | 18,9%  | 37,2%  | 32,4% |
| B    | 8,2%    | 35,6%  | 35,1%  | 32,0% |
| A    | 21,3%   | 54,7%  | 28,1%  | 26,1% |
| ort. | 10,2%   | 36,4%  | 33,5%  | 30,1% |



17 metre yükseklikteki alt ve üst yakıcılara sevk edilen pulverize kömürün tane boyut dağılımı grafiği.

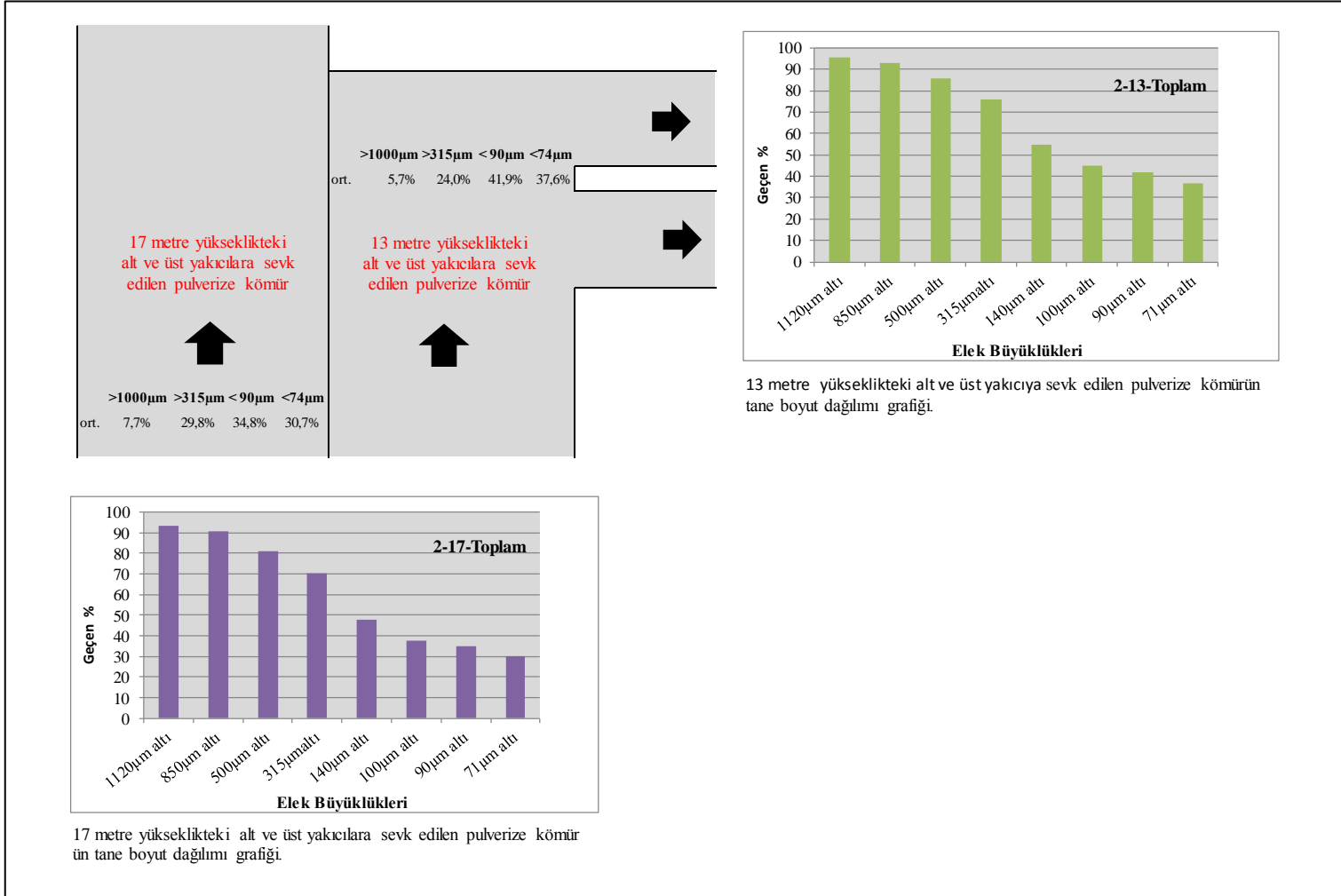


13 metre yükseklikteki üst yakıcıya sevk edilen pulverize kömürün tane boyut dağılımı grafiği.

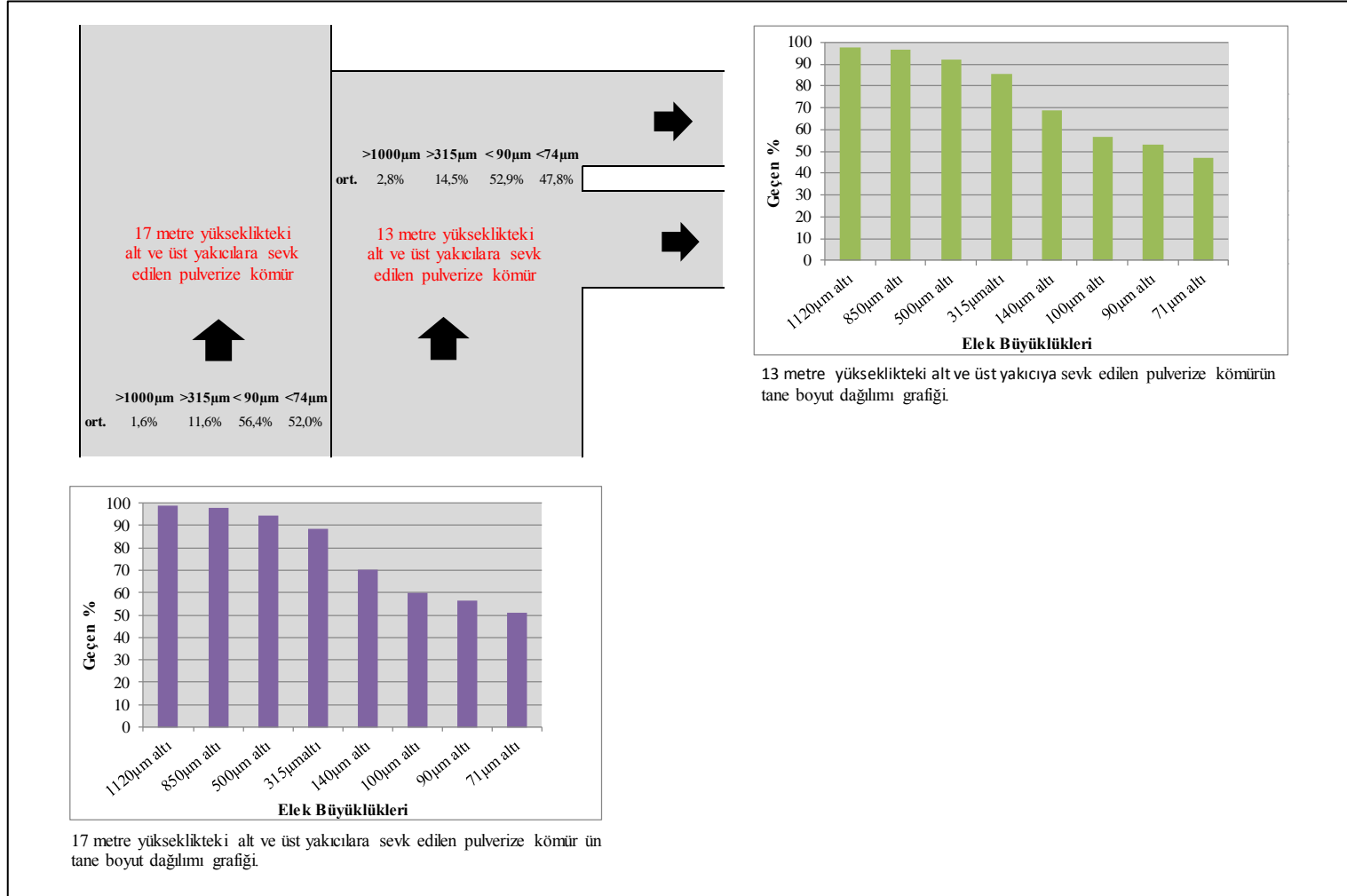


13 metre yükseklikteki alt yakıcıya sevk edilen pulverize kömürün tane boyut dağılımı grafiği.

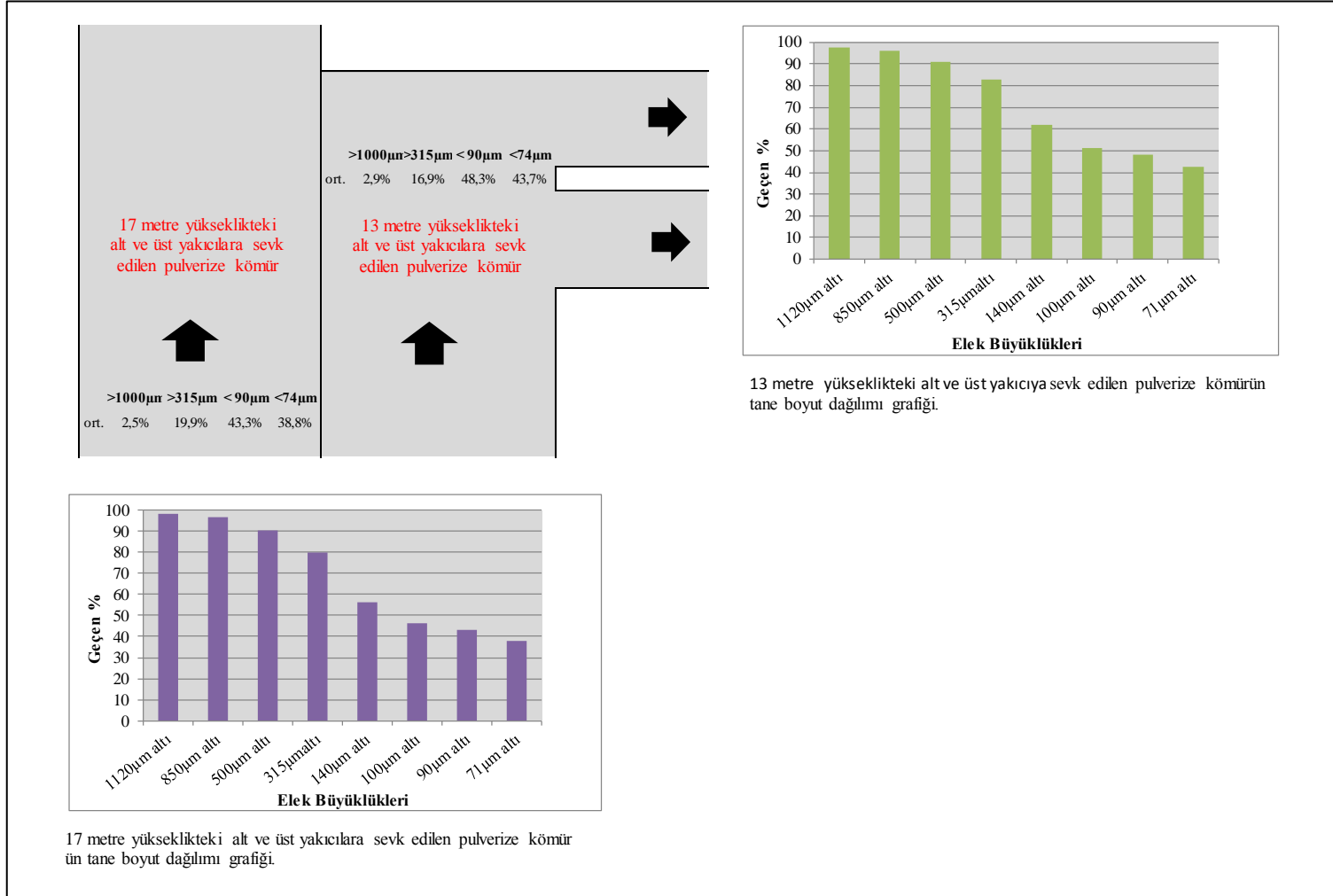
Şekil 4.15: 1 Nolu yakıcı kanallarına ait pulverize kömür elek analiz sonuçları.



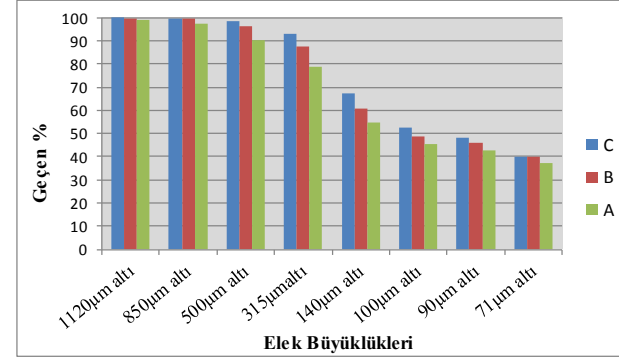
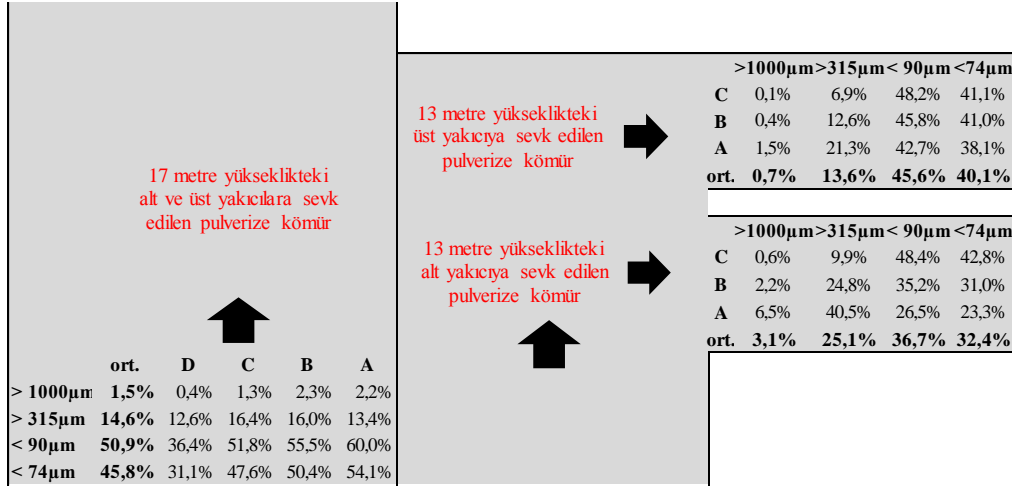
Şekil 4.16: 2 Nolu yakıcı kanallarına ait pulverize kömür elek analiz sonuçları.



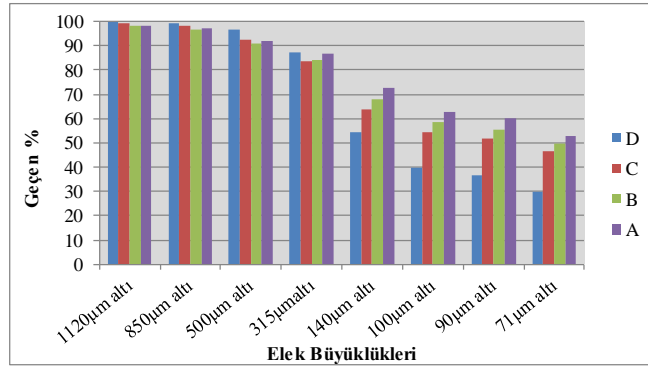
Şekil 4.17: 3 Nolu yakıcı kanallarına ait pulverize kömür elek analiz sonuçları.



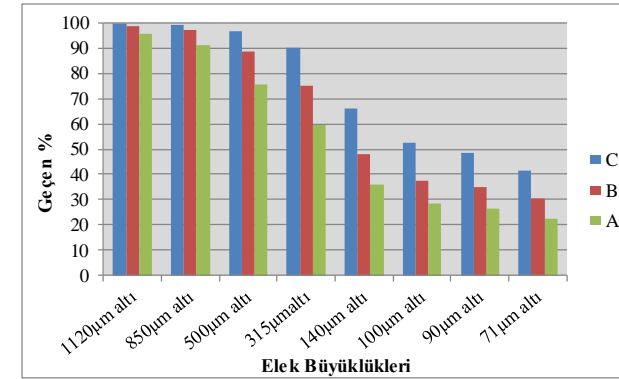
Şekil 4.18: 4 Nolu yakıcı kanallarına ait pulverize kömür elek analiz sonuçları.



13 metre yükseklikteki üst yakıcıya sevk edilen pulverize kömürün tane boyut dağılımı grafiği.

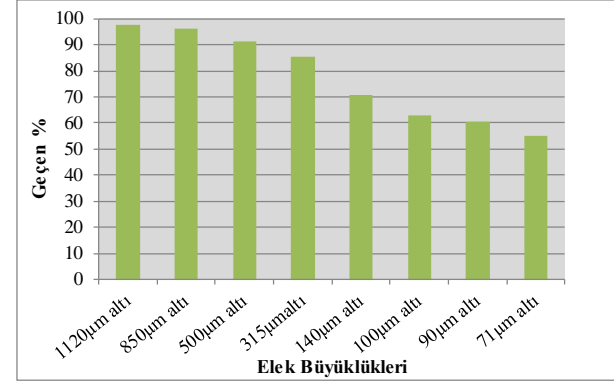
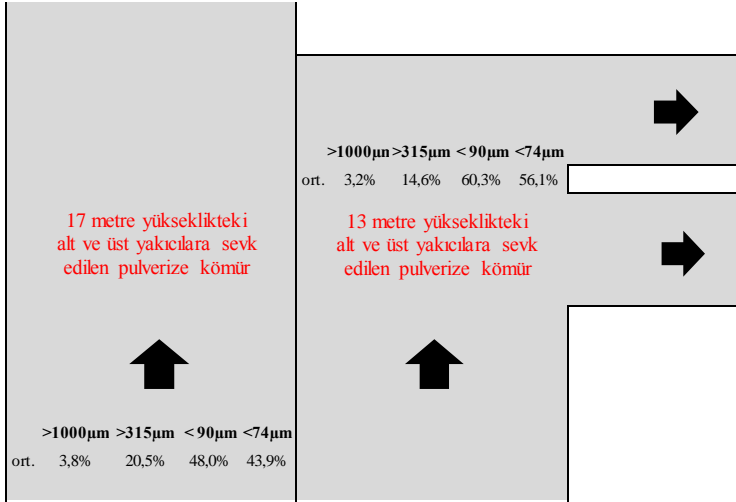


17 metre yükseklikteki alt ve üst yakıcılara sevk edilen pulverize kömürün tane boyut dağılımı grafiği.

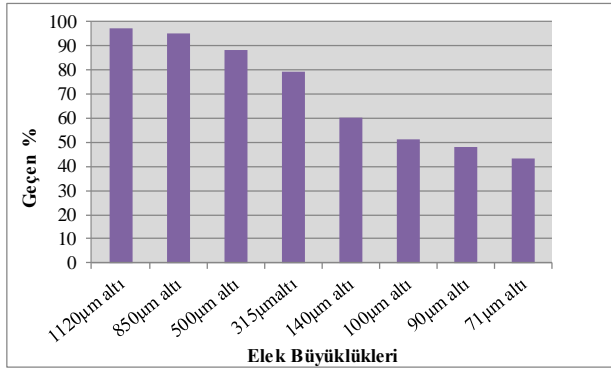


13 metre yükseklikteki alt yakıcıya sevk edilen pulverize kömür ün tane boyut dağılımı grafiği.

Şekil 4.19: 5 Nolu yakıcı kanallarına ait pulverize kömür elek analiz sonuçları.



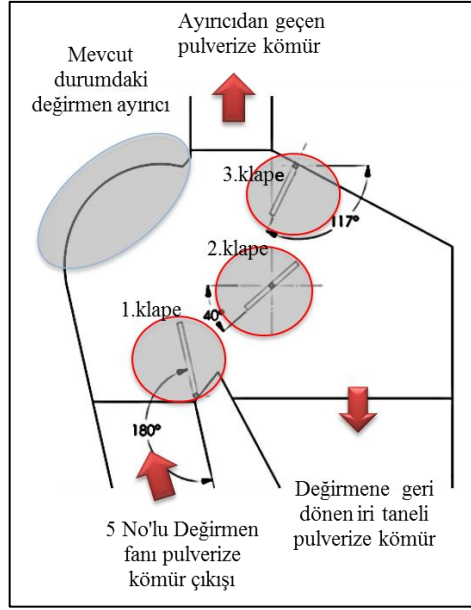
13 metre yükseklikteki alt ve üst yakıcıya sevk edilen pulverize kömürün tane boyut dağılımı grafiği.



17 metre yükseklikteki alt ve üst yakıcılara sevk edilen pulverize kömürün tane boyut dağılımı grafiği.

Şekil 4.20: 6 Nolu yakıcı kanallarına ait pulverize kömür elek analiz sonuçları.

2. Ünite 5. değirmen ayırma performansını iyileştirmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği yardımı ile sisteme uygun klape tasarımı yapılmıştır. Buna göre ayırıcı bölgesine el ile kontrol edilebilir 3 adet klape monte edilmiştir. Bilgisayar ortamında yapılan analizleri sonucunda en iyi 6 farklı klape konumu belirlenmiştir. Belirlenen bu konumlar sahada test edilerek en verimli olanı tespit edilmiştir.[33]. Mevcut ayırıcı ile yapılan ölçüm ve analiz sonuçlarına göre elek değerleri, 90 µm altı için %33-47; 1000 µm altı için ise %93-99 arasındadır.



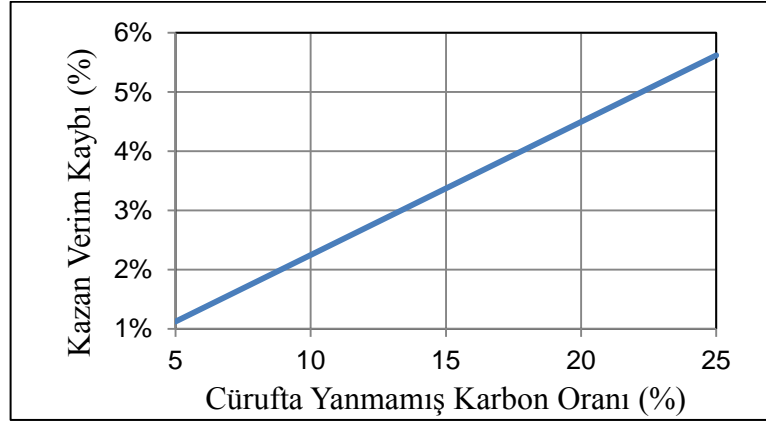
Şekil 4.21: 2. Ünite 5. değirmen ayırıcı klape konumları.

Elek analizlerine göre en iyi sonuç Şekil 4.21'deki klape konum ile elde edilmiştir. Buna 90 µm altı analiz sonucu %47,27 olduğu belirlenmiştir. Bu değerler, değirmen tasarım değeri olan %50 değerine çok yakın olup, mevcut %45,1 değerinden %2,1 mertebesinde daha iyidir. 1000 µm altı için analiz sonuçlarına bakıldığında ise %99,2 olup, kazan tasarım değeri olan %98 fazlasıyla sağlanmıştır. [33].

#### 4.1. Cüruf Elek Testi

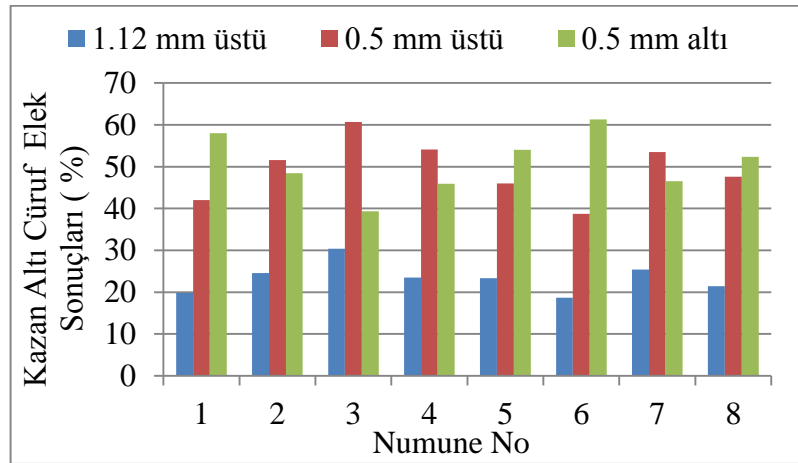
Kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranı tasarımda %3,45 olarak belirtilmesine rağmen mevcut durumda bu değer % 23 civarında olup tasarım

değerinden oldukça yüksektir. Kazan altı cürufta yanmamış karbon oranının kazan verimini olumsuz yönde etkilediği Şekil 4.22'den anlaşılmaktadır.



Şekil 4.22: Külde yanmamış karbon miktarının kazan verimine etkisi.

Kazan altından 8 adet cüruf örneği alınmış olup, cürufun tane iriliği dağılımı ile cüruftaki yanmamış karbon arasındaki ilişkisine incelemek üzere elek testi uygulanmıştır. Alınan numuneler önce kurutularak 1,12 mm ve 0,5mm'lik eleklerde elenmiş ve tartılmıştır. Cürufun tane ağırlıklarının oranları Şekil 4.23'deki gibidir. Buna göre kazan altı cürufta 1,12 mm ve 0,5 mm elek üstü ortalama cüruf tane ağırlık oranları sırasıyla %23 ve %49 civarında olup 0,5 mm altı için ortalama bu değer %51 civarlarındadır.

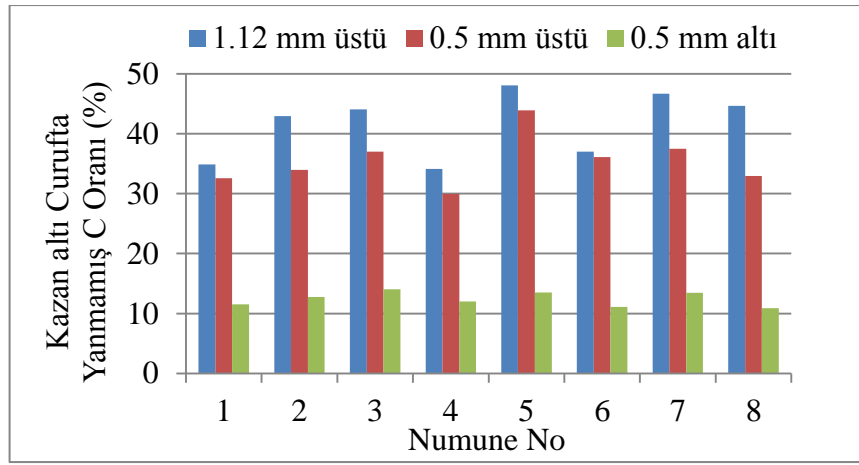


Şekil 4.23: Kazan altı cüruf tane ağırlıklarının oranları.

8 adet numune farklı büyüklüklerdeki eleklerde elendikten sonra elek üzerinde kalan numunelere ayrı ayrı yanmamış karbon tayini analizi yapılmıştır. Cüruf tane



iriliğine göre yanmamış karbon oranlarının değişimi Şekil 4.24'ta gösterilmiştir. Beklenildiği gibi tane iriliği arttıkça curuf içerisindeki yanmamış karbon oranları artmaktadır. Şekil 4.24'ten açıkça görüleceği gibi 0.5 mm altı kömür tane iriliğinde curuf içerisindeki yanmamış karbon %10'un altında kalmıştır. Bununla beraber 0.5 mm üstü kazan altı cüruf tanelerinde yanmamış karbon %30'un üstündedir. Bu da gösteriyor ki kömür yakıcılarından kazana beslenen iri taneli kömürün çoğu; ya alev topuna girmeden ya da alev topu içerisinde çok kısa süre kalarak tam yanma gerçekleşmeden kazan altına düşmektedir.

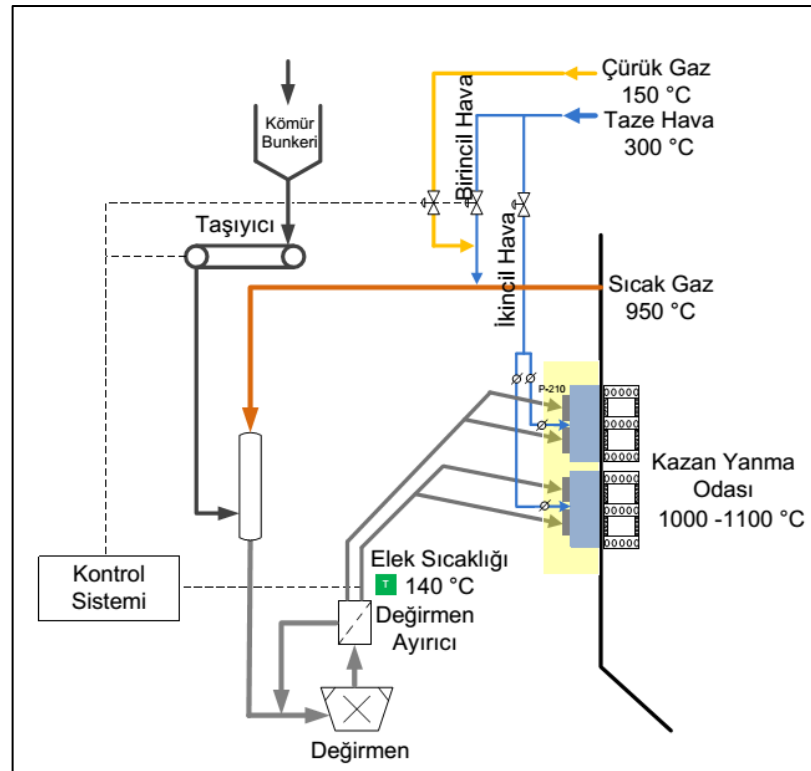


Şekil 4.24: Kül tane iriliğine göre yanmamış karbon oranlarının değişimi.

Kazan altı cürufta yanmamış madde miktarının yüksek olmasının en önemli sebeplerinden birisi kazana beslenen iri taneli kömürlerdir. Kömür tane iriliğinin düşürülmesi ise doğrudan değirmen/ayırıcı performansı ile ilgilidir. Değirmen sonrası yakıcı kanallarındaki pulverize kömür elek analiz sonuçları Bölüm 4.1'de detaylı olarak verilmiştir. Buna göre 1mm elek üstü tane ağırlık oranlarının tasarım değeri olan %2 sınır değerinin üzerinde olması kazanda yanma performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca yakıcı kanallar arası pulverie kömür debi dağılımındaki dengesizlikler ve gaz hızlarının yüksek olması yine kazan içinde yanma verimini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum kazan altı curftaki yanmamış karbon oranını artırmakta dolayısıyla yukarıda elde edilen sonuçları desteklemektedir.

## 4.2. Elek Sıcaklık Kontrolü

Değirmenlerin tam kapasitede çalışabilmeleri elek sıcaklığına (değirmen çıkış sıcaklığına) bağlıdır. Değirmenler belirli sıcaklık aralığında çalıştırılır. Değirmen sıcaklığının çok düşük olması yakıcı girişinde alev kopmalarına, çok yüksek olması kömürün erken alevlenmesine patlamalara sebebiyet verebilir. Soma B Termik Santrali 2. Ünitesi değirmenleri için elek sıcaklık sınırı 140-220°C aralığındadır. Elek sıcaklığı 220°C'ye ulaştığında değirmen; 140°C'nin altına düştüğünde ise kömür taşıyıcısı devreden çıkar. Değirmenler maksimum hızda çalıştırıldığından kazandan çekilen sıcak gaz debisi de maksimumdur. Bu şartlarda, eğer elek sıcaklığı alt sınır değer (140°C) altına düşme eğiliminde ise yapılan işlem, taşıyıcı hızı düşürülerek değirmene beslenen kömür debisini azaltmaktır. Böylece değirmenlere daha az kömür beslenerek elek sıcaklığı normale çıkarılır. Eğer elek sıcaklığı üst sınır değer (220°C) yukarısına çıkma eğiliminde ise yapılan işlem, çürük gaz (150°C) devreye alınarak elek sıcaklığı normale düşürülür.



Şekil 4.25: Yakıt besleme sisteminin elek sıcaklığına göre kontrolü.

Elek sıcaklığı değirmene beslenen kömür debisini etkilediğinden ünite elektrik üretimini de etkilemektedir. Bundan dolayı elek sıcaklık cihazların ölçüm hassasiyeti önemli olup, değirmen çıkışında portatif sıcaklık ölçer ile sıcaklık ölçülerek doğruluğu kontrol edilmiştir. Okunan değerler Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4: Değirmen sonrası elek sıcaklıklarının karşılaştırma tablosu.

| Değirmen-yakıcı yüksekliği | Ölçülen elek Sıcaklığı (°C) | Kumanda odasında okunan değer (°C) | Sıcaklık farkı (°C) |
|----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------|
| 1-17                       | 160                         | 151                                | +9                  |
| 1-13                       | 164                         | 153                                | +11                 |
| 2-17                       | 164                         | 179                                | -5                  |
| 2-13                       | 176                         | 182                                | -6                  |
| 3-17                       | 147,5                       | 155                                | -7,4                |
| 3-13                       | 151,5                       | 146                                | +5,5                |
| 4-17                       | 144                         | 163                                | -19                 |
| 4-13                       | 151                         | 163                                | -12                 |
| 5-17                       | 162                         | 156                                | +6                  |
| 5-13                       | 158                         | 152                                | +6                  |
| 6-17                       | 166,5                       | 159                                | +7,5                |
| 6-13                       | 165                         | 160                                | +5                  |

Testlerde 1-13; 1. değirmenden 13. metrede'deki yakıcılara giden kanalı, 1-17 ise 1. değirmenden 17. m'deki yakıcılara giden kanalları temsil etmektedir. Elek sıcaklığı test sonuçlarına göre; +11 ve -19°C sıcaklığa varan farklılıklar tespit edilmiştir. Elek sıcaklık ölçüm cihazları kanal içinde akan katı parçacıkların darbelerine maruz kaldıklarından haftada en az birkez kalibre edilmelerinde fayda vardır.

Elek sıcaklığı kontrolünde kazandan çekilen sıcak gaz debisinde belirleyicidir. Sıcak gaz kanalı girişi, kazan duvarı ile birleştiği nokta, iç çeperinde yüksek sıcaklıklardan dolayı cürufanma meydana gelmekte, gazın değirmene akmasını engel olmaktadır. Kazan çalışır vaziyette iken kanalların kapakları açılıp içerisinin temizlenmesi tehlikeli olduğundan, kanal girişine, dışardan basit müdahaleler ile temizleyecek şekilde, mekanik sistem tasarlanmalıdır. Temizleme işleminin en az günde bir kez yapılması kazan işletme açısından önem arz etmektedir.

## 5. KAZAN YANMA VERİMİNİ İYİLEŞTİRMEYE YÖNELİK YAPILAN TEST ve ANALİZLER

Kazanda yanmayı etkileyen birçok unsur vardır. Yanma temelde; zaman, sıcaklık ve türbülansa bağlıdır [34]. Zamanı, kömür tane iriliği, birincil ve ikincil hava hızları ve ocağın konstrüktif yapısı belirler. Ocak sıcaklığında, ocağa beslenen birincil ve ikincil hava sıcaklıkları ile yanma sonucu açığa çıkan ısı belirleyicidir. Türbülansı ise gaz hızlarına ve ateşleme sisteminin konstrüktif yapısı belirler. Kömürün karakteristik yapısı ve yukarıda bahsi geçen üç parametre ocak boyutlandırmasında ve ateşleme sistem tasarımında dikkate alınan temel parametrelerdir.

Pulverize kömür yakıtlı kazanlarda, işletmede meydana gelen aksaklıklardan, zamana bağlı ekipman aşınımından, çevre yönetmeliğindeki kısıtlamalardan ve kömür yakıtındaki yapısal değişikliklerinden ötürü yanma verimi düşer. Yanmada meydana gelen verimsizlikler üniteye plansız duruşlara sebebiyet verir ki ünite için planlanan yıllık elektrik üretimin altında kalır. Böylece ünite emreamediği düşer.

Ünitenin emreamediğini artırmaya yönelik santralda yapılan rutin bakımlar dışında, kazan ve yardımcı donanımlarda yapılabilecek, köklü değişikliklere karar verilmeden önce mevcut sistem performansının test edilmesi ve uygun çözüm önerileri geliştirerek izlenecek yol haritasının belirlenmesi gerekir.

Bu bölümde, yanma verimini iyileştirmeye yönelik yapılan ayar çalışmalar aktarılmıştır. Çalışmalar, ocakta verimli bir yanma için gerekli olan üç parametre, yanma süresi, sıcaklık ve türbülans, üzerinde etken olan unsurlar ele alınarak belirlenmiştir. Buradan yola çıkarak, mevcut yanma performansını iyileştirmeye yönelik analizi yöntemleri belirlenmiştir. Ayrıca, bu bölümde yapılan test çalışmalarının amacını, gerekliliğini, ünite üzerindeki etkisini ve test sonuç yorumları aktarılmıştır.

Kömürlü termik santral kazanlarında yapılması planlanan yanma veriminin artırılması için en azından bir tane amaç fonksiyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Soma Termik Santrali 2. Ünitesi için belirlenen amaç fonksiyonu kazan altı curuftaki yanmamış karbon oranlarını düşürmek olarak belirlenmiştir.

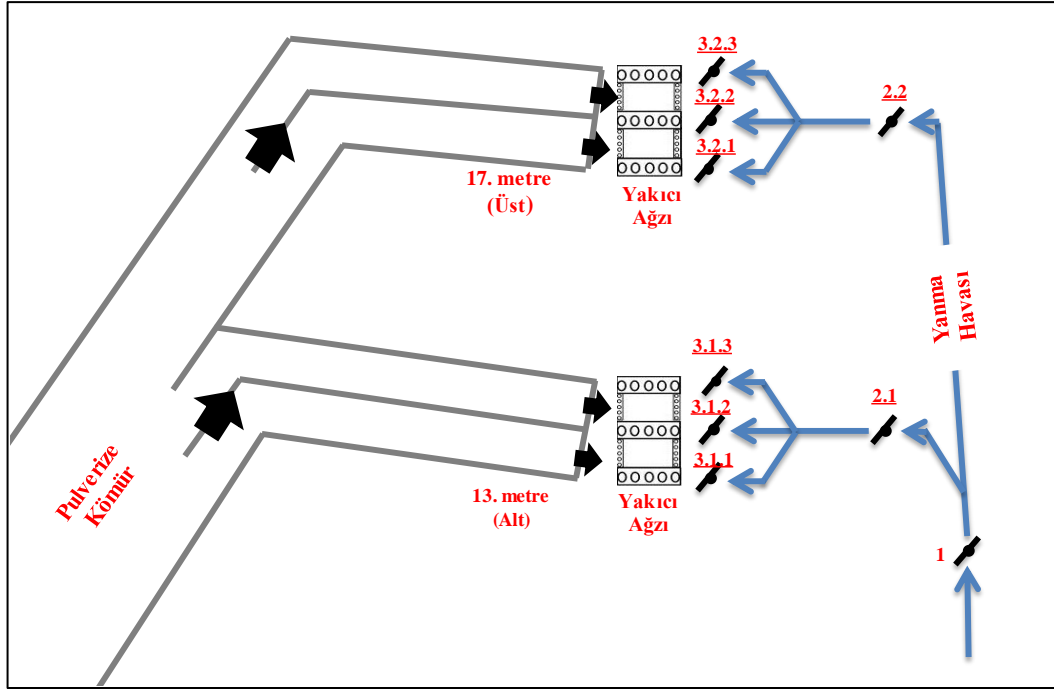
Soma B Termik Santrali 2. Ünitesi kazanında kazan yanma verimini iyileştirmeye yönelik yapılan testler şunlardır;

- Yakıcı girişi hava ayarları,
- Yakma havasının kontrolü,
- Altı değirmenin birlikte alıştırılması.

## 5.1. Yakıcı Girişi Hava Ayarları

Taze hava, birincil ve ikincil hava (yakma havası) olarak kazana beslenmektedir tazel hava kanalı 40 metre yükseklikte kazanı çevrelemekte, sıcak hava dağıtımı bu kanaldan yapılmaktadır. Birincil hava 33 metre yükseklikte yer alan ayar klapeleri ile sıcak gaz kanallına beslenir. İkincil hava 24 metre yükseklikte yer alan ayar klapeleri ile ocak bölgesine beslenmekte olup, yakıcılar arası hava dengesi bu klapeler ile yapılmaktadır.

Pulverize kömür yakıcı kanaları girişlerinden kazana beslenen yakma havası dağılımı akış diagramı Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Kömür alt iki yakıcı ve üst iki yakıcıdan olmak üzere toplam dört yakıcıdan kazana beslenmektedir. Yakma havası herbir kömür yakıcısının altından ve üstünden olmak üzere her bir köşeden altı noktadan kazana beslenilmektedir (Şekil 5.1). Her bir köşede yanma havası kontrolü ise Şekil 5.1’de gösterildiği gibi 1, 2.1 ve 2.2 noktalarından yapılmaktadır. 3 no’lu noktalardaki hava ayar klapeleri kullanılmamaktadır ve bu klapeler devre dışı bırakıldığı belirtilmiştir (operatörler tarafından). Fakat ihtiyaç duyulduğu takdirde bu klapeler (3 no’lu) bakımları yapılarak tekrar çalışabilir hale getirilebilir.



Şekil 5.1: Yakma havası akış şeması ve kontrol klapelelerinin konumları.

Ünitede 2.1 ve 2.2 noktalarındaki kontrol klapeleleri ve ayar mekanizmasının görünümü Şekil 5.2’te verilmiştir.



Şekil 5.2: Yakma hava klapeleleri ve ayar mekanizmasının görünümü.

13. ve 17. metre yükseklikleri arasında yakma havası dengesi, kömür yakıcı girişlerinde bulunan ikincil hava klapeleleri yardımıyla yapılmaktadır. Mevcut durumda bu klapeleler sabitlenmiş olup, ancak el ile kontrol edilebilmektedir. Klapele açılıkları testler sırasında ölçülmüş ve mevcut konumları Tablo 5.1’de verilmiştir.

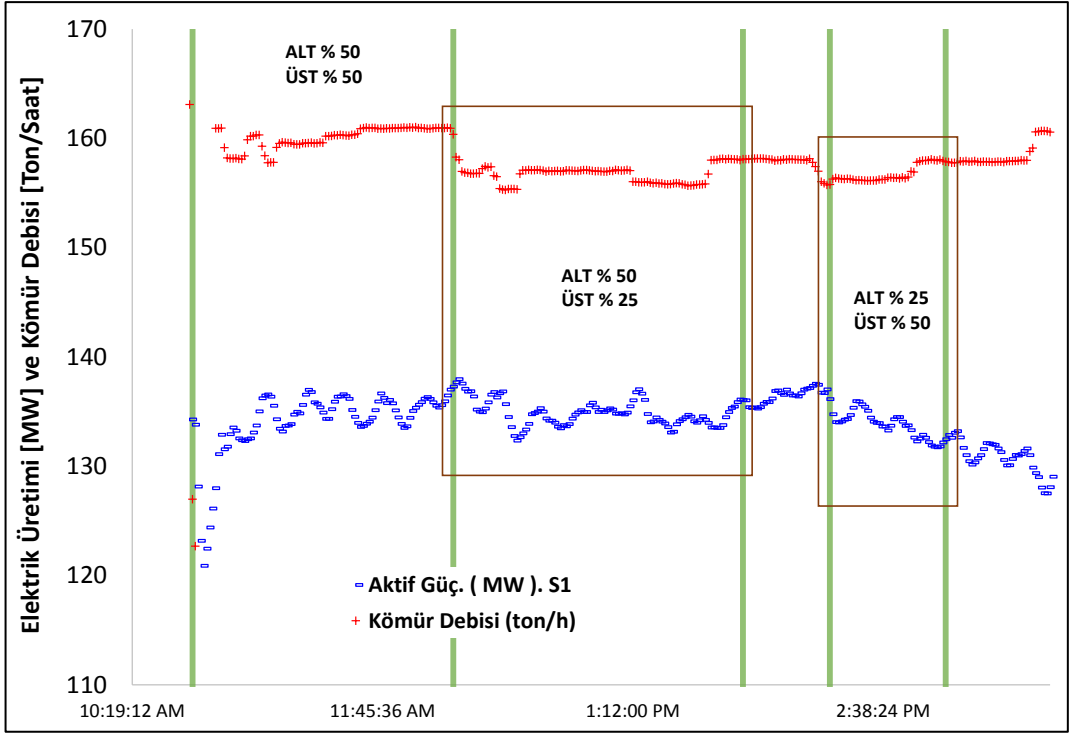
Tablo 5.1: Yakıcı girişleri ikincil hava klape açıklıkları (mevcut durum).

| Yakıcı No | 13. metre | 17. metre      |
|-----------|-----------|----------------|
| 1         | 57°       | 43°            |
| 2         | 33°       | 43°            |
| 3         | 33°       | Gösterge Bozuk |
| 4         | 33°       | 73°            |
| 5         | 30°       | 33°            |
| 6         | 33°       | 83°            |

Testler sırasında 13. ve 17. metrelerdeki klapelere ayarlama yapılarak kazan altı cüruf teknesinde yanmamış karbon miktarına etkisi incelenmiştir. Yapılan testlerde 3 no'lu yakma havası klape pozisyonları da değiştirilmek istenmiştir fakat bu klapeyi çalışabilir olmadığından herhangi bir değişiklik yapılamamıştır.

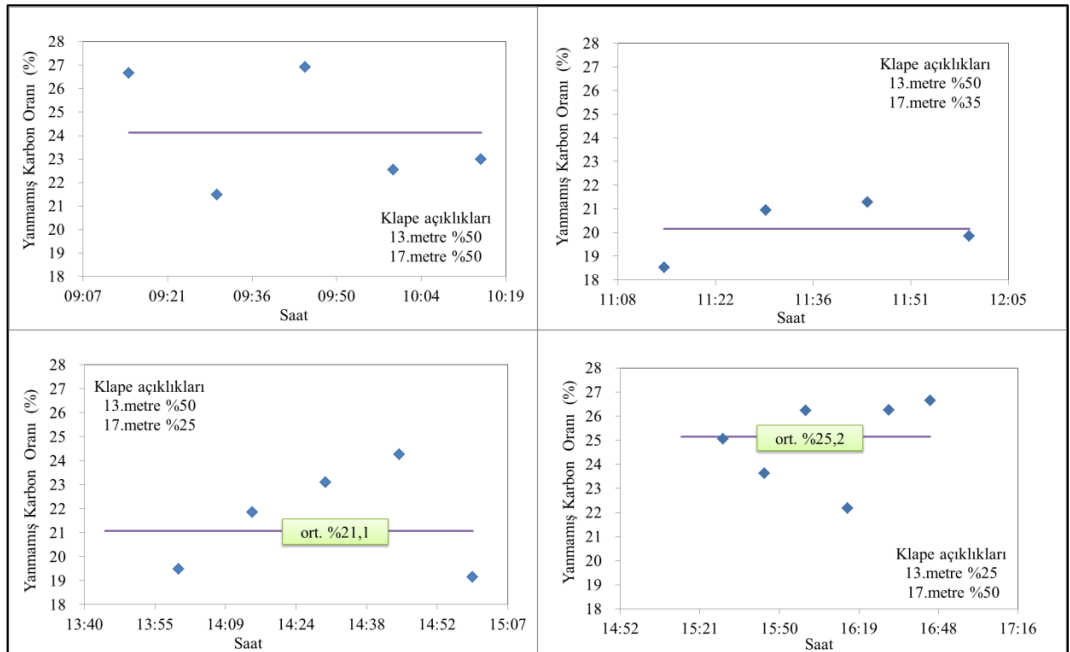
Kazan içerisine beslenen yakma hava miktarının artırılması ya da azaltılması zararlı salınımların üzerinde de etkilidir. Ancak, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> vs. gibi salım değerleri ölçülmediği için salınım üzerindeki etkisi ölçülemediği için.

Testlerde kazan yanma ayarları yapılırken 2.1 ve 2.2 no'lu klape konumları değiştirilmiştir. Şekil 5.3'de 2. Ünitenin anlık elektrik üretimi ile kömür tüketimi değişik hava klape konumlarında gösterilmektedir. Başlangıçta % 50 (2.1) ve % 50 (2.2) olan ikincil hava klape konumları önce % 50 (2.1) ve % 25 (2.2)'e getirilmiş olup sonrada %25 (2.1) ve % 50 (2.2)'ye getirilmiştir. Kazanın üst kısmındaki yakma havasının kısılması kazanın alt kısmına daha fazla hava gönderilmesine sebep olmaktadır. Yakma havası klapelere bu değişikliklerin ünite performansı üzerindeki etkisine Şekil 5.3'den bakılırsa elektrik üretiminin sabit kaldığı ve aynı zamanda da kömür tüketiminin azaldığı görülebilir. Hatta alt yakma havası klape konumlarının % 25 pozisyonuna getirilmesi ile ünitenin anlık elektrik üretiminde de düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 5.3: Yakma havası klape açıklık oranlarının elektrik üretimine etkisi.

Yakma havası klapelelerinin curuftaki yanmamış karbon oranına etkisi Şekil 5.4'te verilmiştir. Şekil 5.4'te kullanılan curuftaki yanmamış karbon değerlerinin tayini için kazan altından her 15 dakikada bir curuf numunesi alınmıştır.



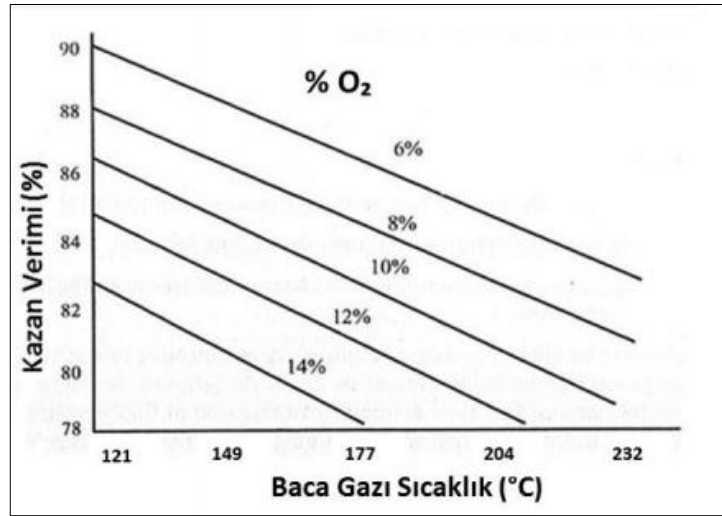
Şekil 5.4: Yakma havası klape açıklıklarının yanmamış karbon oranına etkisi.



Kazanın üst kısmındaki (2.2) yakma havasının kısılması kazanın alt kısmına daha fazla hava gönderilmesine sebep olmaktadır. Bu durumda elektrik üretiminin sabit kaldığı ve aynı zamanda da kömür tüketiminin azaldığı görülmektedir. Bunun yanında, alt ikincil hava klapelerinin %25 açıklık konumuna getirilmesi ile ünitenin anlık elektrik üretiminde de düşüş gözlemlenmiştir. Bunun muhtemel sebebi ise kömür alt yakıcısından gönderilen kömür taneciklerinin tam yanma olmadan aşağıya düşmesidir.

## 5.2. Yakma Havasının Kontrolü

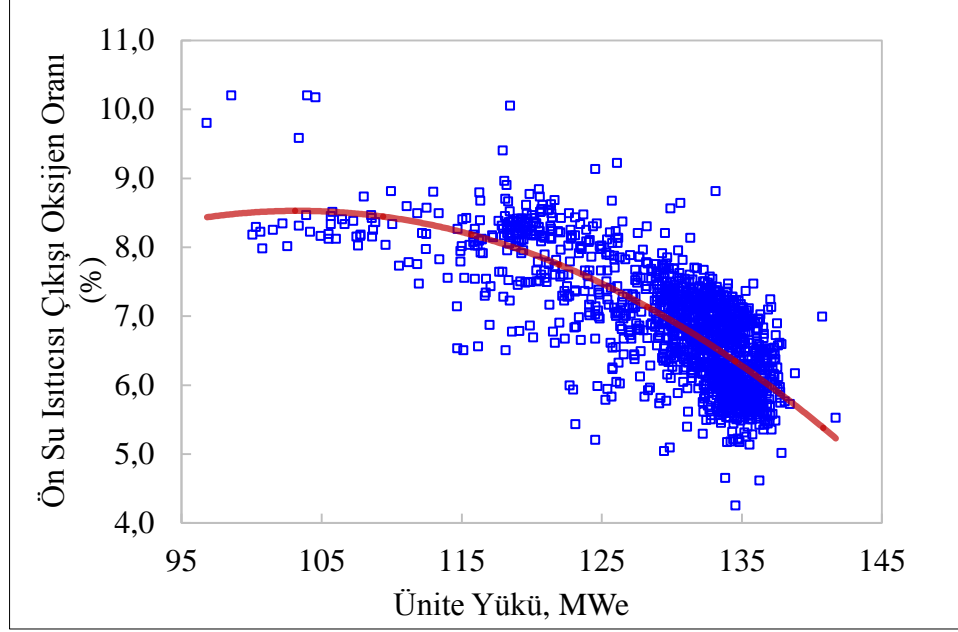
Pulverize kömür yakıtlı kazanlarda yakma havası miktarı kazan çıkış oksijen oranına göre kontrol edilir. Kazan içerisine beslenen yakma havası miktarının artırılması ya da azaltılması kazan yanma verimi üzerinde etkilidir [35]. Kazan çıkış oksijen oranının değişiminin kazan verimine etkisi Şekil 5.5'te verilmiştir. Buna göre, kazan çıkışı oksijen oranında yüzde bir artış kazan veriminin yüzde bir azalmasına neden olacaktır [36].



Şekil 5.5: Oksijen Oranının Kazan Verimine Etkisi.

Mevcut işletmede ünite kazanına verilen toplam yakma hava debisi, ön su ısıtıcı çıkışı 49'uncu metre yükseklikteki oksijen analizöründen okunan değere göre ayarlanmaktadır (Şekil 5.6).





Şekil 5.7: Ünite yüküne göre baca gazı oksijen oranı.

Tasarım şartlarında ekonomizer çıkışı baca gazı oksijen oranının ünite yüküne göre değişimi Tablo 5.2’de verilmiştir. Ünite yükünün 165 MWe’a ulaşması durumunda oksijen değerinin daha aşağılara, %4,2 civarına düşürülmesi mümkün olabilecektir.

Tablo 5.2: Ünite yüklerine göre baca gazı oksijen oranı (tasarım).

| Ünite yükü                         | MWe | 165 | 132 | 100 | 65  | 50  |
|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Ön su ısıtıcı çıkışı oksijen oranı | %   | 4,2 | 4,2 | 4,8 | 5,4 | 6,0 |

Ünite kazanında ön su ısıtıcı çıkışındaki oksijen oranı kazanın yanma performansı açısından önemlidir. Üniteye ayar çalışmaları sırasında farklı çıkış oksijen oranlarına göre yanma analizi yapılmaya çalışılmış, ancak oksijenin otomatik olarak belli bir değerde tutulamaması bu çalışmanın yapılmasını zorlaştırmıştır. Mevcut uygulamada hava kasası içerisindeki basınç belli bir değere ayarlanmakta ve yanma havası ikincil hava klapeleri yardımıyla kazana verilmektedir. Kömürün özelliklerine (ısı değer ve C-H-N oranları) göre de oksijen değeri değişkenlik gösterdiğinden, ön su ısıtıcı çıkışı oksijen değeri belirlenen değerde tutulamamaktadır.

Normal işletme şartlarında ise ön su ısıtıcısı çıkışı oksijen oranı otomatik olarak kontrol edilebilmelidir. Bu durumda taze hava fanı çıkışındaki klapele oksijen oranını belirlenen değerde tutmak için hava kasa basıncını kontrol edecektir. Ön su ısıtıcısı çıkışı oksijen değerinde kömür özellikleri nedeniyle bir düşüş olduğunda otomatik olarak klape yardımıyla kasa basıncı artacak ve dolayısıyla hava beslemesi de artarak oksijendeki düşüş telafi edilecektir. Tersi durumda ise kasa basıncı otomatik olarak düşürülerek çıkış oksijen değeri istenilen değerde tutulacaktır.

Oksijen oranı kazana verilen fazla hava miktarının göstergesidir. Bu değer kazan işletmesinde kritik parametredir. % O<sub>2</sub> oranı fazla olması durumunda, hava ve barındırdığı nemden kaynaklı duyulur ve gizli ısı kayıplarına ayrıca NO<sub>x</sub> salınımlarının artmasına, eksik olması durumunda ise %CO oranının artmasına yani eksik yanmaya neden olacaktır. Dolayısıyla bu durum, kazan verimini ve ocak yanma performansını doğrudan etkileyecektir Bundan dolayı, öncelikle mümkün olduğunca kazan boyunca hava kaçaklarının giderilmesi, kazan oksijen ayarlarının otomatik yapılabilmesinin sağlanması ve buna göre kazan oksijen ayarlarının yapılması kazan yanma verimi açısından büyük önem arz etmektedir [37].

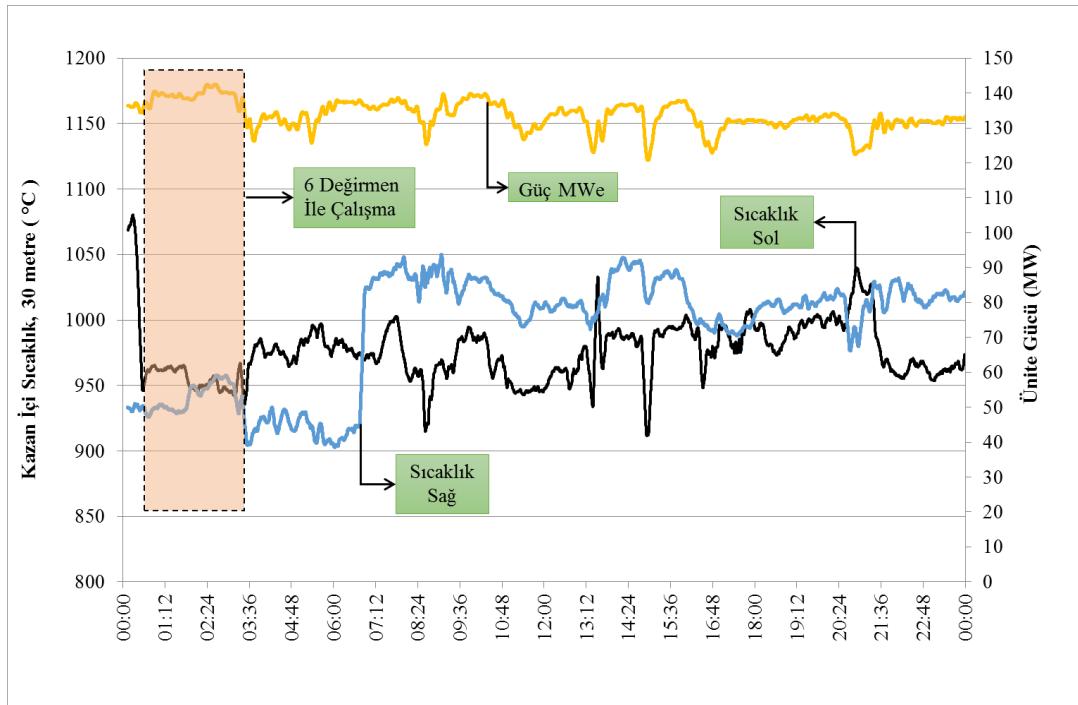
### **5.3. Altı Değirmenin Birlikte Çalışma Durumu**

Ünitede her biri 37 ton/saat kapasiteli, kömür miktarına bağlı olarak ortalama 12,3 kWh/ton kömür elektrik tüketen toplamda 6 değirmen bulunmaktadır. Değirmenler DGS 50 tipi olup, üretici firması Babcock-Wilcox'tur. Değirmenlerin ön tarafında çekiç sistemi bulunmakta ve kömür besleyicilerden dökülen kömür, öncelikle bu çekiçler ile küçültülmekte ve ardından değirmen fan bölgesinde pulverize hale getirilerek yakıcılara gönderilmektedir. Normal şartlarda ünitede 5 değirmen çalışmakta ve 1 değirmen yedek olarak bekletilmektedir.

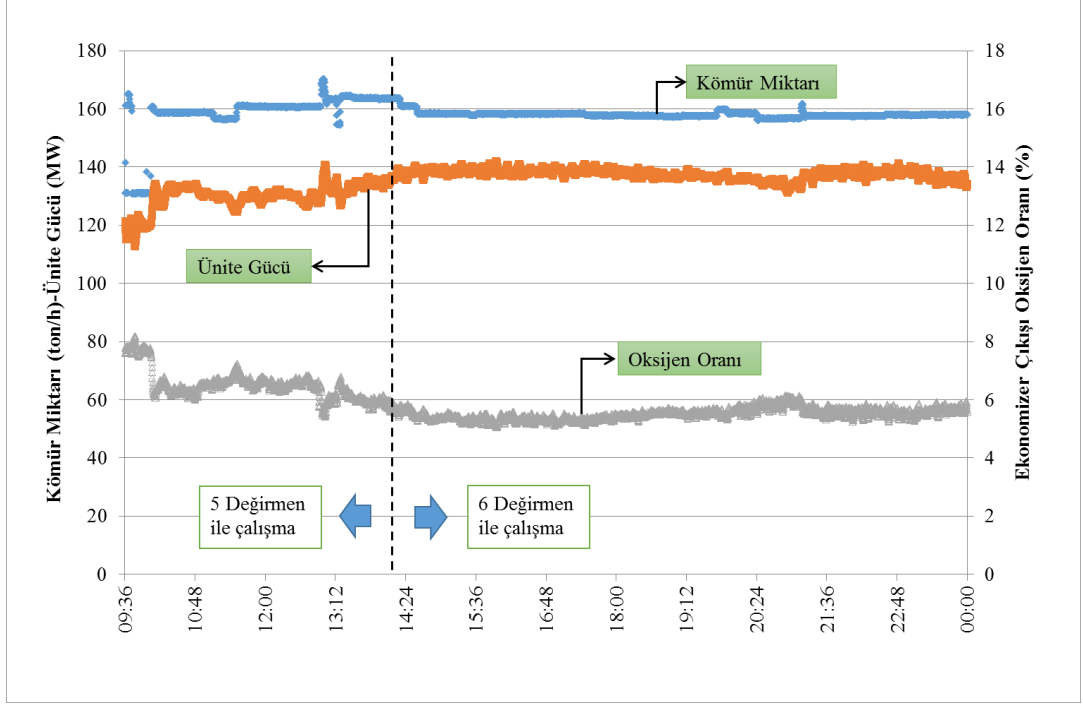
Tasarım değerlerine göre kazana alt ısıl değeri 2400 kcal/kg (%10) olan 161,81 ton/saat kömür beslendiğinde 165 MWe üretilebilmektedir. Bu durumda devrede olan 5 değirmenden her bir değirmenin yükü ortalama %87,5 olmaktadır. 6 değirmen çalışması durumunda ise birim değirmen başına kömür yükü %16,5 azalarak, yük %73 olmaktadır.

Bu doğrultuda, santralde ünitenin çalışma durumuna göre belirli aralıklarda 6 değirmen birlikte çalıştırılarak 3 aşamalı toplam 48 saat süre ile fiili testler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan 1. test de 00:20-03:20 saatleri arasında, Şekil 5.8'den de anlaşılacağı üzere ünitenin rahatlıkla mevcut durumundan daha yüksek güçte (~140 MW civarında) çalışabildiği ve aynı zamanda da kazan yanma odası çıkış sıcaklığının kazanın hem sağ tarafında, hem de sol tarafta homojen bir şekilde yaklaşık 950 °C civarında seyrettiği görülmüştür.



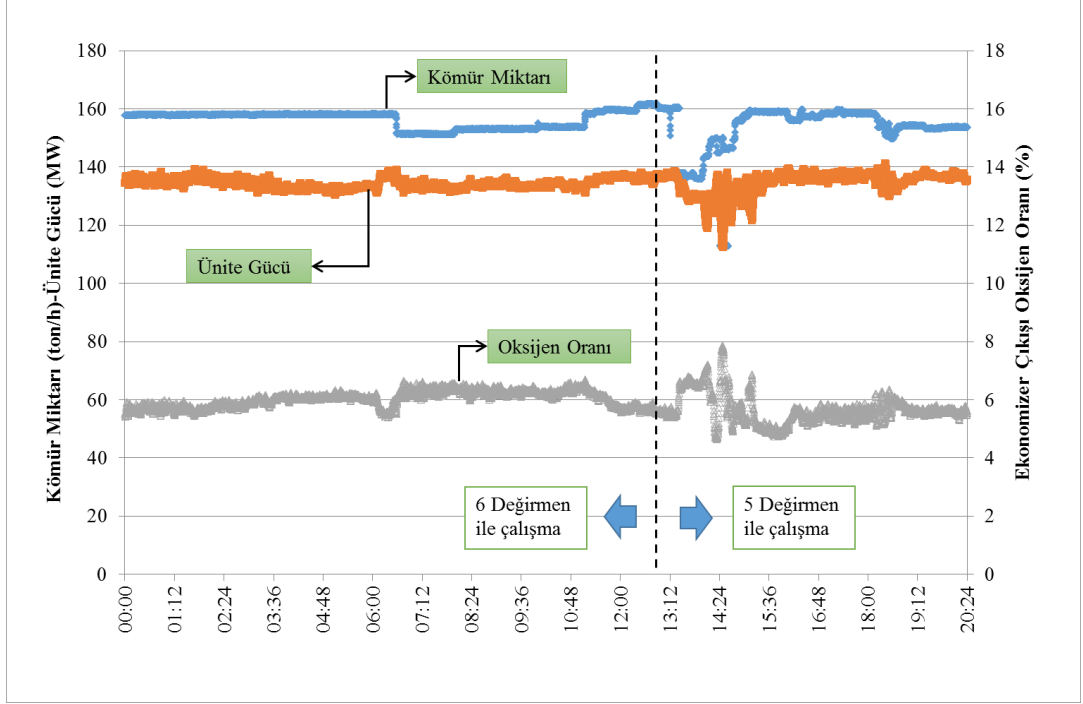
Şekil 5.8: Altı değirmen ile çalışma durumu, I. Test



Şekil 5.9: Altı değirmen ile çalışma durumu, II. Test

Şekil 5.9'de bir diğer çalışma 2 no'lu test, 6 değirmen ile birlikte çalışma durumu gösterilmektedir. Altı değirmen ile birlikte çalışıldığında ünite gücünün 140 MWe dolaylarında seyrettiği ve üniteye beslenen kömür miktarının ortalama olarak 157 ton/saat olduğu görülmektedir. Ön su ısıtıcı çıkışındaki oksijen oranı ise %5,5 – 6 arasındadır. Bu çalışma şartlarında kazan işletme parametrelerinin de çok dengeli gittiği görülmektedir. Beş değirmen ile çalışma bölgesine bakıldığında ise ünite yükünün çok dalgalandığı ve ortalama 130 MWe civarında seyrettiği, kazana beslenen kömür miktarının ortalama olarak 161 ton/saat civarında olduğu tespit edilmiştir. Kazan çıkış oksijen oranı ise %6,5-7 arasında seyretmiştir.

Bu grafiğe göre, ünitenin 6 değirmenle çalıştırılması ve oksijen oranının % 5,5-6 civarına çekilmesi ile kazan içinde homojen yanma sağlanmış, daha az kömür tüketimi ve daha az baca gazı ısı kaybıyla kazan daha verimli şekilde çalıştırılabilmektedir.



Şekil 5.10: Altı değirmen ile çalışma durumu, III. Test

Şekil 5.10'da ise 3 no'lu test, ünitenin 5 ve 6 değirmen çalışma durumunu göstermektedir. Saat 00:00 – 13:00 arasında 6 değirmen çalışma rejiminde tüm parametrelerin (oksijen (%6-7) – güç (~135 MWe) – kömür besleme (~155 t/h) ) dengeli olduğu görülmektedir. 5 değirmen çalışma durumuna geçildiğinde ise değirmen kaynaklı problemlerden dolayı ünitenin çok salınımlı çalıştığı görülmektedir.

Altı değirmen birlikte çalışmasının faydaları:

- Değirmenlerin yükü azalacağından, değirmen çıkış elek sıcaklığının kontrolü daha kolay olacaktır.
- Elek sıcaklığının daha geniş bir aralık bandında olmasıyla (rahatlama) değirmenlerin daha stabil ve boğulma olmaksızın çalışmasına katkı sağlayacaktır.
- Kazanı dörtbir yanını çevreleyen yakıcılardan eşit miktarlarda pulverize kömür beslemek mümkün olacağından kazan içinde daha dengeli bir yanma sağlanabilecektir.
- Değirmene daha az kömür beslenmesinden, değirmen öğütme plakaları birim zamanda aşınma azalacak, dolayısıyla bakım süreleri daha uzun süreye yayılabilecektir.

- Değirmen yükleri düşük olduğundan sıcak gaz kömüre daha iyi nüfuz edecek, değirmen oğtme performansı artacak ve kömür daha ince tane iriliğine oğtlebilecektir. Daha küçük tane iriliklerinde kömürün kazana beslenmesi yanma performansını artıracak böylece cürufta yanmamış madde miktarı azalacaktır.
- Özellikle kış aylarında aşırı nemli (amurumsu vb halde) gelen kömürün değirmende kurutulması daha kolay olacak ve istenilen limitlerde elek sıcaklıkları sağlanabilecektir. Böylece kazana kış aylarında da izin verilen maksimum kömür beslemesi yapılabilecektir. Bunun sonucu olarak ta alev topundaki bozunumlar minimuma ineceğinden, takviye amaçlı kullanılan fuel-oil tüketiminde tasarruf sağlanmış olacaktır. Bu durum elektrik üretim birim maliyetinin düşmesine de katkı sağlayacaktır.

Aşağıdaki şartların oluşması durumunda 6 değirmen birlikte çalıştırılabilir.

- Özellikle kış mevsiminden kaynaklı olumsuz şartlar ve değirmenlere beslenen kömürün nemi aşırı yüksek, dolayısıyla yeterli kurutma yapılamıyor ve ünite düşük yükte çalışılıyor ise,
- Türbin yönünden bir kısıtlama olmadığı halde, 5 değirmenle toplamda maksimum %450 taşıyıcı hıza karşılık gelen kömür beslemesi yapılamıyor ise,
- Değirmenlerde boğulma yaşanma riski var ise (elek sıcaklığı 150 °C'nin altında düşme eğilimi seyir ediyor ve/veya değirmen motor yükleri çok salınıyor veya %100'e yakın değerde çalışıyor ise),
- İşletme şartlarına bağlı olarak gerekli görülmesi halinde (elek sıcaklığı 160°C ve üzeri ve değirmen yükü %60-80 ise),
- Yük talebi olması durumunda, yukarıda belirtilen kriterler göz önünde bulundurularak 6 değirmen birlikte çalıştırılabilir.

6 değirmen ile birlikte çalışırken işletmede dikkat edilecek hususlar şunlardır.

- 6. Değirmen devreye alındığında kömürün nemine bağlı olarak elek sıcaklıkları yükseleceğinden bu sıcaklıklar devirdaim gazı ile düşürülerek istenilen seviyeye



çekilecektir. Bu nedenle, özellikle 6 değirmen ile çalışmada baca gazı devirdaim fanı açık değilse çalışma durumuna getirilmelidir.

- Devirdaim fanının kullanılması kazan içinde verimin düşmesine sebep olduğundan mümkün mertebe en az konumda, elek sıcaklıkları 180-190°C civarında olacak şekilde devirdaim klapeleri açık tutulmalıdır. Eğer elek sıcaklıkları 150-160°C arasında seyir ediyorsa devirdaim gazı kullanılmasına gerek yoktur.

- 6. Değirmenin devreye alınması ile birlikte diğer 5 değirmenin yükleri düşürülecek ve her bir değirmenin yükü yaklaşık %75'e getirilecektir. (Toplamda değirmenlerin yükü maksimum %450'yi geçmeyecektir.) Böylece değirmen yüklerinin eşit ve dengeli olmasıyla daha kontrollü bir yanma gerçekleştirilmiş olacaktır.

6 değirmen birlikte çalışılıyor iken;

- Tüm değirmenler ortalama %70-80 yükte çalışmakta (toplamda taşıyıcı hız yüzdeleri %420 - 450 arasında),
- Ünite yükü maksimumda (Mevcut durumda ~140 MWe) veya kömür ısı değerine göre daha düşük,
- Elek sıcaklıkları 160 °C'nin üzerinde ve değirmenlerde motor yükü %60-80 arasında olmalıdır [37].

## 6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Soma B Termik Santralı 2. Ünitesinde yapılan test ve analizlerden çıkarılan sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

Değirmen sonrası yakıcı kanalları kömür ölçümleri: Ünitadaki testler sırasında değirmen çıkışındaki yakıcı kanallarında kömür debisi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerde, 1, 2 ve 5. değirmenlerin 13 ve 17. metre yükseklikteki kömür sevk kanalları arasında kömür debisi farklarının %10'luk limit içinde kaldığı belirlenmiştir. Diğer değirmenlerin yakıcı kömür kanallarında ise limit değerleri aşan bir farkın olduğu, özellikle de 3 ve 5. değirmenlerde bu farkın (%25-36) oldukça yüksek gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Yakıtın 13 ve 17. m yüksekliklerine dağıldığı kısma uygun bir ayırma plakasının tasarlanıp, yerleştirilmesi ile kömür debilerinin eşitlenmesi sağlanabilir. 13 metre yükseklikteki alt ve üst yakıcılarda yapılan ölçümlerde ise pulverize kömürün çoğunlukla üst yakıcıdan gittiği; alt ve üst yakıcılardaki kömür debisi farklarının, 1. değirmen yakıcıları hariç %10'luk limit farktan çok daha fazla olduğu görülmüştür. Yakıtın 13 metre yükseklikte alt ve üst yakıcılara dağıldığı yere uygun bir ayırma plakası tasarlanarak kömür debilerinin eşitlenmesi sağlanabilir. Mevcut yakıcıların, yakıcı girişinde homojen yakıt-hava dağılımını sağlayabilen yeni teknoloji yakıcı modelleri ile güçlendirilerek kazanda yanma verimi artışı sağlanabilir.

Pulverize kömür elek analizleri: Kazan içerisinde daha verimli yanma için çapı 1 mm den büyük kömür taneleri oranının, ALSTOM tarafından tavsiye edilen standart değer (mak. %5 civarı) üzerinde (% 10) olduğu belirlenmiştir. İri taneli kömür parçacık oranının artması cüruftaki yanmamış karbon miktarının yükselmesinde en büyük sebeplerden birisidir.

Testlerde alınan kömür numunelerinin elek analizi sonuçlarındaki boyutları, tasarımda olması gereken kömür boyutları ile karşılaştırıldığında;

- 1 ve 2 nolu yakıcı kanallarından alınan kömür numunelerinin 1000 µm gözlü eleğin üstünde kalan miktarın %6-10 civarında olup standart değeri sağlamadığı,

- 1, 2, 4, ve 5 nolu yakıcı kanallarından alınan kömür numunelerinin 90 µm gözlü elekten geçen miktarı %35-45 aralığında olup, tasarımda olması gereken %50 sınırı sağlamadığı tespit edilmiştir.
- Elek analizi sonuçlarına göre, hiçbir yakıcı kanalı için kömür tane çap dağılımı optimum yanma için literatürde belirtilen 74 µm ve 297 µm sınır şartını sağlamamaktadır.

Değirmende istenilen çap dağılımında kömürün öğütülemediği elek analizleri sonucu anlaşılmıştır. Kömürün öğütülmesinde değirmen çekiç ve paletleri etkili olduğu gibi değirmen ayırıcılarının performansıda önemlidir. Kömür değirmene girmeden önce, değirmende çekiç ve paletlerin aşınım süresini hızlandıracak, yabancı maddelerden arındırılmalıdır. Değirmen ayırıcısına yapılacak uygun ilave tasarımla mevcut sistem iyileştirilebilir.

Elek sıcaklık cihazların ölçüm hassasiyeti önemli olup, değirmen çıkışında portatif sıcaklık ölçer ile sıcaklık ölçülerek doğruluğu kontrol edilmiştir. Buna göre, +11 ve -19°C sıcaklığa varan farklılıklar tespit edilmiştir. Elek sıcaklık ölçüm cihazları kanal içinde akan katı parçacıkların darbelerine maruz kaldıklarından haftada enaz birkez kalibre edilmelerinde fayda vardır.

Elek sıcaklığı kontrolünde kazandan çekilen sıcak gaz debisinde belirleyicidir. Sıcak gaz kanalı girişi, kazan duvarı ile birleştiği nokta, iç çeperinde yüksek sıcaklıklardan dolayı cüruflenme meydana gelmekte, gazın değirmene akmasını engel olmaktadır. Kazan çalışır vaziyette iken kanalların kapakları açılıp içerisinin temizlenmesi tehlikeli olduğundan, kanal girişine, dışardan basit müdahaleler ile temizleyecek şekilde, mekanik sistem tasarlanmalıdır. Temizleme işleminin günde en az bir kez yapılması kazan işletme açısından önem arz etmektedir.

Değirmen yakıcı kanalları gaz hızı ölçümleri: Literatürde, pulverize linyit yakıtlı kazanların yakıt besleme kanallarında gaz hızlarının yaklaşık 17-19 m/s arasında olduğu geçmektedir [30]. Kanallarda yapılan ölçümlerde hızların 20,6-27,5 m/s aralığında olduğu belirlenmiş olup bu hız değerleri istenen limit değerlerinin üstündedir. Bu durum yanmayı olumsuz etkilemekte ve kömür tanelerinin kazanda yanmadan kazanı terk etmesine neden olmaktadır.

Mevcut sistemde yakıcılar kazana aşağı doğru bir açı ile girmesi durumu kazan yanma odasına yüksek hızda giren kömür taneciklerin yanmadan kazan altı cüruf

teknesine düşmesine sebep olmaktadır. Yakıcı uçları aşağı-yukarı ayarlanabilecek şekilde yeniden tasarlanmalıdır.

Yanmamış karbon analizleri: Yapılan analizlerde, cüruf içerisindeki yanmamış karbon ölçülürken kalsiyum, sodyum ve magnezyum gibi alkali mineral bileşenlerinin ölçümlerde hatalara yol açabileceği ve yanmamış karbon oranlarını yüksek gösterebileceği sonucuna varılmıştır. Bu sebepten cüruftaki yanmamış karbon oranının tayininde ASTM D6316 normunun takip edilmesi önerilir.

Yakıcı giriş hava ayarları: Kazan yanma havasının (ikincil hava), kazan boyunca dağılımının oldukça etkili olduğu yapılan testler sonucunda tespit edilmiştir. Kazanın üst kısmındaki ikincil havanın kısılması kazanın alt kısmına daha fazla havanın gitmesine sebep olmaktadır. Üst ikincil hava klapelerinin kısılması cüruftaki yanmamış karbon oranını azaltırken, alt ikincil hava klapelerinin kısılması kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranını arttırmaktadır.

Ünite altı değirmen ile birlikte sorunsuz çalıştırılmıştır. 6. Değirmenin de devreye girmesi ile değirmenlere daha düşük debide kömür beslemesi yapıldığında, değirmenlere çekilen sıcak gaz debisi sabit kalıp, elek sıcaklıkları artmış ve kazan içinde daha iyi sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Bu durum özellikle kış aylarında kömürün aşırı nemli geldiği ve değirmende kurutulamadığı durumlarda işletmeye esneklik sağlayacak ve kömür neminden kaynaklı sorunları azaltacaktır. Testler sonucunda bulunan kazanın optimum çalışma parametreleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1: 2. Ünite kazanı için tavsiye edilen çalışma parametreleri.

| Parametre                                       | Birim | Açıklama                |
|---|-------|-------------------------|
| Ön su ısıtıcı Çıkışı (Tam Yükte) O <sub>2</sub> | %     | 5,5-6,0                 |
| İkincil Hava Klapeleri Pozisyonları             |       |                         |
| Alt (2.1)                                       | %     | 50                      |
| Üst (2.2)                                       | %     | 25                      |
| Değirmen Yükleri                                | %     | maks. fark %<br>8       |
| Tercih Edilen Değirmen Sayısı                   |       |                         |
| Yaz Aylarında                                   |       | 5                       |
| Kış Aylarında                                   |       | 6                       |
| Değirmenlerin Kömür Yüzdesi                     | %     | 6 x %75 veya<br>5 x %90 |

## KAYNAKLAR

- [1] Koç E., Kaplan E., (2008), “Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu-I Dünya Değerlendirmesi,” Termodinamik Dergisi, 187, 70-80.
- [2] Koç E., Kaplan E. (2008), “Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu-II Türkiye Değerlendirmesi,” Termodinamik Dergisi, 188, 106-118.
- [3] Koç E., Şenel M. C., (2013) Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu Genel Değerlendirme”, Mühendis ve Makina, 54, (639), 32-44.
- [4] Şenel M.C., (2012), “Rüzgar Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları-Dinamik Davranış,” Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- [5] WEC, (2014), “Enerji Raporu 2013”, World Energy Council.
- [6] TKİ, (2013), “Kömür Sektör Raporu (Linyit)”, Türkiye Kömür İşletmeleri .
- [7] IEA, (2014), “Key World Energy Statistics 2014”, International Energy Agency.
- [8] Web1, (2014), <http://enerjienergy.blogspot.com.tr/>, (Erişim Tarihi:20.09.2014).
- [9] WEC, (2013), “Enerji Raporu 2012”, World Energy Council.
- [10] ICT, “Quick Reference Guide”, Innovative Combustion Technologies.
- [11] Oman J., Senegacnik A., Dejanovic B., (2001), “Influence of lignite composition on thermal power plant performance Part 1: Theoretical survey”, Energy Conversion & Management, 42, 251-263.
- [12] Oman J., Senegacnik A., Dejanovic B., (2001), “Influence of lignite composition on thermal power plant performance Part 2: Results of tests”, Energy Conversion & Management, 42, 265-277.
- [13] Pieter R., Glarborg P., Dam-Johansen K., Knudsen P., Hesselmann G., Hepburn P., (1998), “Influence of Coal Quality on combustion performance”, 77, 1317-1328.
- [14] Jun X., Sun X., Hu S., Yu D., (2000), “An experimental research on boiler combustion performance”, Fuel Processing Technology, 68, 139–151.
- [15] Heper Y., (2001), “Buhar Santralleri Teorisi ve Uygulaması”, 4. Baskı, METU Press.
- [16] Rayaprolu K., (2009), “Boilers For Power And Process”, 3rd Edition, Taylor & Francis Group.

- [17] ASTM, (2012), “Standard Test Method for Sampling and Fineness Test of Pulverized Coal”, American Society for Testing and Materials, D197-87.
- [18] ICT, (2010), “ASME Coal Fineness Sampling Test Procedure”, Innovative Combustion Technologies.
- [19] ICT, (2007), “A Summary Of Experiences Related To Achieving Optimum Pulverizer Performance And Fuel Line Balance”, Innovative Combustion Technologies.
- [20] Joseph G., Singer P. E., (1991), “Combustion Fossil Power”, 1st Edition, Combustion Engineering.
- [21] Black&Veatch, (1996), “Power Plant Engineering”, 5th Edition, Springer Science.
- [22] Steinmüller, (1994) “Steam Generation”, 1st Edition, Vulkan-Verlag. Essen.
- [23] Radic D., Obradovic M., Stanovic M., Jovovic A. M., Stojiljkovic D. D., (2011), “A Study on the Grindability of Serbian Coals”, Thermal Science, 15, 267-274.
- [24] Kitto J. B., Stultz S. C., (2005), “Steam Its Generation And Use”, 5th Edition, Babcock & Wilcox Company.
- [25] Scott H. D., (1995), “Coal Pulverisers-Performance And Safety”, 7th Edition, International Energy Agency Coal Research.
- [26] Storm S. K., (2012) “Inter-Relationships of Combustion, Efficiency, Reliability, & Air Pollution Control”, Coal Combustion Residual Conference, Kansas City/Missouri/ABD, July 29-31 2012.
- [27] Spliethoff H. (2009), “Power Generation From Solid Fuels”, 4th Edition, Springer Science.
- [28] Web2, (2014), <http://fluid.wme.pwr.wroc.pl/~spalanie/dydaktyka/combustion>, (Erişim Tarihi:09/11/2014).
- [29] Güngör C., (2011) “EÜAŞ Termik Santralleri için Teknik Konularda Danışmanlık”, Soma B Termik Santrali Öncelikli Problemler ve Çözüm Önerileri-1 Raporu, 5115803, Marmara Araştırma Merkezi, Türkiye Bilimsel Teknolojik Araştırma Merkezi, Türkiye.
- [30] Guo X., Lv. A., Xiao F., (2012), “The Research on Design Parameters of Fan Mill Direct Pulverizing System”, Energy Procedia, 17, 1620–1626.
- [31] Ataş S., (2013) “Soma B Termik Santrali Ünite Kazanları ve Yardımcı Tesislerinde Emreanadeligi Düşüren Sebeplerin Araştırılması, Kazan Mevcut Durum Analizi Raporu (1. Aşama Testleri)”, 5122107, Marmara Araştırma Merkezi, Türkiye Bilimsel Teknolojik Araştırma Merkezi, Türkiye.

- [32] S. R. Turns, (2000) “Introduction To Combustion”, 5. Edition, Mc Graw Hill.
- [33] Atas S., Tekir U., Paksoy A. M., Çelik A., Çam M., Sevgel T., (2014), “Numerical and experimental analysis of pulverized coal mill classifier performance in the Soma B Power Plant”, Fuel Processing Technology, 126 (2014), 441–452.
- [34] Kitto J. B., Stultz S. C., (2005), “Principal of Combustion”, 5th Edition, Babcock & Wilcox Company.
- [35] Oman J., Senegacnik A., Dejanovic B., (2000), “Inluence of lignite composition on thermal power plantperformance Part 2: Results of tests”, Energy Conversion & Management, 42, 265-277.
- [36] Gay R. R., Palmer A. C., Erbes R. M., (2004), “Power Plant Performance Monitoring”, 3rd Edition , R-Squared Publishing.
- [37] Ataş S., (2014) “Soma B Termik Santrali Ünite Kazanları ve Yardımcı Tesislerinde Emreamadelığı Düşüren Sebeplerin Araştırılması, Kazan Mevcut Durum Analizi Raporu (2. Aşama Testleri-İyileştirme İhtiyaçları)”, 5122107, Marmara Araştırma Merkezi, Türkiye Bilimsel Teknolojik Araştırma Merkezi, Türkiye.

## ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Metin ÇAM 1986 yılında İstanbul'da doğdu. İlköğretim, ortaöğretim ve liseyi İstanbul'da tamamladıktan sonra 2006 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümüne başladı. 2011 yılında lisans eğitimini başarıyla tamamladıktan sonra aynı yıl TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM), Enerji Enstitüsü'nde termik santraller konusunda çalışan ekipte araştırmacı olarak işe başladı. 2012 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü (GYTE), Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Mustafa Metin ÇAM halen TÜBİTAK MAM, Enerji Enstitüsü'ndeki görevine devam etmekte ve ağırlıklı olarak pulverize kömür yakıtlı ve dolaşımli akışkan yataklı santrallerde kömür hazırlama ve besleme sistem tasarımları üzerinde çalışmaktadır.