

**T.C.**  
**TRAKYA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TRAKYA LİNYİTLERİNİN YAKILMASI SONUCUNDA KÜKÜRT (SO<sub>2</sub>)  
EMİSYONU DEĞERİNİN AZALTIMASI İÇİN OPTİMUM KİREÇTAŞI  
KATKI ORANININ BELİRLENMESİ**

**DAMLA ÖZGÜR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**UYGULAMALI BİLİMLER VE TEKNOLOJİ**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Kenan KARAÇAVUŞ**

**EDİRNE-2020**

ÖĞRENCİNİN DAMLA ÖZGÜR'ün hazırladığı “**Trakya linyitlerinin yakılması sonucunda kükürt (SO<sub>2</sub>) emisyonu değerinin azaltılması için optimum kireçtaşı katkı oranının belirlenmesi**” başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Uygulamalı Bilimler Ve Teknik Anabilim Dalında bir Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri( Unvan, Ad, Soyad):

Doç.Dr. Ceyhun KÖSE

Dr. Öğr. Üyesi İsmail BECENEN

Dr.Öğr. Üyesi Kenan KARAÇAVUŞ

İmza:



Tez Savunma Tarihi: 10/01/2020

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığımı onaylıyorum.

İmza

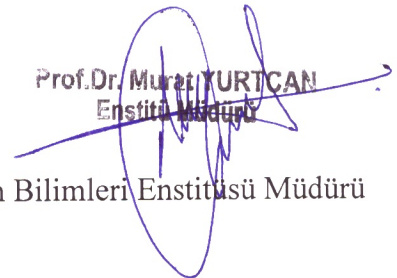
Dr. Öğr. Üyesi Kenan Karaçavuş



Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof.Dr. Murat YURTCAN  
Enstitü Müdürü

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



**T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**UYGULAMALI BİLİMLER VE TEKNOLOJİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**  
**DOĞRULUK BEYANI**

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

10/01/2020

**DAMLA ÖZGÜR**

İmza 

Yüksek Lisans Tezi

Trakya linyitlerinin yakılması sonucunda kükürt (SO<sub>2</sub>) emisyonu değerinin azaltılması için optimum kireçtaşı katkı oranının belirlenmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji

## ÖZET

Hızla değişen ve gelişen teknolojiyle birlikte her yıl artmakta olan enerji miktarı, verimli enerji kaynaklarının azalması, düşük kaliteli başka bir deyişle düşük ısı değere, yüksek kükürt, kül ve nem içerikleri nedeniyle yüksek çevre kirlenme potansiyeline sahip linyitlerin gerek endüstride gerekse konutlarda yaygın olarak kullanılması atmosfer kirliliğini arttıracaktır.

Ancak, yaklaşık olarak 8-10 Milyon ton linyit rezervine sahip ülkemizde dışa bağımlılığı azaltmak için öz enerji kaynaklarımızı değerlendirmek gerekmektedir. Son zamanlarda fosil yakıtlar ve çeşidi olan kömür, linyitin çevre için kabul edilebilir bir yakıt haline getirilebilmesinde, yakma teknolojileri konusunda önemli çalışmalar yapılmaktadır.

Genelde yakmada kullanılan linyit kömürlerinin kükürt oranları yüksektir. Yanma sonucu baca gazlarından çıkan SO<sub>2</sub> emisyonu insan sağlığına ve çevreye büyük oranda zarar vermektedir. Ülkemizde konutlarda kullanılan kömürler yıkanmış, elenmiş, ısıl değerleri uygun tane kömür olarak kullanılmaktadır. Konut ısıtmasında kullanılan, yanmada problem yaratmayan kömürlerin SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılmasında kullanılan en basit yöntem kömüre kireç karıştırılmasıdır.

Bu çalışmada Trakya yöresindeki linyitlerin yakılmasında, bacadan çevreye salınacak kükürt (SO<sub>2</sub>) gazı oranını en aza indirmek için ve bunu sağlarken yanma verimini düşürmeyecek optimum kireçtaşı katkı oranı belirlemek amacıyla Trakya yöresindeki kapalı tip farklı linyit işletmelerinden alınan numunelere değişik oranlarda kireç taşı eklenerek laboratuvar ortamında “ Bombalı Kalorimetre Metodu” uygulanarak yakılıp, optimum kireç taşı katkı oranı belirlenmeye çalışılacaktır.

Yıl : 2020

Sayfa Sayısı : 156

Anahtar Kelimeler : Trakya Linyitleri, Kireçtaşı, Kükürt,



Master's Thesis

The determination of the optimum limestone content for the reduction of SO<sub>2</sub> emission in the combustion of Thracian lignites

Trakya University Institute of Natural Sciences

Applied Sciences and Technology

## **ABSTRACT**

The industrial and residential atmospheric pollution has been increased recently not only with the rapidly changing and developing technology and the increasing amount of energy demand while decreasing efficient energy sources, but also with burning the high environmental pollutant potential lignite having low quality, in other words low thermal value, high sulfur, ash and moisture contents.

Nevertheless, in our country, which has approximately 8-10 million tons of lignite reserves, it is necessary to evaluate our own energy resources in order to reduce dependence on foreign sources. Recently, coal and lignite which are the kind of fossil fuel, are being made important studies on combustion technologies in making lignite an acceptable fuel for the environment.

Generally, lignite coals used in combustion have high sulfur content. SO<sub>2</sub> emissions from the flue gases as a result of combustion greatly harm human health and the environment. In Turkey, the coals burned in the houses are washed, sieved and used as grain pellets with suitable thermal values. The simplest method used to reduce SO<sub>2</sub> emissions of coals used in residential heating is to mix lime into coal.

In this study, the optimum limestone additive ratio that will not decrease the combustion efficiency will be determined in order to minimize the rate of sulfur (SO<sub>2</sub>) gas to be released from the chimney to the environment in the combustion of Thrace lignite in the laboratory environment by using the bomb calorimeter method.

Year : 2020

Number of Pages :156

Keywords : Thrace lignites,limestone, sulfur



## TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim ve tez sürecinde, desteğini hiç esirgemeyen ve güvenini her zaman hissettirerek motivasyonumu yüksek tutmamı sağlayan sevgili danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Kenan Karaçavuş hocama, aldığım her kararda yanımda olan ve elinden gelen desteği sağlayan annem Sebahat Pekiner ve babam Kadir Pekiner ' e teşekkürlerimi sunarım. Tüm zorluklara ve engellere rağmen varlığı ve desteği ile yanımda olan eşim Gürdal Özgür'e teşekkür ederim.

Ayrıca, deneysel çalışmama 1350 tl lik kaynak desteği sağladığından dolayı TUBAP ( Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri ) (2019/3) birimine teşekkürlerimizi bir borç biliriz.

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
EKLER DİZİNİ .....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xix
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	2
LİTERATÜR TARAMASI.....	2
BÖLÜM 3 .....	5
KÖMÜR.....	5
3.1    Kömürün Oluşumu ve Sınıflandırılması .....	5
3.1.1.    Turbaların Oluşumu.....	6
3.1.2    Turbaların Kömüre Dönüşümü.....	6
3.1.3    Kömürün Yapısı ve Özellikleri .....	7
3.1.3.1 Kömürün Kimyasal Özellikleri .....	7
3.1.3.2. Kömürün Fiziksel Özellikleri .....	7
3.1.4    Kaliteli Bir Kömürde Aranan Özellikler .....	9
3.1.5    Linyitlerin Genel Özellikleri .....	10
3.1.6    Kömürlerin Sınıflandırılması.....	10
3.1.6.1 Antrasit.....	11
3.1.6.2 Taş Kömür .....	11
3.1.6.3 Linyit.....	12
3.2    Dünyada Kömür .....	12
3.3    Türkiye de Kömür .....	16
3.4    Yakıtlarda Kükürt İçeriği .....	18

3.5	Hava Kirliliği .....	19
3.6	Havanın Kirlenmesinde Kömürün Etkisi .....	21
BÖLÜM 4 .....		23
YANMA.....		23
4.1.	Yanma Tepkimesi .....	23
4.2.	Yanma Tepkimesinin Özellikleri .....	23
4.3.	Yanma Kimyası.....	24
4.4.	Çıkış Gazındaki Yanabilen Maddeler .....	24
4.5.	Az Hava ile Yanma .....	26
4.6.	Fazla Hava İle Yanma.....	26
4.7.	Tam Yanma İçin Oksijen Ayarı .....	26
4.8.	Kendiliğinden Yanma .....	26
4.9.	Kendiliğinden Yanmayı Etkileyen Faktörler .....	27
4.10.	Kömürün Yüksek Sıcaklık Karşısında Davranışı.....	28
4.11.	Kazanlarda Yakma Yöntemi .....	28
4.11.1.	Kazanların Sınıflandırılması .....	28
4.11.2.	Kazan Verimini Etkileyen Etkenler .....	28
4.12.	Pulverizörler (Eziciler, Öğütücüler) .....	31
4.13.	Brülörler (Yakıcılar).....	33
4.14.	Izgara Üzerinde Yakma .....	34
4.14.1.	Sabit Izgara Üzerinde Yakıt Yatağında Yakma.....	34
4.14.2.	Sabit Izgara Üzerinde Akışkan Yatakta Yakma .....	34
4.14.3.	Hareketli Izgara Üzerinde Yakma .....	34
4.15.	Kömürün Toz Halinde Yakılmasının Tercih Sebepleri.....	35
4.16.	Akışkan Yatakta Yakma İşlemi.....	35
4.17.	Yanma Verimi .....	36
BÖLÜM 5 .....		40
DESÜLFÜRİZASYON YÖNTEMLERİ.....		40
5.1.	Kömürde Kükürt Giderimi Yöntemleri.....	40
5.1.1.	Fiziksel Yöntemler.....	40
5.1.2.	Kimyasal Yöntemler .....	41
5.1.3.	Biyolojik Yöntemler .....	41
5.2.1.	Islak Sistemler .....	42

5.2.1.1.	Wellman- Lord prosesi.....	42
5.2.1.2.	Wealther prosesi.....	42
5.2.2.	Kuru Sistemler.....	43
5.2.3.	Püskürtmeli Kurutma Sistemleri .....	45
5.2.4.	Desülfürizasyon Verimini Etkileyen Faktörler .....	45
BÖLÜM 6.....		47
MATERYAL VE METOD.....		47
6.1	Kömürün Yapısı .....	47
6.2	Kömüre Uygulanan Kimyasal Analizler .....	48
6.2.1	Proximate analysis (kısa analiz) .....	48
6.2.2	Ultimate Analysis (Elemental Analiz).....	50
6.2.3	Isıl Değer Tespiti .....	51
6.2.4	Diğer Analizler .....	51
6.3	Kömür Kimyasal Analiz Sonuçları .....	51
6.4	Yapılacak Olan Deneyin Asıl Amacı.....	52
6.5	Numune Alma .....	52
6.6	Deneyin Yapılışı.....	53
6.7	Üst Isıl Değer Hesapları .....	62
6.7.1	Harmanlı .....	62
6.7.2	Altinyazı.....	67
6.7.3	Karapürçek.....	72
6.7.4	Malkara .....	77
6.7.5	Keşan .....	82
6.8	KÜKÜRT ORANLARI .....	87
6.9	ÖLÇÜLEN VE HESAPLANAN DENEY SONUÇLARI.....	90
BÖLÜM 7.....		105
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....		105
KAYNAKLAR .....		108
7. EKLER .....		110
CİHAZDAN ALINAN ÖLÇÜM TABLOLARI .....		110
HARMANLI.....		110
ALTINYAZI.....		115
KARAPÜRÇEK .....		120

MALKARA.....	125
KEŞAN.....	130
ÖZGEÇMİŞ.....	136



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1:Konik bilyeli pulverizetör.....	32
Şekil 4.2:Bilyelerin hareket şekli.....	32
Şekil 4.3:Darbeli pulverizetör.....	32
Şekil 4.4:Basınçlandırılmış akışkan yataklı bir fırının şematik görünümü .....	35
Şekil 4.5:Dikey Yanma.....	38
Şekil 4.6:Teğetsel.....	38
Şekil 4.7:Yatay Yanma .....	39
Şekil 4.8:Siklon Yanma .....	39
Şekil 4.9:Zıt Yanma .....	39
Şekil 6.1: Kömürlerle İlişkili Element Ve Minerallerin Kökeni Ve Hareket Yönleri.(Storage, Jeoloji, Analizler).....	47
Şekil 6.2: Kömür Bileşenleri için kullanılan ve farklı bazları ifade eden analizler (Ocakoglu, 2015). .....	52
Şekil 6.3: Test Eleği.....	53
Şekil 6.4:Kömür + kireç karışımı .....	54
Şekil 6.5:Etüv (Memmert) .....	54
Şekil 6.6: Hassas terazi .....	55
Şekil 6.7: 1 gr numune .....	55
Şekil 6.8: Fital Bağlama .....	55
Şekil 6.9: Gömlek İçine Yerleştirme .....	56
Şekil 6.10:Gömlek Kapağı Kapama .....	56
Şekil 6.11:Gömlek İçine Oksijen Basılma.....	56
Şekil 6.12: Leco AC500 Software .....	57
Şekil 6.13: Kroze .....	58
Şekil 6.14: Fırın .....	58
Şekil 6.15: Analiz sonucunun ekranda görünmesi.....	59
Şekil 6.16: Keşan Verimi Grafiği .....	95
Şekil 6.17: Malkara Verimi Grafiği.....	96
Şekil 6.18:Karapürçek Verimi Grafiği.....	96
Şekil 6.19: Altınyazı Verimi Grafiği .....	97
Şekil 6.20: Harmanlı Verimi Grafiği .....	97
Şekil 6.21: Verim Ortalaması Grafiği.....	98
Şekil 6.22: Keşan Kükürt Grafiği .....	98
Şekil 6.23: Malkara Kükürt Grafiği.....	99
Şekil 6.24: Karapürçek Kükürt Grafiği.....	99
Şekil 6.25: Altınyazı Kükürt Grafiği .....	100
Şekil 6.26: Harmanlı Kükürt Grafiği .....	100

Şekil 6.27:Keşan % Verim Ortalama Grafiği .....	101
Şekil 6.28: Malkara % Verim Ortalama Grafiği .....	101
Şekil 6.29: Karapürçek % Verim Ortalama Grafiği .....	102
Şekil 6.30:Altinyazı % Verim Ortalama Grafiği .....	102
Şekil 6.31: Harmanlı % Verim Ortalama Grafiği .....	103
Şekil 6.32:Ortalama Verim Değerler Grafiği .....	104
Şekil 6.33: Ortalama Kükürt Değerler Grafiği .....	104



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1: Uluslararası Genel Kömür Sınıflandırılması (Anonymous 1983, Hayta,2010).....	10
Çizelge 3.2: Kömür Çeşitleri Ve Kullanım Alanları .....	11
Çizelge 3.3: Dünyada Kömür Rezervinin Ülkelere Göre Dağılımı ve Tükenme Ömürleri( Taş kömürü Raporu, 2018) .....	13
Çizelge 3.4: 2000-2018 yılları arası Zonguldak Havza Taşkömürü Üretimi (Taş kömürü Raporu, 2018) .....	17
Çizelge 3.5: Bölgeler bazında linyit rezervleri ve ortalama kimyasal özellikleri(Hayta,2010) .....	18
Çizelge 4.1: Yanmayı Etkileyen Başlıca Faktörler (Feng, 1973) (Karpuz, Güyagüler, Bağcı, Başarır, & Keskin, 2000).....	27
Çizelge 4.2: Gaz yakıtlar için Sitokiyometrik hava/yakıt oranı.....	37
Çizelge 4.3:Sıvı ve katı yakıtlar için Sitokiyometrik hava/yakıt oran .....	37
Çizelge 6.1: Harmanlı %100 Kömür .....	62
Çizelge 6.2: Harmanlı %1 Kireç.....	62
Çizelge 6.3:Harmanlı %2 Kireç.....	63
Çizelge 6.4: : Harmanlı %3 Kireç.....	63
Çizelge 6.5: : Harmanlı %4 Kireç.....	64
Çizelge 6.6: Harmanlı %5 Kireç.....	64
Çizelge 6.7: Harmanlı %6 Kireç.....	65
Çizelge 6.8: Harmanlı %7 Kireç.....	65
Çizelge 6.9: : Harmanlı %8 Kireç.....	66
Çizelge 6.10: Harmanlı %9 Kireç.....	66
Çizelge 6.11: Altınyazı %100 Kömür.....	67
Çizelge 6.12: Altınyazı %1 Kireç .....	67
Çizelge 6.13: Altınyazı %2 Kireç .....	68
Çizelge 6.14: Altınyazı %3 Kireç .....	68
Çizelge 6.15: Altınyazı %4 Kireç .....	69
Çizelge 6.16: Altınyazı %5 Kireç .....	69
Çizelge 6.17: Altınyazı %6 Kireç .....	70
Çizelge 6.18: Altınyazı %7 Kireç .....	70
Çizelge 6.19: Altınyazı %8 Kireç .....	71
Çizelge 6.20: Altınyazı %9 Kireç .....	71
Çizelge 6.21: Karapürçek %100 Kömür.....	72
Çizelge 6.22: Karapürçek %1 Kireç .....	72
Çizelge 6.23:Karapürçek %2 Kireç .....	73

Çizelge 6.24: Karapürçek %3 Kireç .....	73
Çizelge 6.25: Karapürçek %4 Kireç .....	74
Çizelge 6.26: Karapürçek %5 Kireç .....	74
Çizelge 6.27: Karapürçek %6 Kireç .....	75
Çizelge 6.28: Karapürçek %7 Kireç .....	75
Çizelge 6.29: Karapürçek %8 Kireç .....	76
Çizelge 6.30: Karapürçek %9 Kireç .....	76
Çizelge 6.31: Malkara %100 Kömür .....	77
Çizelge 6.32: Malkara %1 Kireç.....	77
Çizelge 6.33: Malkara %2 Kireç.....	78
Çizelge 6.34: Malkara %3 Kireç.....	78
Çizelge 6.35: Malkara %4 Kireç.....	79
Çizelge 6.36: Malkara %5 Kireç.....	79
Çizelge 6.37: Malkara %6 Kireç.....	80
Çizelge 6.38: Malkara %7 Kireç.....	80
Çizelge 6.39: Malkara %8 Kireç.....	81
Çizelge 6.40: Malkara %9 Kireç.....	81
Çizelge 6.41: Keşan %100 Kömür .....	82
Çizelge 6.42: Keşan %1 Kireç .....	82
Çizelge 6.43: Keşan %2 Kireç .....	83
Çizelge 6.44: Keşan %3 Kireç .....	83
Çizelge 6.45: Keşan %4 Kireç .....	84
Çizelge 6.46: Keşan %5 Kireç .....	84
Çizelge 6.47: Keşan %6 Kireç .....	85
Çizelge 6.48: Keşan %7 Kireç .....	85
Çizelge 6.49: Keşan %8 Kireç .....	86
Çizelge 6.50: Keşan %9 Kireç .....	86
Çizelge 6.56: Keşan Kükürt Oranları .....	87
Çizelge 6.57: Malkara Kükürt Oranları .....	87
Çizelge 6.58: : Karapürçek Kükürt Oranları.....	88
Çizelge 6.59: Altinyazı Kükürt Oranları.....	88
Çizelge 6.60: : Harmanlı Kükürt Oranları .....	88
Çizelge 6.61:Keşan Linyit Kömür % Oranları .....	90
Çizelge 6.62:Malkara Linyit Kömürü % Oranları .....	91
Çizelge 6.63:Karapürçek Linyit Kömürü % Oranları.....	92
Çizelge 6.64:Altinyazı Linyit Kömürü % Oranları .....	93
Çizelge 6.65: Harmanlı Linyit Kömürü % Oranları .....	94

## EKLER DİZİNİ

Ek 1: Harmanlı %100 kömür .....	110
Ek 2: Harmanlı %1 kireç .....	111
Ek 3: Harmanlı %2 kireç .....	111
Ek 4: Harmanlı %3 kireç .....	112
Ek 5: Harmanlı % 4 kireç .....	112
Ek 6: Harmanlı %5 kireç .....	113
Ek 7: Harmanlı %6 kireç .....	113
Ek 8: Harmanlı %7 kireç .....	114
Ek 9: Harmanlı %8 kireç .....	114
Ek 10: Harmanlı %9 kireç .....	115
Ek 11: Altinyazı %100 kömür .....	115
Ek 12: Altinyazı %1 kireç.....	116
Ek 13: Altinyazı %2 kireç.....	116
Ek 14: Altinyazı %3 kireç.....	117
Ek 15: Altinyazı %4 kireç.....	117
Ek 16:Altinyazı %5 kireç.....	118
Ek 17:Altinyazı %6 kireç.....	118
Ek 18:Altinyazı %7 kireç.....	119
Ek 19:Altinyazı %8 kireç.....	119
Ek 20:Altinyazı %9 kireç.....	120
Ek 21:Karapürçek %100 kömür .....	120
Ek 22:Karapürçek %1 kireç .....	121
Ek 23:Karapürçek %2 kireç .....	121
Ek 24:Karapürçek %3 kireç .....	122
Ek 25:Karapürçek %4 kireç .....	122
Ek 26:Karapürçek %5 kireç .....	123
Ek 27:Karapürçek %6 kireç .....	123
Ek 28:Karapürçek %7 kireç .....	124
Ek 29:Karapürçek %8 kireç .....	124
Ek 30:Karapürçek %9 kireç .....	125
Ek 31:Malkara %100 kömür.....	125
Ek 32:Malkara %1 kireç .....	126
Ek 33:Malkara %2 kireç .....	126
Ek 34:Malkara %3 kireç .....	127
Ek 35:Malkara %4 kireç .....	127
Ek 36:Malkara %5 kireç .....	128

Ek 37:Malkara %6 kireç .....	128
Ek 38:Malkara %7 kireç .....	129
Ek 39:Malkara %8 kireç .....	129
Ek 40:Malkara %9 kireç .....	130
Ek 41:Keşan %100 kömür .....	130
Ek 42:Keşan %1 kireç.....	131
Ek 43:Keşan %2 kireç.....	131
Ek 44:Keşan %3 kireç.....	132
Ek 45:Keşan %4 kireç.....	132
Ek 46:Keşan %5 kireç.....	133
Ek 47:Keşan %6 kireç.....	133
Ek 48:Keşan %7 kireç.....	134
Ek 49:Keşan %8 kireç.....	134
Ek 50:Keşan %9 kireç.....	135



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- BN=Bünye Nemi  
Btu: İngiliz Isı Birimi  
C: Karbon  
CO: Karbon Monoksit  
CO<sub>2</sub>: Karbon dioksit  
CaSO: Kalsiyum Sülfid  
CaSO<sub>4</sub>:Kalsiyum Sülfat  
CaO: Kalsiyum Oksit  
M<sub>kap</sub>: Kabın Kütlesi(Dara) (gr)  
d: Yoğunluk(g/cm<sup>3</sup>)  
H: Hidrojen  
H<sub>2</sub>O: Su  
HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>:Hidrojen Sülfid  
H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:Sülfürik Asit  
H<sub>a</sub>=Alt Isıl Değer (kcal/kg)  
H<sub>u</sub> =Üst Isıl Değer (kcal/kg)  
H<sub>kireç</sub>= Kireç Alt Isıl Değer (kcal/kg)  
H<sub>kömür</sub>=Kömür Alt Isıl Değer (kcal/kg)  
K:Potasyum  
KO=Kül Oranı(%)  
MTEP: Milyon Ton Eşdeğer Petrol  
Na: Sodyum  
O: Oksijen  
P: Fosfor  
S: Kükürt  
SA= Son Ağırlık (gr)  
SO<sub>2</sub> Kükürt Dioksit  
SO<sub>3</sub>: Kükürt Trioksit

$SO_4$ :Sülfat

$M_{top}$ = Toplam Ağırlık

YN= Yüzey Nemi (%)

TN=Toplam Nem (%)

$\eta$ =Verim

$M_{kömür}$ : Kömürün Kütlesi (gr)



# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

Enerji kaynaklarını incelerken, çevresel etkilerinden ayrı düşünmek mümkün değildir. Kömür ve linyit gibi fosil yakıtların yanması sonucunda oluşan CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, hava kirliliğinin artmasında en önemli sebeptir. Endüstride ve konut ısıtma yakıtların kullanılması sonucu, atmosfere her yıl milyarlarca ton zehirli bileşikler salınmaktadır. Fosil yakıtların yanmasından oluşan emisyonların en zararlıları SO<sub>2</sub> dir.

Yakıtların yanması sonucu açığa çıkan SO<sub>2</sub> miktarı yakıttaki kükürt miktarı ile orantılıdır. Yakıtın bünyesindeki organik kükürdün toplamı olarak da bilinen yanıcı kükürt, SO<sub>2</sub>'yi oluşturur.

İçerisindeki kükürt miktarı daha fazla olan kömürün yakılması sonucu dışarıya daha fazla kükürt oksit (SO<sub>2</sub>) yayınımları çıkmaktadır. Kükürdün yüksek sıcaklıklarda kararlı olan bileşiği SO<sub>2</sub> dir. Ancak az bir miktarda SO<sub>3</sub> de oluşur. Fakat miktarının azlığında dolayı SO<sub>3</sub> kabul edilmez. Asit yağmurları; kükürt oksidin suyla birleşiminden oluşmaktadır. SO<sub>2</sub> yayınımlarının insan sağlığı ve doğal denge için bir üst sınır miktarı vardır. Bu miktarın üzerine çıkıldığında toplu ölümler meydana gelmektedir.

Türk linyitleri düşük kalitede kömürlerdir ve kükürt yayınımlarları yüksektir. Bu tip kömürlerin yakılmasında, en verimli faydalanma yöntemlerinden en önemlisi Akışkan yataklı yakma sistemleri olup, bu tip yakma sistemleri düşük kalitedeki kömürlerin verimli bir şekilde yakılması ile elde edilen yüksek ısı ve kütle transferlerinden dolayı kazanla birlikte 850°C de oluşan NO<sub>x</sub> miktarının çokluğundan dolayı kullanımları çok yaygındır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR TARAMASI

Bülent D. Çift (2008), bu çalışmada, termik santrallerde kullanılan kömürün baca gazı içerisindeki kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) yayılımının en aza indirilerek SO<sub>2</sub>'nin çevre ve insan sağlığına olan olumsuz etkilerini ortadan kaldıracak veya azaltacak baca gazı desülfürizasyon yöntemlerinin ekonomik ve teknik açıdan değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma sonucunda çayırhan linyit yatakları Beypazarı trona yataklarına 25 km mesafede olduğu için "yapılan işlemlerde %10 desülfürizasyon sağlanmış. Ancak "Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği'nin Kontrolü Yönetmeliği'nde belirlenen kükürt sınır değerleri sonuçları elde edilememiştir. Kömür kükürt içerikleri incelendiği zaman toplam kükürtteki yanar kükürt oranının küldeki kükürde göre çok fazla olduğu görülmektedir. Desülfürizasyon sonucunda Tunçbilek kömüründeki alt ve üst ısı değerleri karşılaştırıldığında bir azalma veya arttırma gözlenmemiştir. Tunç bilek kömüründe hümitik asit içeriğinin çok düşük olduğu ve işlem sırasında NaOH ile herhangi bir hümitik madde oluşumu gözlemlenmemiştir. Deneylerde hümitik madde oluşumu sıklıkla görülürken kömürün yapısında karbonlu organiklerin uzaklaşmasına ve kükürt oranında belli bir artış gözlemlenmektedir.

Ramazan Köse, bu çalışmada düşük kaliteli linyitlerin modern akışkan yataklı yakıcıda yakılması sırasında SO<sub>2</sub> emisyonu araştırılmıştır. Her türlü linyiti sadece işletme koşullarını zorlayarak yakmak mümkün olmayacağından sistem tasarrufu ve seçiminde linyitlerin karakterlerine uygun teknolojiler geliştirilmelidir. Sistemlere beslenecek kömürlerin özelliklerinde büyük sapmalar olmamalıdır.

SO<sub>2</sub> emisyonunun kontrolünde; yatak sıcaklığı, kireçtaşı özelliği, akışkan yatağın özelliği, yatakta gazın kalma süresi, tanecik çapı, yataktaki kükürt miktarı dikkat edilmelidir.

Mehmet Yılmaz, Mesut Gür, İsmail Çallı, bu çalışmada kükürt içerikli yakıtların yanmasında SO<sub>2</sub>'nin ortaya çıkması, SO<sub>2</sub> emisyonlarını baca gazlarından arıtılması için sorbentler kullanılması incelenmiştir. Kalsiyum bazlı sorbentler kireç kireçtaşı ve kalsiyum hidroksit desülfürizasyon işlemlerinde en çok kullanılanlardır. Suyla meydana getirdikleri ıslak sistemler %90 üzerinde SO<sub>2</sub> tutma verimine ulaşmıştır. Kuru ve yarı ıslak sistemlerde daha düşük SO<sub>2</sub> tutma verimi elde edilmesine karşın, sistemin imalat ve işletme maliyeti ucuzluğu teknik kolaylıkları nedeniyle üstünlük göstermektedir. Türkiye linyit kömürleri yüksek miktarda kükürt elementi içermektedir. Fakat kükürt içerikleri çıkarıldıkları bölgelere göre çok farklılık göstermektedir. SO<sub>2</sub> emisyon sınır değerlerine desülfürizasyon teknikleriyle ulaşılabilir. Büyük yakma tesislerinde ıslak sistemler gerekli olur iken, küçük ve orta ölçekli tesislerde kuru ve yarı kuru sistemler uygun ve yeterli olmaktadır.

Handan Çubuk, Hasan A. Heperkan (2000), bu çalışmada SO<sub>2</sub> emisyonu teorik olarak hesaplanması ele alınmıştır. Orhaneli linyitlerinin akışkan yataklarda yakılması sonucunda yatak içindeki yakma sıcaklığının ortalama 835°C'de ancak SO<sub>2</sub> emisyonunun teorik olarak hesaplanan değerlere uyum sağlamadığı gözlemlenmektedir. Orhaneli linyitinin akışkan yataklı yakma sisteminde (AYY) yakılması sonucunda ölçülen SO<sub>2</sub> emisyonları, ASTM standartlarına göre yapılan analizlerde elde edilen değerler çok düşüktür. Bu emisyon değerleri, yanma sıcaklığı 835°C de elde edilen çalışmaların SO<sub>2</sub> sonuçları ile uyumludur.

Tülay Eskikaya, hızlı sanayileşmenin insanlık açısından çevre kirlenmesi gelmektedir. Aynı zamanda deniz ürünleri, tarım ve hayvancılık içinde büyük sorun teşkil etmektedir. Kömürün yanma sonucu havaya verilen kükürt azot gazlarının hava kirliliğine yol açmaktadır. Kullanılan kömürün yanmasında yapılan deneylerde kireçtaşı eklenmelidir. Eklenen her kireçtaşı reaktivitesinin aynı olmadığı ve taşın kaynağına göre farklılık gösterdiği görülmektedir.

Gizem Hazan Çağlayan (2016), bu çalışmada meşe külü kullanılarak kömürden kükürt giderimi amaçlanmıştır. Çalışmada meşe külünün organik kükürt giderimi üzerinde de önemli bir etki etmediği gözlemlenmektedir. Karbon ve kalori değerleri de belirlenmiş bunlar üzerinde de pek bir değişim olmadığı saptanmıştır. İncelenen kömürler; Ermenek kömürü kükürt giderim veriminde %17-% 47 arasında olduğu tespit edilmiştir. Piritik kükürt giderimi ise %13- %60 arasında tespit edilmiştir. Meşe külü nün karbon değerlerini pek etkilemediği görülmektedir. Tunç bilek kömüründe, kükürt

giderimi verimi %8 -%59 arasında olduğu belirlenmektedir. Piritik kükürt giderim verimi meşe külü miktarına bağlı olarak %15-%28 değişmektedir. Organik kükürdün meşe külü ile sonuçların pek etkilenmediği karbon değerlerinde çok fazla değişim gözlenmemektedir. Kömürün kalori değerini de etkilememektedir. Sorgun kömürü toplam kükürt gideriminin %20 - %29 arasındadır. Piritik kükürt giderim verimi %42-%58 arasındadır. Organik kükürt değerlerini meşe külünün önemli düzeyde etkilenmediği gözlemlenmektedir. Burdur kömürü, toplam kükürt verimi %26-%41 arasında olduğu, Piritik kükürt giderim verimi %25-%54 arasında olduğu, Organik kükürdü ve kömürün karbon değerini pek önemli düzeyde etkilemediği tespit edilmiştir. Potasyum hidroksitin kükürt azaltma verimi üzerinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni potasyum hidroksitin meşe külü ile birlikte uygulandığında kükürt azaltılma oranı arttığı sonucuna varılmaktadır.

Hüseyin Topal (2000), konutlarda ısıtılmada kullanılan soba ve kazanlarda farklı tür ve özellikteki kömürler, kireç ilave edilmeden ve kireç ilave edilerek yakıcıların yanma ve emisyon özellikleri incelenmiş, kireç ilave edilenin yakma sisteminin yanma ve emisyon davranışlarına olan etkileri gözlenmiştir. Kazan deneylerinde SO<sub>2</sub> emisyonunda %30'luk bir azalma, yanması bozulmuş, yanma verimi ortalama %7, kazan ısıtma verimi ise %4 oranında azalmıştır. Soba deneylerinde kömüre kireç ilavesi yakma verimini düşürmezken SO<sub>2</sub> emisyonunda %50 azalma sağlamıştır. Deneylerde sobada kömür olarak tunçbilek, soma linyitleri ve ithal kömürler kullanılmış, SO<sub>2</sub> tutma verimi sırasıyla %49,1 %42,5 ve %28,2 dir.

Linyitlerde yaklaşık %50 civarında SO<sub>2</sub> tutma sağlanabilmiştir. Kazan deneylerinde ağaçlı bölgesi linyit kömürüne bağlayıcı madde olarak melas kullanılarak kireç batırılmış ve yakılmıştır. SO<sub>2</sub> emisyonunda %30'luk bir azalma sağlanmış ve yanma bozulmuş, CO ve uçucu parçacık emisyonlarında artışlar görülmüş ve yanma verimi ortalama %7, kazan verimi %4 azalmıştı.

Bu çalışmada sonuç olarak evsel ısıtmadan kaynaklanan SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılmasında kömüre kireç ilavesi ile SO<sub>2</sub> emisyonlarının %50 oranında azalabileceği fakat SO<sub>2</sub> arıtma uygulamaları kazan ve soba işletilmesinde pek elverişli değildir.

## BÖLÜM 3

### KÖMÜR

Kömür, içerisinde farklı miktarlarda organik ve inorganik bileşiklere değişik fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip, farklı süreçler sonucu oluşan fosil bir kayadır. İnorganik bileşikleri nem ve mineral, organik bileşikleri ise C,H,O ve az miktarda kükürt ve azottur.

#### 3.1 Kömürün Oluşumu ve Sınıflandırılması

Kömürleşme, nem, kül, uçucu madde, kükürt, mineraller ve karbon miktarının yanında bitki kalıntılarının yer altına gömülmesi, jeolojik ve petrografik şartlara göre değişiklik göstermektedir. Doğada köken ve yapı olarak aynı iki kömüre rastlamak pek mümkün değildir. Bu nedenle birçok ülkede kömürlerin benzer özellikleri ve yakın değerleri içinde sınıflandırılma yapılmaktadır.

Kömürün oluşmasında pek çok bitki rol oynamaktadır. Farklı türde, çok sayıda bitkilerden meydana gelen kömür, heterojen bir yapı oluşturmaktadır. Kömürün oluşmasındaki bir faktörde iklimdir.

Kömür, rutubetli, suyun bol olduğu ortamda oluşmaktadır. Kömürün oluşmasında geçirgenliği az havza ve bataklıklarda yer almaktadır. Bitkilerin hava alarak temasında bozulmasını önlemek için üzerlerinin su ile örtülmesi gerekmektedir. Bitkiler üst üste gelerek kalınlaşan tabakalar oluştururlar.

Bitkilerin kömürlere dönüşümü sırasında meydana gelen olayları;

- turbaların oluşumu
- turbaların kömüre dönüşümü

Şeklinde iki başlık altında toplanabilir.

### 3.1.1. Turbaların Oluşumu

Bataklıkta bitkilerin ölmesinde aynı yerde birikmesi sonucu turba oluşur. Bataklık ortamındaki bitki artıklarının mikroorganizmalar ve bakteriler tarafından kimyasal bozunmaya uğraması sonucunda hümik asit ve çeşitleri oluşur, organik kütle çeşitliliği artmaktadır. Bozunma bittiğinde karbon yüzdesi 40 lardan 60 ın üzerinde çıkıp içerideki oksijen azalmaktadır. Suda bulunan inorganikler maddeler bitki artıklarının aralarına girip turbanın yapısına benzeyen artıklar zamanla yer kabuğunun çökmesine neden olur.(Hayta,2010)

### 3.1.2 Turbaların Kömüre Dönüşümü

Turbanın kömüre dönüşmesi kimyasal olarak karmaşıktır. İlk aşamada, su ve çamur turbayı tamamen kaplayarak ikinci aşamayı başlatır. İkinci evrede ise kütlenin kompaktlaşip dehidrosyona uğraması, uçucu maddelerin uzaklaşması ile kondenzasyon reaksiyonları gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonlar sonucunda -COOH, -OH, -OCH<sub>3</sub> ve -CH<sub>3</sub> ayrılır ve böylelikle mol kütlesi artan ürünlerin oluşumu sağlanır. Kömürün yapısında gerçekleşen bu tepkimeler, yataktan çıkarılıncaya kadar sürer. Öte yandan, uygun şartlar altında antrasit oluşumu görülür. ( Hayta,2010)

Turbalarda oluşan kimyasal değişimler sırasında nem azalır, karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) ve metan (CH<sub>4</sub>) gazı uzaklaşıp karbon miktarı artmaktadır. Kömürün olgunluk derecesini, kimyasal tepkimenin meydana geldiği zamanın uzunluğu ile organik moleküllerin maruz kaldığı sıcaklık ve basınç belirlemektedir. Tepkimenin bir durumdan dolayı durması sonucunda farklı özellikte kömürler oluşmaktadır. Kömürün çok olgunluktan az olgunluğa doğru sıralaması ise antrasit, bitümlü kömür, alt bitümlü kömür ve linyitlerdir. (Hayta,2010). Bu dönüşümün başlıca sebebi ısının etkisidir.

Basınç, fiziksel özelliklerin değişiminde önemlidir ve kimi durumlarda kütleyi sıkıştırarak kimyasal tepkimenin daha kolay şekilde ilerlemesini sağlamaktadır. Kömür oluşumundaki ısı, yeryüzünün içinden sağlandığı için farklı bölgelerde farklı değerler vermektedir. Bu sebeple, farklı coğrafyadaki birbirin benzeyen kömür yatakları farklı olgunluk derecelerindedirler. (Hayta,2010)

Kömürleşme derecesi, kömürü oluşturan bitki türü, biyokimyasal bozunma derecesi, sıcaklık ve basınç, etkime süresi, jeolojik yapı özellikleri gibi etkenlere bağlıdır.( Hayta,2010)

### **3.1.3 Kömürün Yapısı ve Özellikleri**

Kömür karmaşık bir yapıya sahiptir. Kömürün yapısı henüz bile tam olarak tespit edilmemiştir. Kimyasal olarak bir hidrokarbon olan kömür, karbon (C), hidrojen (H) ve farklı miktarlarda elementler içeren, çözünmeyen ve kristallenmeyen katı bir fosildir. (Hessley,1986). Kömür, aynı zamanda organik ve inorganik bileşiklerin beraber bulunduğu bir yapıdır. (Hayta,2010)

Kömür, çapraz bağlarla üç boyutlu bir şekil oluşturur. Kömürün yapısındaki moleküller hareketli, makro moleküller ise hareketsiz olarak kabul edilir. Bu moleküller birbirlerine kovalent bağlar ile bağlıdır.(Hayta,2010)

#### **3.1.3.1 Kömürün Kimyasal Özellikleri**

Kömürün sınıflandırılmasında, karbon miktarı, uçucu madde, ısı değeri, nem, oksijen ve hidrojen miktarları kömürlerin çeşitlerine göre farklıdır. Kimyasal açıdan belirleyici özellikleri, kömürün oksitlenme ve indirgenme karşısındaki tepkileri, piroliz sırasındaki davranışları ve organik çözücüler içerisindeki çözünürlükleridir. (Hayta,2010)

#### **3.1.3.2. Kömürün Fiziksel Özellikleri**

##### **3.1.3.2.1. Gözeneklilik (Porozite)**

Kömürler boyutları mikron ile milimikron arasında boşluklara sahiptirler. Kömür gözenekliliği, çabuk yanmasına ve okside olmasına neden olur. Kömürün gaz ve sıvılarda şişme özelliği, koklaşması için iyi bir kriterdir. Kömürlerin rutubet miktarı ile gözenekliliği arasında doğru bir orantı vardır. Ve genç kömürlerin gözeneklilikleri ve nem miktarları yüksektir. Linyit gözenekliliği %27-37'dir .

##### **3.1.3.2.2. Yoğunluk**

Kömürlerde yoğunluk içeriğindeki karbon miktarına, uçucu madde miktarı, nem oranına ve kül miktarına bağlıdır. Kömürdeki kül miktarı arttığında yoğunluğu da

artmaktadır. Kömürlerin yoğunluk değerleri verilecek olursa; Linyit, 0,5-1,3 g/cm<sup>3</sup>, Bitümlü kömür, 1,15-1,5 g/cm<sup>3</sup>, Antrasit 1,4-1,7 g/cm<sup>3</sup>'dir.

#### **3.1.3.2.3. Absorbsiyon(Emme Miktarı)**

Kömür mevcut koşullarda etil alkol, su buharı vb. emer. Örneğin; çıkarılan linyit kömürlerinin hacminin 1,5 katı havayı ve CO<sub>2</sub>'yi bünyelerinde tutabileceği bilinmektedir.

#### **3.1.3.2.4. Rutubet**

Kömürlerin rutubet oranları içerdikleri kömürleşme derecesine göre değişir. Taş kömürü %1-3, sert linyitler %20-30, yumuşak linyitler %40-50 ve turbalar %60'ın üzerinde rutubet oranları sahiptirler. Bünye ve yüzey nemi olmak üzere iki çeşit nem vardır. Kömürün yapısında bulunan nem bünye rutubetidir. Kömürde serbest halde bulunan sudan, rutubetli hava koşullarından ve kömürün sulu bir ortamla temasından kaynaklanan nem ise yüzey nemidir.

Kömürlerde nemin oranını genelde en az seviyede olması istenmektedir. Fazla nem oranı kömürdeki enerjiyi azaltmaktadır. Çünkü kömürün yanmasında açığa çıkan enerjinin bir kısmı rutubetin buharlaşması için harcandığından yani nem verimi düşüktür.

#### **3.1.3.2.5. Renk ve çizgi rengi:**

Linyitler açık kahverenginden koyu kahverengine renklere göre kalite bakımından sınıflandırılır.. Üst sınıf kömürler ise siyahın tonlarındadır. Bitümlü kömürlerden daha düşük seviyedeki kömürlerin çizgi renkleri kahverengi tonları, daha yüksek seviyedeki kömürlerin çizgi renkleri ise kahverengi ve siyah arasında değişkenlik gösterir.

#### **3.1.3.2.6. Parlaklık**

Kömürlerin en parlağı antrasitlerdir. Linyitler mat ve toprağımsı bir görünümündedirler. Kömür kalitesini parlaklığa göre kıyaslamak yanlıştır. Mat görünümlü kömür, parlak görünen bir kömüre göre daha yüksek ısıda ve iyi yanma özelliğine sahip olabilir. .(Hayta,2010)

### **3.1.3.2.7. Sertlik**

Karbonun uçucu madde oranına göre kömürün serliği değişebilir. Kömürlerden en yumuşağı linyit, en sert antrasittir.(Hayta,2010)

### **3.1.3.2.8. Ufalanabilirlik**

Ufalanma, büyük bir parçanın kendinden küçük parçalara ayrılmasıdır. Kolay ufalanan kömürlerin yüzey alanları büyüktür.

Bu durum oksitlenmeyi arttırarak ani yanmaya sebep olur. Linyit, ufalanmaya karşı en iyi direnç gösteren kömürdür. En az direnen kömür ise bitümlü kömürlerdir. (Hayta,2010)

### **3.1.3.2.9. Elektriksel özellikler**

Elektriksel olarak bilinen yüksek sınıf kömürler yarı iletken özelliktedirler. Kömürleşme derecesi arttıkça (uçucu maddesi azaldıkça),buna bağlı olarak iletkenliğin arttığı yaygın olarak araştırmalarda görülmüştür.

### **3.1.3.2.10. Plastikleşme**

Kömürün ısıtılmasında oluşan yumuşama ve ergime hacminin azalıp artması ve katılaşmasının tümüne “kömürün plastikleşmesi” denir. Kömürün ısıtılması artıkça kömürün plastikleşme derecesi de artmaktadır.(Hayta,2010)

## **3.1.4 Kaliteli Bir Kömürde Aranılan Özellikler**

- Siyah ve parlak renkli olmalı, Isıl değerleri yüksek olmalı,
- Nem, kül ve uçucu madde içeriği düşük olmalı,
- Taş ve tozu az olmalıdır.

### 3.1.5 Linyitlerin Genel Özellikleri

Kahverengi ya da siyah-kahverengi renkli olan linyitler, taş kömüründen daha genç yapıya sahiptirler. %77 karbon içeriği, linyit ve taş kömürü arasında sınır olarak alınmıştır. Linyitlerin azot miktarı %0,8-1,0 arasındadır. Nem miktarları ise %8-65 arasındadır. Linyitlerin kuru ve külsüz iken ısı değerleri 4000\*60000 kcal/kg arasındadır.(Arabacıoğlu,1991)

Linyit sahaları ülkemizde bütün bölgelerde olup ısı değerleri 1000-5000 kcal/kg dır. Toplam linyit rezervlerinin %8'i 3000 lcal/kg üzerinde, %17'si 2500-3000 kcal/kg, %75'i 2500kcal/kg altında ısı değere sahiptir. Bölgelere göre linyit rezervleri ve kimyasal özellikleri tabloda verilmiştir.(Hayta,2010)

### 3.1.6 Kömürlerin Sınıflandırılması

ASTM (Amerikan Standart) sınıflaması kömürün sabit karbon içeriğini ve ısı değerini dikkate alır

Çizelge 3.1: Uluslararası Genel Kömür Sınıflandırılması (Anonymous 1983, Hayta,2010)

SERT KÖMÜRLER	KAHVERENGİ KÖMÜRLER
1.KOKLAŞABİLİR KÖMÜRLER(Yüksek fırınlarda kullanım için kok üretimine uygun kalitede)	1. ALT BİTÜMLÜ KÖMÜRLER(4.165-5.700 kcal/kg arasında ısı değerinde olup topaklaşma özelliği göstermez)
2.KOKLAŞMAYAN KÖMÜRLER a)Bitümlü Kömürler b) Antrasit	2.LİNYİT(4.165 kcal/kg' in altında ısı değerinde olup topaklaşma özelliği göstermez)

Çizelge 3.2: Kömür Çeşitleri Ve Kullanım Alanları

TAŞ KÖMÜRÜ (%50)		DÜŞÜK KALORİLİ KÖMÜRLER (%50)	
ANTRASİT -%1  (Teshin/Sanayi Dumansız Yakıt Dahil)	BITİMINIUS %49	SUB-BİTİMINIUS %19  (Elektrik Enerjisi Üretimi Çimento Fabrikaları Ve Diğer Endüstriler)	LİNYİT %31  (Büyük Oranda Elektrik Enerjisi Üretimi)
	METALURJİK Koklaşabilir Kömürler  (Demir ve Çelik Endüstriyel)	TERMAL Buhar Kömürü  (Elektrik Enerjisi Üretimi Çimento Fabrikaları Ve Diğer Endüstriler)	

Kömürler, oluşma zamanları ve bileşimlerindeki karbon miktarı yönünden birbirinden ayrılırlar. Oluşma zamanları uzun olan kömürlerin, ısıtma değeri de yüksektir.

### 3.1.6.1 Antrasit

Maden kömürleri içinde en eskisi ve karbon en fazla olan kömürdür. Siyah renkli, parlak, serttir ve yoğunluğu 1,4-1,7 kg/dm<sup>3</sup>'tür. Meydana gelişinde %90-95 karbon vardır. Yanma ısısı 7300-8000 kcal/kg'dır. İçerisinde fosfor (P) ve kükürt (S) zararlı maddeler yoktur. Taş kömürüne göre demir endüstrisinde kullanıma daha uygundur.

### 3.1.6.2 Taş Kömür

Antrasitten daha yeni kömürdür. Parlak, siyah veya mat renklidir. Yoğunluğu 1,3 kg/dm<sup>3</sup>'tür. Bileşiminde karbon yüzdesi 80-90'dır.

Oksijen %3-5, uçucu madde %11-34, su %15, hidrojen %5-6'dır. Yanma ısısı 4500-7500 kcal/kg. yama ısısı 325-500 °C. Uzun alevle yanar.

### 3.1.6.3 Linyit

Taş kömüründen daha sonra oluşmuş ancak oluşumu daha tamamlanmamış kömürdür. Bileşiminde kükürt miktarı fazladır. Kül ve nem miktarı fazladır. Yanma ısısı düşüktür. Yer kabuğunda fazla miktarda bulunur. Almanya, Amerika, birleşik devletleri ülkelerinde sık kullanılan enerji hammaddesidir. Karbon %65-70, oksijen %25 üstü, hidrojen %5 tir.

## 3.2 Dünyada Kömür

Dünyada kömür rezervlerinin %31,3'ü Avrupa-Avrasya ülkelerinde, %41'i Asya-pasifik ülkelerinde %25'i Kuzey Amerika ülkelerinde %1,4'ü Afrika-Doğu Akdeniz ülkelerinde, %1,4 Orta ve Güney Amerika ülkelerinde bulunmaktadır.

Linyitin termik santrallerde yakıt olarak kullanılma amacı, ısıl değerinin düşük, kül ve nem miktarının fazla olmasıdır. Taş kömürü ise yüksek kalorili kömürdür.

Dünya Enerji Konseyi tarafından hazırlanan raporda dünya kömür rezervinin en büyük kısmı ABD'de, daha sonra Rusya Federasyonu, Avusturya izlemektedir. Dünya kömür rezervinin %90'ı Çin, Hindistan, Ukrayna, Kazakistan, Almanya, Endonezya ve Polonya gibi ülkelerin sınırları içerisinde kalmaktadır.

Dünya 2015 yılı toplam kömür üretimine bakıldığında, küresel kömür rezervinin 134 yıl ömrü bulunduğu görülmektedir.

Kömür, tüm dünya coğrafyasına yayılmış şekildedir. Diğer fosil yakıtlara göre daha fazla rezerv durumundadır. Elektrik üretimi, demir-çelik sanayi, ısıtma, kâğıt fabrikaları, kimya ve ilaç fabrikaları gibi kullanım alanlarına sahiptir. Naftalin, benzen ve fenol gibi kimyasal üretiminde kullanılır. Sabun, aspirin, boya, naylon gibi ürünler kömür /kömürün yan ürünlerini içermektedir.

2018 yılı Dünya Enerji İstatistik Görünümü Raporuna göre 718 milyar ton antrasit bitümlü (taşkömürü), 316 milyar ton alt bitümlü ve linyit rezervleri olduğu görülmektedir.

2018 raporuna göre dünyada %41 Asya-pasifik, %25 Kuzey Amerika, %21,6 Bağımsız Devletler Topluluğu, %9,7 Avrupa, %2,8 Ortadoğu, Afrika, Orta ve Güney Amerika da bulunmaktadır.( Taş kömürü Raporu, 2018)

Çizelge 3.3: Dünyada Kömür Rezervinin Ülkelere Göre Dağılımı ve Tükenme Ömürleri( Taş kömürü Raporu, 2018)

Ülke/Bölge	Antrasit ve Bitümlü(Mt)	Alt bitümlü ve Linyit(Mt)	Toplam(Mt)	%	Ömür R/P(yıl)
ABD	220,800	30,116	250,916	24,2	357
Kanada	4,346	2,236	6,582	0,6	111
Meksika	1,160	51	1,211	0,1	116
<b>Toplam Kuzey Ameika</b>	<b>226,306</b>	<b>32,403</b>	<b>257,709</b>	<b>25</b>	<b>335</b>
Brezilya	1,547	5,049	6,596	0,6	-
Kolombiya	4,881	-	4,881	0,5	55
Venezuela	731	-	731	0,1	-
Diğer Güney ve Orta Amerika	1,784	24	1,808	0,2	-
<b>Toplam Güney&amp; Orta Amerika</b>	<b>8,943</b>	<b>5,073</b>	<b>14,016</b>	<b>1,4</b>	<b>141</b>
Bulgaristan	192	2,174	2,366	0,2	69
Çek Cumhuriyeti	1,099	2,541	3,640	0,4	81
Almanya	8	36,100	36,108	3,5	206

Yunanistan	-	2,876	2,876	0,3	76
Macaristan	276	2,633	2,909	0,3	366
Polonya	19,808	6,003	25,811	2,5	203
Romanya	11	280	291	-	11
Sırbistan	402	7112	7514	0,7	188
İspanya	868	319	1,187	0,11	427
Türkiye	378	10,975	11,353	1,1	115
Birleşik Krallık	70	-	70	-	23
Diğer Avrupa	1108	5172	6280	0,6	192
<b>Toplam Avrupa</b>	<b>24,220</b>	<b>76,185</b>	<b>100,450</b>	<b>9,7</b>	<b>159</b>
Kazakistan	25,605	90,730	25,605	2,5	230
Rusya Federasyonu	69,634	2,336	160,364	15,5	391
Ukrayna	32,039	-	34,375	3,33	-
Özbekistan	1,375	-	1,375	0,1	340
Diğer Bağımsız Devletler Topluluğu	1,509		1059	0,1	418
<b>Toplam Bağımsız Devletler</b>	<b>130,162</b>	<b>93,066</b>	<b>223,228</b>	<b>21,6</b>	<b>397</b>

<b>Topluluğu</b>					
Güney Afrika	9,893	-	9,893	1,0	39
Zimbabve	502	-	502	-	171
Diğer Afrika Ülkeleri	2,756	66	2,822	0,3	184
Ortadoğu	1,203	-	1,203	0,1	-
<b>Toplam Ortadoğu ve Afrika</b>	<b>14,354</b>	<b>66</b>	<b>14,420</b>	<b>1,4</b>	<b>53</b>
Avustralya	68,310	76,508	144,818	14,0	301
Çin	130,851	79,68	138,819	13,4	39
Hindistan	92,786	4,942	97,728	9,4	136
Endonezya	15,068	7,530	22,598	2,2	49
Japonya	340	10	350	-	252
Moğolistan	1,170	1,350	2,520	0,2	51
Yeni Zelanda	825	6,750	7,575	0,7	-
Pakistan	207	2,857	3,064	0,3	-
Güney Kore	326	-	326	-	219
Tayland	-	1,063	1,063	0,1	65
Vietnam	3,116	244	3,360	0,3	88

Diğer Asya Pasifik	1,326	687	2,013	0,2	31
<b>Toplam Asya Pasifik</b>	<b>314,325</b>	<b>109,909</b>	<b>424,234</b>	<b>41,0</b>	<b>79</b>
<b>TOPLAM DÜNYA</b>	<b>718,310</b>	<b>316,702</b>	<b>1,035,012</b>	<b>100</b>	<b>134</b>

### Linyit Tüketimi

Dünyada linyit, yoğun olarak ısı üretiminde ve elektrik enerjisi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca ticari ve kamu hizmetlerinde, konut ve bazı sanayi sektörlerinde kullanımı yaygındır. (Hayta, 2010).

### 3.3 Türkiye de Kömür

Ülkemiz linyit üretimi ve rezervi açısından orta düzeyde, taş kömüründe alt düzeyde yer almaktadır. Toplam dünyanın linyit/alt bitümlü kömür rezervinin %3,2 si ülkemizde yer almaktadır. Linyitler, düşük kalorifik değere sahip olmaları nedeniyle yaygın olarak termik santrallerde kullanılmaktadır. Linyit rezervinin %46 Afşin-Elbistan havzasında, taş kömürü rezervi ise Zonguldak ve civarındadır.

2017 yılın sonunda, 145,3 Milyon Ton Eşdeğer Petrol (MTEP) ile ülkemizin birincil enerji tüketiminde payı %27'dir. Yerli üretime dayalı kurulu güç 10,203 MW ve ithal kömür bazlı kurulu güç 8,794 MW'tır.

2005 yılından itibaren enerji üretiminde yerli kaynaklara önem verilmesinden dolayı sanayileşme ve nüfus artışıyla beraber artış gösteren enerji talebinin karşılanması amacıyla, yeni kömür sahalarının bulunması çalışmalarına önem verilmiştir.

Kömüre dayalı santrallerden, 2018 yılında 113,3 TW (terawatt) elektrik üretilerek elektrik üretim payı %37,3 tür. (Taş Kömürü Raporu,2018)

Zonguldak Taşkömürü Havzasında, 1942-2018 yılları arasında 246 milyon ton taş kömürü üretimi sağlanmıştır. (Taş Kömürü Raporu,2018)

Çizelge 3.4: 2000-2018 yılları arası Zonguldak Havza Taşkömürü Üretimi (Taş kömürü Raporu, 2018)

<b>Yıllar</b>	<b>TTK Üretimi(ton)</b>	<b>Özel Sektör Üretimi(ton)</b>	<b>Havza Toplamı(ton)</b>
2000	2259,227	114,046	2373,273
2001	2356,865	230,540	2587,405
2002	2244,372	487,799	2732,171
2003	2011,178	53,044	2064,222
2004	1879,411	149,625	2029,036
2005	1665,846	511,355	2177,201
2006	1522,698	795,931	2318,629
2007	1675,283	817,092	2492,375
2008	1586,532	1043,909	2630,441
2009	1879,630	999,776	2879,406
2010	1708,844	883,074	2591,918
2011	1592,515	1026,732	2619,247
2012	1457,098	835,157	2292,255
2013	1366,509	549,332	1915,841
2014	1300,154	488,187	1788,341
2015	948,573	486,309	1434,882
2016	911,002	404,968	1315,970
2017	823,036	389,936	1212,972
2018	686,142	415,442	1135,356

Çizelge 3.5: Bölgeler bazında linyit rezervleri ve ortalama kimyasal özellikleri(Hayta,2010)

BÖLGELER	REZERV (10 <sup>9</sup> TON)	NEM (%)	KÜKÜRT (%)	KÜL (%)	ISIL DEĞER(kcal/kg)
KUZEY-BATI ANADOLU BÖLGESİ(Kütahya-Balıkesir- Bursa- Manisa- Çanakkale)	1,8	20	1,7	20	3500
GÜNEY-ORTA ANADOLU BÖLGESİ( Adana- K.Maraş)	3,7	50	2,0	20	1200
İÇ ANADOLU BÖLGESİ(Ankara- Konya-Çankırı- Çorum-Yozgat- Sivas)	1,4	30	3,2	25	3000
GÜNEY BATI ANADOLU BÖLGESİ(Aydın- Muğla-Denizli- Isparta-Burdur- Afyon)	0,9	30	2,0	20	2500
TRAKYA BÖLGESİ(Tekirdağ- Edirne-Kırklareli- İstanbul)	0,35	30	3,0	20	2500
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ(Bingöl- Erzincan-Erzurum- Van)	0,15	20	1,2	20	3000
TOPLAM	8,3	36,5	2,1	21	2240

### 3.4 Yakıtlarda Kükürt İçeriği

Fosil yakıtlar yapılarında organik kükürt, elementel kükürt ve inorganik kükürt bulundurmaktadır.

#### 1) İnorganik Kükürt

Sülfat kükürt, Sülfür ve disülfür kükürt olmak üzere iki şekilde bulunur.

a) Sülfür Kükürt: henüz oksitlenmemiş kömürde, jips ve barit bileşikleri şeklinde görülmektedir. Oksitlenmiş kömürde oksitlenme sonucunda sülfat bileşikleri oluşmaktadır.

b) Sülfür ve Disülfür Kükürt: Desülfürlerin yapısını demir sülfür bileşiğinin iki farklı kristal yapısı oluşturmaktadır.

c) Kübik olan tür pirit, rombik olan ise markasiti oluşturmaktadır. Bunların özgül ağırlıkları birbirinden farklıdır. Markasit, kömür bünyesinde az miktarda bulunmaktadır. Kömürün bünyesinde bulunan pirit kükürdün yarısı, pirit ve markasitten oluşmaktadır. Ancak büyük çoğunluğunu pirit oluşturmaktadır.

2) Organik Kükürt: Kömürdeki organik yapıyla bağ oluşturan kükürttür. Organik kükürt içeriği; piritik kükürt ve sülfat kükürt içeriğinin toplamından toplam kükürt içeriğinin çıkarılmasıyla elde edilen sonuçtur.

Fosil yakıtların organik kükürdü toplam kükürdün %40-80 ini temsil etmektedir. İnorganik kükürt; kömürde piritik veya sülfat şeklinde yer almaktadır. Kömürde bulunan sülfatlar düşük miktarda oldukları için yandıktan sonra külün içinde kaldıklarından çevre kirleticisi olarak sayılmazlar. Kömürde bulunan piritik kükürt iri taneli kömür parçalanıp küçük parçalara ayrılıp ayırıcılar yardımıyla basit yöntemler kullanarak ayrılabilir. Yıkamayla kömürden %20-30 kükürt yok edilebilmekte ve kireç eklenerek yapılan işlemlerde de %90 kükürt giderimi yapılmaktadır.

3) Elementel Kükürt: çok az miktarda bulunmaktadır.

Kükürt yandığından dolayı kömürün kalorifik değerinde bir etki yapmamaktadır. Fakat çevre kirliliği için çok önemli bir etkendir. Yanma odasında, kazanda ve borulardaki aşındırma etkisi çok fazladır. Kömürlerin kullanımı sırasında çevreye verdikleri zararın en aza indirilmesi için kül ve piritik kükürdün uzaklaştırılıp kalitenin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

Şuan uygulanan sıradan kömür hazırlama yöntemlerinde kükürdün uzaklaştırılmasında başarı sağlanmamıştır. Kömürün içindeki toplam kükürdün ortalama yarısını uzaklaştırarak piritik kükürdün yok edilmesi amacıyla dünyadaki çeşitli kuruluşlarca çok fazla çalışmalar yapılmaktadır.

### **3.5 Hava Kirliliği**

Hava kirliliği; açık ortamda bir veya birden fazla kirleticinin insan, bitki ve hayvan hayatına zarar veren çevrenin kalitesini olumsuz şekilde etkiler miktarda bulunmasına denir.

Hava kirliliğini olumsuz yönden 3 bölümde incelenir.

- 1) Isınmadan kaynaklanan hava kirliliği: ülkemizde ısınmada kalorisi düşük, kükürdü yüksek kömürler kullanılmasında yanlış yakma yöntemleri uygulandığı için oluşan hava kirliliğidir
- 2) Sanayi tesislerinden oluşan hava kirliliği: Sanayi tesislerinin kurulumunda yanlış yerin seçilmesi, çevrenin korunmasında alınması gereken önlemlerin alınmaması, teknolojilerin yanlış kullanımı, yakma ünitelerinde yüksek kükürt içeren yakıtların yakılması hava kirliliğinin oluşumunda başlıca nedenlerdir.
- 3) Motorlu taşıtlardan dolayı oluşan hava kirliliği: İnsan sayısı gelir seviyesinin yükselmesine bağlı olarak motorlu taşıt sayısının artmasıyla taşıtlardan çıkan egzoz gazları da hava kirliliğinin artmasında etkilidir.

Havanın kirlenmesinde en etkili olan yanma reaksiyonudur.

Yakıt + hava → Duman

Hava kirleticileri;

- Kükürt oksitler
- Azot oksitler
- Hidrokarbonlar
- Partikül maddeler
- Karbon monoksitler
- Organik maddelerdir

İnsanların çeşitli aktiviteler sonucunda ortaya çıkan atıkları havayı ve canlı hayatını olumsuz yönde etkilemektedir.

Karbonlu maddelerin yanması sonucunda meydana gelen duman, hava kirliliğine ve görüş açısının azalmasına neden olmaktadır. Hava kirliliğinin bitkiler üzerinde büyümelerini engelleyici ve ölümlerini gerçekleştirmektedir. Hava kirliliği hem ekonomik yönden hem de insan sağlığı açısından olumsuz etkilere sahiptir.

Hava kirliliğinin insan sağlığında atmosferdeki yüksek miktarda zararlı maddelerin tenefüs edilmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır.

### 3.6 Havanın Kirlenmesinde Kömürün Etkisi

Kömür enerji kaynakları açısından çok önemlidir. Fakat çevreye verdiği olumsuzluklar nedeniyle gelecekte kullanılması sorgulanmalıdır.

Dünyada enerji kaynağının büyük kısmı, kömür, petrol ve doğalgazı içine alan fosil yakıtlar ile su kaynakları ve nükleer enerjiden elde edilmektedir.

Fosil yakıtlar geçmişe göre daha az olsa da birincil enerji kaynaklarının başındadır.

Kömürde bulunan kükürt içeriğini azaltabilecek önlemler 3 şekildedir.

- 1) Kükürt içeriğinin azaltılmadığı kömürlerin kullanımdan çıkarılması
- 2) Kükürt oranının hazırlama yöntemleriyle azaltılması
- 3) Tüketicinin alması gereken önlemler

Kükürt miktarının fazla olduğu kömür yataklarının işlenebilen kısımlarının yerinde bırakılması. Fakat bu yöntem maden işletmelerine pahalıya mal olmaktadır.

Kalitesiz kömürün elemanlarından olan fazla kül ve piritik kükürt mümkünse kaynağından yok edilmesi istenir. Bunların kullanım alanına taşınması bile ekonomik yönden fayda sağlayacaktır.

Türkiye kömür rezervi yönünden çok zengindir. Bunların büyük kısmını linyitler oluşturmaktadır. Bulunan linyitlerde düşük kaliteli linyitler oluşturmaktadır.

Mineral maddeler kömürde, gerçek mineraller, gözenek suyunda çözülmüş tuzlar ve hidrokarbon karışımı ile kimyasal yönden bağlanmış elementler olmak üzere üç şekilde meydana gelmektedir.

Kömür kullanımı sonucunda atmosfere atılan kirleticiler, ince toz tanecikleri, kükürt oksitler, hidrokarbonlar, karbon dioksit, azot oksitler ve aldehitlerdir.

Bu kirleticiler doğal denge ve çevreyi bozmalarında etkileri asit yağmurları ve atmosferde bulunan CO<sub>2</sub> artışında rol oynamaktadırlar.

Asit yağmuru; ph'ı 5,6 nın altında olan yağmurlardır. Bunun nedeni, SO ve NO<sub>x</sub> gazlarının H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve HNO<sub>3</sub> oluşturmasıdır.

SO -> SO<sub>4</sub>'e dönüşmesinde

- a) NO ve gündüz vakti hidrokarbonların fotooksidasyonu ile oluşan kuvvetli oksitleyicilerle gaz- fazı çarpışması sonucu SO<sub>2</sub>'nin homojen oksidasyonu,

b) SO<sub>2</sub>'nin;

- 1) Su damlaları içinde geçiş metalleri tarafından katalitik oksidasyonu
- 2) Sıvı fazdaki ozon gibi oksitler tarafınca oksitlenmesi,
- 3) Katı paalarıyla karşılaşması ve çarpışması sonucunda, SO<sub>2</sub>'nin yzey katalitik oksitlenmesi

NO in HNO<sub>3</sub>'e dönüşümü ozonun varlığında birbirini takip eder sonra NO, NO<sub>3</sub>'e dönüşür.

Sülfat ve nitrat parçacıklarında yoğunlaşan su buharı su zerrelerini oluşturur. Zerreler içinde eriyen sülfat ve nitratlar kimyasal değişim sonucunda damlaları yeryüzüne asit yağmurları olarak ulaştırır.

Kömür kullanımının diğer etkisi; küçük parçaların atmosferde birikip bulutların çoğalmasına sebep olur. Böylece atmosferin yansıtma özelliğini artırır. Buda uzun dönemde soğumaya sebep olur.

## BÖLÜM 4

### YANMA

#### 4.1. Yanma Tepkimesi

Oksijen gazı (O<sub>2</sub>) kullanılan tepkimelere yanma tepkimesi denir.

##### İdeal Yanma

Yakıt tamamen yandığında içinden karbon (C) → Karbondioksit (CO<sub>2</sub>)

Hidrojen (H) → Su buharına (H<sub>2</sub>O)

Kükürt (S) → Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) dönüşür (Koç).

**Tam Yanma Tepkimesi:**  $C + O \rightarrow CO_2 + 8113 \text{ kCal/kg-C}$

$2H + O_2 \rightarrow 2H_2O + 34650 \text{ kCal/kg- H}$

**Eksik Yanma:**  $2C + O_2 \rightarrow 2CO + 2467 \text{ KCal/kg-C}$

İdeal yanma olayı oksijen ve yakıt elemanlarının istenilen tam oranlarda karıştırılması ile meydana gelir.

#### 4.2. Yanma Tepkimesinin Özellikleri

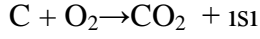
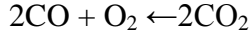
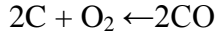
- ✓ Isı açığa çıkar.
- ✓ Kimyasal bir reaksiyondur. Madde yapısını değiştirir.
- ✓ Tepkime sonucunda genelde karbondioksit ve su oluşur. Yanma tepkimesi sonucunda su ve karbondioksit oluşmayabilir.
- ✓ Tepkimedeki maddeler arasında bağlar kopar ve tepkimede yeni bağlar oluşur.
- ✓ Yanmanın diğer ismi **oksitlenmedir**.

### 4.3. Yanma Kimyası

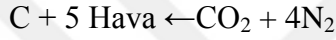
Yanma, yakıtın hava ile teması sonucu ısı açığa çıkması olayıdır. Yakıtın bileşiminde karbon (C) ve hidrojen (H) bulunmaktadır.

Karbonun yanmasında ilk önce karbon monoksit (CO), daha sonrada karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) oluşur. Yanma olayı oksijen (O<sub>2</sub>) veya hava ile gerçekleşir.

O<sub>2</sub> ile yanma,



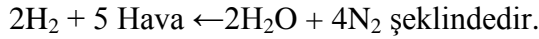
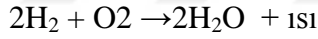
Hava ile yanma,



Reaksiyonlar, özel koşullarda tersinirdir.

Karbonun tam yanmaması durumunda, gerçek enerjinin ancak üçte birinden faydalanılabilmektedir.

Hidrojenin oksijen veya hava ile yanması,



### 4.4. Çıkış Gazındaki Yanabilen Maddeler

Verimli bir yanmada uyumlu hava/yakıt oranının belirlenmesi dışında etkili olan üç etken:

- (1) fırında bulunan yakıt ve havanın karıştırılması,
- (2) yakıt-hava karışımının yanma sıcaklığına erişmesi,
- (3) yanmanın tam olması için,

Yakma sıcaklığının yeterli süre boyunca devamlılığının sağlanmasıdır. Sıcaklık, karıştırmak ve zaman kavramları da önemli olan kıstaslardır.

Yanmanın kontrollü şekilde gerçekleşmesi, verimli şekilde yanma olayı için önemli husustur. Yanmada gerekli olan sıcaklık, karıştırma ve zamanın yanında, çıkış gazlarındaki yanabilen madde miktarının en az olması ve yanma olayının da ekonomik düzeyde olması istenir.

Yakma havasında bulunan fazla havayı bir miktar arttırıp, çıkış gazındaki yanan maddenin miktarını indirmek mümkündür. (Besergil, 2009)

Böyle durumlarda, yanma ile açığa çıkan ısıdan ne şekilde yararlanıldığı göz önüne alınıp, enerji kaybına yol açmayacak şekilde bir çözüme varılır.

Gaz yakıt ile havanın karıştırılması, fuel-oilin hava veya buharla iyi bir şekilde atomize edilmesine rağmen yanma, damlacıkların sıvı olan kısımlarında gerçekleşir. Aynı şekilde toz haline getirilen kömür parçacıklarının katı kısımlarında yanma reaksiyonu başlar. Diğer katı yakıtlar gibi kömürün de yanma tepkimesi vermesi zordur. İri taneli kömürün sahip olduğu toplam yüzey alanı, toz halindeki kömüre kıyasla daha az olması nedeniyle yanma reaksiyonu vermesi zorlaşır. Baca gazında bulunan karbon monoksit (CO) miktarı, uygun yakma koşullarında 100-500 ppm de olabilmektedir. (Besergil, 2009)

Yanma tepkimesi sürecinde ve sonrasında, başlıca yanma reaksiyonlarının yanında farklı tepkimeler de gerçekleşir. Çıkış gazında, az miktarda yanabilen maddeler bulunabilir. (Besergil, 2009)

Bir yanma olayında, çıkış gazlarında bulunan CO veya yanabilen maddelerin kontrolüne göre yapılacak toplam hava akışının kontrolü oldukça tehlikeli bir metottur.

Çıkış gazında bulunan CO, genellikle atomizasyonun iyi yapılamaması, yakıcıların kirlenmesi ve fırında var olan kaçaklar gibi sebeplerden dolayı meydana gelir. CO in sadece yakmada kullanılan havanın yetersizliğinden meydana geldiği dikkate alınır, direkt olarak hava miktarı arttırılırsa da varsayılanın üstünde CO görülür. Bu durumda fazla hava, verimin de azalmasına yol açabilir.

İyi bir verim, baca gazında yanan maddenin miktarındaki değişiklik, küçük miktarlarda havanın artışıyla mümkündür.

İyi bir fırın için ilk koşul, sistemin test şartlarında kontrollerinin sağlanması ve uygulanacak yakıtta göre uygun değer yakıt/hava miktarının belirlenmesidir. Test sonuçları, aşağıdaki bilgilerden oluşmalıdır:

- (1) buhar üretim kapasitesi,
- (2) relatif hava akış miktarı,
- (3) çıkış gazındaki oksijen yüzdesinin miktarı,
- (4) çıkış gazında bulunan % yanabilen maddeler miktarı.

Çıkış gazında bulunan CO, çoğu zaman yanabilen maddeler olarak kabul edilebilir; yani CO ve H<sub>2</sub> toplamıdır. Bu bilgilerden farklı olarak baca gazının sıcaklığı, yakıcının tipi ve yakıtın ısıl değerleri (alt ısıl-üst ısıl değer) değeri de bilinmelidir.

#### **4.5. Az Hava ile Yanma**

Yetersiz (az) oksijen ile yanma nedeniyle, karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) gazı yerine karbon monoksit (CO) oluşur. Yanma tepkimesi sonucunda oluşan ısı düşer. Karbon parçacıkları kurum ve is haline gelir. Kazan verimi azalır. Çevre kirliliğine sebep olur.

#### **4.6. Fazla Hava İle Yanma**

Fazla miktarda bulunan hava, alev sıcaklığını (yanma odası sıcaklığını) düşürerek kazan kapasitesinin azalmasına sebep olur. Fazla hava aynı zamanda, elde edilen enerjinin çok miktarda bacadan atılmasına sebep olur.

#### **4.7. Tam Yanma İçin Oksijen Ayarı**

Verimli yanma koşulu, baca gazının O<sub>2</sub> ölçüm sonucu yapılır. Baca gazında buluna O<sub>2</sub> oranına göre hava debisi hesaplanır. O<sub>2</sub>'nin ayarı ve hava fazlalık katsayısı en düşük değerde tutularak, en fazla verim elde edilir. Bu şekilde hava sıcaklığının değişmesinden veya yakıcının neden olduğu bozucu etkiler yok edilir.

#### **4.8. Kendiliğinden Yanma**

Kömürün yavaş oksitlenip kendiliğinden ısınıp ısı birikimi ile açık alevli yanma olayı kendiliğinden yanma olarak adlandırılır. Kendiliğinden yanma, üretimin engellenmesi, önemli ekipman ve parçalara hasar verme ve kömür ocağının büyümesine engel olma gibi sonuçları olan ciddi bir olaydır. (Karpuz ve ark.,2000)

Kömür oksijen ile birleştiğinde, oksijen tutmakta ve açığa çıkan hava dışarı atılmaz ise kömürün sıcaklığı sürekli artmaktadır. Artan sıcaklık nedeniyle oksitlenme hızlanmakta ve alevli yanma meydana gelmektedir.(Karpuz ve ark., 2000)

Kendiliğinden yanma kömür damarlarına bağlı olarak farklı nitelikler göstermektedir. Kendiliğinden yanmayı doğrudan belirleyen ve değiştirilmesi olanaksız olanlar kömürün yapısından dolayıdır. Bunlar jeolojik yapı ve madencilik uygulamasından oluşan çevre koşullarına bağlı olarak artabilmekte ve azalabilmektedir.(Karpuz ve ark., 2000)

Çizelge 4.1: Yanmayı Etkileyen Başlıca Faktörler (Feng, 1973) (Karpuz, Güyagüler, Bağcı, Başarır, & Keskin, 2000)

Kömür Yapısı	Çevre Koşulları	
	Jeolojik Yapı	Madencilik Uygulaması
1. Düşük ranklı 2. Yüksek nem içeriği 3. Yüksek pirit içeriği 4. Kırılabilirliği yüksek	1. Kömür damarlarında faylanmalar 2. Zayıf ve bozulmuş forasyonlar 3. Düşük kalite kömür bantları içeren kalın kömür damarları 4. Sığ damarlar 5. Birbirine yakın birden fazla damar	1. Göçükte kömür kaybı 2. Gerilme boşalması 3. Sığ damarlarda tasman nedeni ile yüzey ile bağlantı 4. Kalın damarlarda göçüme yöntemi ile üretim, damarda kısmi üretim 5. Havalandırmada anormallikler engeller, dengesizlikler, yüksek basınç farkı vb.
Kontrolü olanaksız		Kontrolü olanaklı

#### 4.9. Kendiliğinden Yanmayı Etkileyen Faktörler

Bir ocakta kendiliğinden yanmayı oluşturan üç etken şunlardır;

- ✓ Oda şartlarında oksitlenmeye neden olan hazır kömür,
- ✓ Oksitlenmeyi etkileyen var olan oksijen,
- ✓ Isı birikimine elverişli ocak koşulları.

Bu şartları sağlanması ocakta,

- ✓ Kömürün kalitesine ve ocağın şartlarına bağlıdır. Bunlar; kömürün özelliklerine, jeolojik yapısına ve ocağın çevresine bağlıdır (Karpuz ve ark., 2000).

#### 4.10. Kömürün Yüksek Sıcaklık Karşısında Davranışı

- Kömür de var olan H, C'ler buharlaşarak kömürden uzaklaşmaya başlar.
- Gazlaşma sırasında sıcaklık değişkendir, gazlaşma boyunca sıcaklık artar.
- Karbon katı olmasına karşın, yanma olayı katı fazda gerçekleşmemektedir. Bu ise katı-gaz fazında gerçekleşen bir tepkime olduğu için heterojen bir yanma olayıdır.
- Karbon gazlaşmaz. Fakat O<sub>2</sub>'nin karbona ulaşması ile yanma gerçekleşir.
- O<sub>2</sub>, karbonun yüzey kısmında toplanıp yanma meydana gelir. Yanma sonucunda CO gaz şeklinde açığa çıkar.
- CO, O<sub>2</sub> ile tekrar oksitlenir ve tam yanma ürünü olan CO<sub>2</sub> dışarı serbest bırakılır. Karbonun yanması O<sub>2</sub> difüzyonunun bir fonksiyonudur.

#### 4.11. Kazanlarda Yakma Yöntemi

Yakıt içinde bulunan enerjiyi ısı enerjisine dönüştüren ve kapalı bir sistem olan kazanlar; endüstride, enerji ihtiyacını karşılamada pek çok kullanım alanına sahiptir. Kazan içerisinde elde edilen buhar, doğrudan ısı kaynağı olarak kullanılacağı gibi, hareket olarak mekanik enerjiye dönüşümü sağlanarak da kullanımı mümkündür.

##### 4.11.1. Kazanların Sınıflandırılması

Kazanlar, farklı kriterlere göre sınıflandırılır. Bu ölçütler, üretim aşamasında sahip olduğu özelliklerden, imalat sonrası kullanım alanlarına kadar farklı sınıflara ayrılabilir. Genel olarak kazanlar, imal edildiği malzeme ve yapım şekline, üretilecek akışkanın türüne, yakıtın cinsine, çalışma basıncına, su ve gaz dolaşımına bağlı olarak sınıflandırılırlar.

##### 4.11.2. Kazan Verimini Etkileyen Etkenler

Verimi etkileyen faktörlerin başında, pek çok nedene bağlı olarak yaşanan çeşitli ısı kayıpları gelmektedir. Isı kayıpları ise;

- kazan yüzeyi ve yüklemeye,
- kullanılan yakıt türüne,
- buhar basıncı veya fazla hava ile yanma gibi operasyonel koşullara,

- baca gazının içeriğine (su buharının ya da kuru baca gazının bulunup bulunmamasına göre) ve sıcaklığına,
- blöfe veya brülörlere,

bağlı olarak oluşabilen kayıplar olarak alt başlıklara ayrılabilir.

Eksik yanma, yüzeylerin kirli olması, kazan ve çevre elemanlarında kullanılan yalıtım malzemelerinin kalitesi ve kondensin kazanımı sırasında oluşabilecek ısı kayıpları da verimi etkileyen diğer etmenlerdendir.

**Kazan yüzeyi ve yüklemeye bağlı olarak oluşan ısı kayıpları:** Yüzeyde radyasyon ve konveksiyon şeklinde oluşan ısı kayıpları, yeni kazanlarda %1, eski kazanlarda ise %10 mertebelerindedir. Yaşanan kayıpları en aza indirmek için yüzey sıcaklığını 30°C civarında tutabilen yalıtım malzemeleri yeterlidir.

Öte yandan, kazanların az yükte veya fazla yükte çalıştırılmasından kaynaklanan verim düşüşleri de oluşabilir. Gereğinden fazla yükte ve sürekli çalışma koşullarında, kazan yüzeylerinde ısı kayıpları arttırarak yakıtın fazla miktarda kullanılmasına sebep olur. Yapılan çalışmalara göre, en fazla verim, tam yükte çalıştırıldığı zaman elde edilmiştir (Çubuk,2000). Bu sebeple kazanlar, mümkün olduğunca tam yükte ya da tam yüke yakın koşullarda çalıştırılmalıdır.

**Yakıt türüne bağlı olan kayıplar:** Yakıtların içeriğinde, farklı oranlarda bulunan karbon (C) ve hidrojen (H), yakıtın sahip olduğu ısıl değerini değiştirmekte ve bununla birlikte yanma sonucunda çıkan baca gazının nem, cüruf ve kurum oranlarını da etkilemektedir. Diğer yandan, sıvı yakıtlar kullanıldığında, verimi en fazla etkileyen faktör, atomizasyon sıcaklığıdır (Çubuk,2000).

**Fazla havanın sebep olduğu ısı kayıpları:** Fazla havanın tanımı, kullanılan havanın teorik havaya oranı olarak yapılabilir. Fazla hava değerinin yüksek olması sonucunda bacada bulunan gaz miktarı artar, bu da ısının baca ile dışarı gönderilmesi demektir. Bir başka deyişle, bacadaki gaz miktarının artması aynı zamanda gaz hızının ve debisinin artmasına, dolayısı ile ısı transferinin düşmesine neden olur.

**Baca gazı içeriğinin ve sıcaklığının neden olduğu ısı kayıpları:** Yakıt içeriğinde, kimyasal yapıları sebebiyle ve serbest olarak nem bulunmaktadır. Yanma sonucunda su buharı olarak açığa çıkan bu nem ile kazanda bulunan enerjinin bir kısmının da bacadan

atılmasına neden olarak ısı kaybına yol açmaktadır. Bu sebeple, yakıt içeriğinde bulunan nemin en aza indirilmesi, enerji tasarrufu açısından çok önemlidir.

Diğer yandan, baca gazı sıcaklığının normal değerlerin üzerinde olması da bacadan atmosfere fazla enerji verilmesinden dolayı sistem içinde ısı kaybına sebep olmaktadır. Baca gazı sıcaklığının yüksek olmasının başlıca nedenleri; ısı transfer yüzeylerinin az olması veya kirli olmasıdır. Bacadan çıkan gazların sıcaklığının yüksek olması verimi etkilemekte ve her 17°C'lik yükselme, verimde %1 azalmaya sebep olmaktadır. Öte yandan, baca gazı sıcaklığının düşük olması ise başka sorunlara neden olmaktadır. Sıcaklığın, asit yoğunlaşma sıcaklığının altına düşmesi bacada korozyona sebep olmakta ve baca çekiş gücü düşmektedir.

**Eksik yanma:** Yakıt içeriğindeki yanabilir maddelerin tamamı, yanma tepkimesine girmeyip kül ve cüruf oluşturduğunda veya baca gazında yanmamış karbon olarak kaldığında sistem içerisinde ısı kayıpları yaşanmaktadır. Eksik yanmaya sebep olan diğer etmenlerin başında ise yanmada kullanılan soğuk havanın fazla olması ya da alevin soğuk yüzeylerle karşılaşmasından oluşan alev soğumaları gelmektedir.

**Diğer faktörler:** Yanma verimi etkileyen dolayısı ile yakıt miktarını değiştirebilen diğer faktörler ise kondensin geri kazanımı, besi suyu sıcaklığı, yakma havasının sıcaklığı ve blöf nedeniyle olan kayıplardır. Kazanda oluşan buhar, sistem içerisinde kullanıldıktan sonra bir kısmı su, bir kısmı ise doymuş buhar halinde atılır. Elde edilen buharın sistem içerisinde tutulması amacıyla buhar kapanları yerleştirilmektedir. Sistemi sıcak su olarak terk eden akışkan ise temiz olduğunda besleme suyu olarak kazanda tekrar kullanılabilir. Kondensin sıcaklığı ve geri dönüş katsayısı, kazan verimini arttırarak yakıt tasarrufu sağlamaktadır (Çubuk,2000).

Baca gazı ile yakma havasını ısıtma yöntemi, kazan verimini arttırdığı için yaygın olarak uygulanmaktadır (Çubuk, 2000). Isıtma yöntemi ile elde edilecek 28°C'lik bir sıcaklık artışı sonucunda, verimi yaklaşık %1 arttırmak mümkündür.

Kazan suyu içerisinde bulunan bazı minerallerin çözünürlükleri yüksek sıcaklıklarda değiştiğinde dolayı, suda tortulaşma meydana getirir ve bunun sonucunda ısı transferinin düşmesiyle kazan veriminin de azalmasına neden olmaktadır. Besi suyunun iletkenliği az olmalı, aksi takdirde tortulaşma sonucu kireç taşı oluşabilmektedir. Blöf, kazandaki belirli miktardaki suyun belli zamanlarda boşaltılması olarak tanımlanır. Yapılan çalışmalarda, blöf miktarının artması ile dışarı bırakılan

enerjinin de bir kısmı geri kazanılması mümkündür. Öte yandan, kazandaki su buharlaşma ile veya blöf nedeniyle zaman içerisinde azalmaktadır. Bu sebeple, taze besi suyu ve kondens suyu eklenmelidir. İlave edilen suyun sıcaklığı önemlidir ve mümkün olduğunca sıcak olmalıdır. Eklenen besi suyu soğuk olduğunda, soğuk su içerisinde çözünmüş olan oksijen sıcaklık artışıyla açığa çıkacağı için daha çok enerji sarf edilecektir. Olası bir diğer olumsuz sonuç ise soğuk su içindeki bazı minerallerin tortulaşması ile kireç taşı oluşmasıdır.

#### **4.12. Pulverizörler (Eziciler, Öğütücüler)**

Ezici, diğer bir adıyla pulverizör, katı yakıt süspansiyon yakma sisteminin ana materyalidir. Kömürün kırılması, taşınması, gruplandırılması ve istenen incelikteki taneciklerin beke gönderilmesi hava ile sağlanır; bu hava, yakma sırasında kullanılan havanın bir bölümüdür.

Pulverizörler pozitif ve negatif basınçta çalışmasına ve sahip oldukları hızlarına (yüksek, orta, düşük) göre sınıflandırılır.

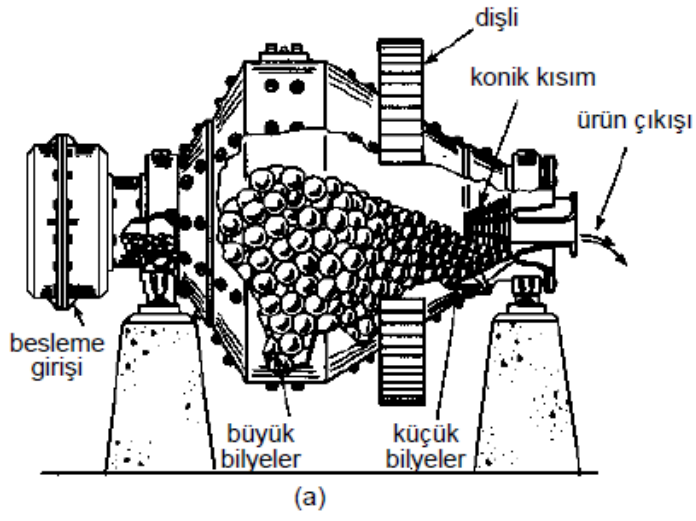
Pulverizasyon darbe, aşınma ya da parçalanmayla meydana gelir. Bir pulverizörün kapasitesi, kömürün istenen incelikte öğütülmesiyle doğrudan bağlantılıdır. Ayrıca kömürdeki nem oranı da kapasiteyi etkilenmektedir.

Kömürü öğütmede kullanılan öğütücüler; bilyeli, merdaneli, toplu ve darbeli pulverizörlerdir.

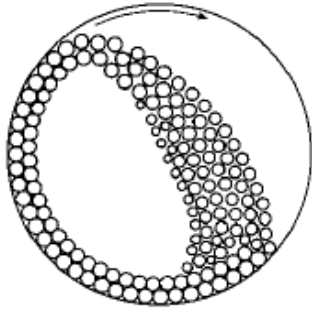
Bilyeli öğütücü, yatay dönen silindirlerden oluşur ve bu silindirlerin uzunluğu çapından büyüktür. Değirmenle birlikte bilyeler ve kömür karışımı da dönmektedir. Darbe, aşınma ve parçalama bir arada gerçekleşir. Büyük bir kömür parçası darbe ile kırılır, daha sonra bilyelerin yuvarlanması ve kaymasıyla ince parçalar oluşur.

Darbeli öğütücü kapalı bir yerde dönen çekiçlerdir. Öğütme iri tanelerin ve küçük tanelerin kırılmasıdır.

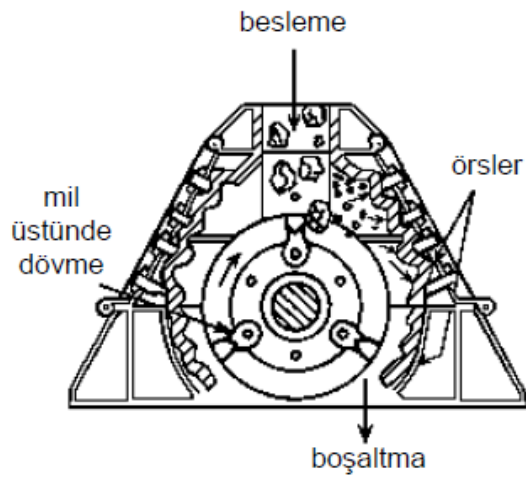
Merdane şeklindeki pulverizatörlerde kömür iki yüzey arasında öğütülür; bir yüzey diğer yüzey üzerinde döner. Yakalanan katı maddeler bu iki yüzey arasında sıkıştırılarak parçalanır.



Şekil 4.1: Konik bilyeli pulverizetör



Şekil 4.2: Bilyelerin hareket şekli



Şekil 4.3: Darbeli pulverizetör

#### 4.13. Brülörler (Yakıcılar)

Buhar üretiminde, pulverize kömür kullanılması, uygun fırın tasarımı ile sağlanmaktadır. Fırına uygun yakıt ve havanın verilmesi önemlidir. Verimli bir şekilde yakıtın dağılması ve yanması, ayrıca oksijen takviyesi sürekli şekilde türbülansla sağlanır. Bek seçimi ve kullanımındaki özelliklerdir.

Pulverize kömürü yakma, yakıtın fırına akıtma şekline göre gruplandırılır:

- (1) dikey,
- (2) tanjantsal (teğetsel),
- (3) yatay,
- (4) siklon (hortum),
- (5) zıt-eğimli yakmalar.

Dikey yakmada U şeklinde alev oluşturulur. Bu şekildeki alev, güç katı yakıtların yakılmasında kullanılır. Bu yapılandırma güç ünitelerinde yaygın şekilde kullanılmaz. Gelişmiş tesislerde kömür ve havanın birlikte hızlı bir şekilde brülörde karıştırıldığı sistemler kullanılır. Birincil (primer) hava toplam yakma havasının %10-20'sini oluşturur.

Teğetsel yakmada yakıcılar, kare şeklindeki fırının her köşesinde dik konumdadır ve fırın merkezindeki daireye doğru yönlendirilmiştir. Böyle tasarım dikey merkez üzerinde büyük bir tehlikeye yol açmaktadır.

Yatay şekildeki yakmada fazla miktardaki yakıt akımı geniş bir alanda hızlı ve düzgün bir şekilde dağıtır. Çok tüplü şekilde ve dairesel tasarımları vardır.

Siklon yakma, teğetsel ve yatay tasarımların karışımı şeklindedir. İnce tanecikler süspansiyonda yanarken, kalın tanecikler merkezkaç kuvvetiyle siklon fırının dışındaki duvara atılır. Duvarın yüzeyinde yapışkan bir kaplama vardır ve tanecikleri yanma tamamlanıncaya kadar bırakmaz. İkincil hava siklon fırının üstünden teğetsel şekilde verilir; iri parçacıkların yanması havanın katkısıyla sağlanır.

## 4.14. Izgara Üzerinde Yakma

### 4.14.1. Sabit Izgara Üzerinde Yakıt Yatağında Yakma

Yanmamış kömür üstte yer alır. Izgaradan verilen hava ilk baş kül bölgesine geçer. Yüksek sıcaklıktaki reaksiyon bölgeler ile ızgara arasında kül yalıtımı sağlar. CO serbest hale geçip O<sub>2</sub> ile reaksiyona girer. Her iki reaksiyon sonucu oluşan ısı kömürün tanelerini ısıtır. Bu kısımda O<sub>2</sub>'nin çoğu kullanıldığından reaksiyon kısmında CO<sub>2</sub>, C ile reaksiyona girer. Burada sıcaklık düşer. Kömür tabakaları arasından CO<sub>2</sub> ve CO geçerek kömür içerisindeki uçucu gazların ortamdan uzaklaşmasını sağlar.

### 4.14.2. Sabit Izgara Üzerinde Akışkan Yatakta Yakma

Delikli şeklindeki ızgaranın üstünde kum, kireçtaşı, kül gibi akışkan yatak maddeleri bulunur. Izgaradan hava geçer fakat akışkan yatak maddeleri geçemez. Hava hızı belli sınırı geçince taneler hava akımında asılı kalır. Taneli havanın kütlesi sıvı özellik gösterir ve yatak akışkanlaşmaya başlar.

Havanın hızı arttırılırsa sıvı özellikleri gösteren havanın kütlesi içinden geçirilen hava, yatak içinde kabarcıklar oluşturur.

### 4.14.3. Hareketli Izgara Üzerinde Yakma

- Ocak iyice ısıtılır. Önce kolay yanabilen maddeler yakılır.
- Ocağa giren kömürün yanması sonucunda oluşan alev radyasyonu ile ızgara üzerinde bulunan kömür üst kısımdan kırılmaya başlar. Bu sırada, içerisinde bulunan uçucu gazlar uzaklaşır ve kömür kok halini alır.
- Izgaranın alt kısmında duran kömür parçaları ise yakmadan ısı alarak yavaş bir biçimde ısınarak koklaşır.
- Tutuşma yüzeyden başlar. Tutuşmadan dolayı yüzeydeki sıcaklık 600-950°C'tir.
- Kömürün ısınması sonucunda kömürden uzaklaşan gazlar havanın O<sub>2</sub> ile CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O buharı oluşturacak şekilde yanar.
- Kok haline gelen kömür, CO biçiminde gaza dönüştükten sonra O<sub>2</sub> ile birleşerek yanar ve CO<sub>2</sub>'e dönüşür.
- Yanma esnasında CO-CO<sub>2</sub> arasındaki ilişki; kömür tabakasının kalınlığına, sıcaklığına ve havanın akımına bağlıdır.

Kömür tabakası kalın → tabaka sıcaklığı yüksek → hava hareketi az → CO miktarı fazla

Kömür tabakası ince → tabaka sıcaklığı normal → hava hareketi fazla → CO<sub>2</sub> miktarı fazla

#### 4.15. Kömürün Toz Halinde Yakılmasının Tercih Sebepleri

- Kül miktarı fazla olan kömürlerin daha fazla verimle yakılmasını sağlar.
- Çok güçlü sistemlerin çalışmasında iyi bir yanma verimi sağlamaktadır.
- Toz kömür yakan bir tesisin işletme elastikiyeti fazladır. Kazan kullanılmadığında yakıt verilmez ve yakıt harcanması azaltılır.

#### 4.16. Akışkan Yatakta Yakma İşlemi

Akışkan yatakta yakma yönteminin avantajı; yakıt yatak sıcaklıkları azdır. Sıcaklığın az olmasından dolayı azot oksitlerin ve kömürlerin kükürt içerikli kalıntıların olmasını sağlar.

Buharlaştıran sodyum ve potasyumun daha az olmasıyla kalıntı ve ısı aktarımı yüzeylerindeki korozyon azalır.

Isı absorpsiyon yüzeylerine ısı transfer hızları yüksektir bu nedenle tüpler, doğrudan yatak içine daldırılabilir.



Şekil 4.4: Basınçlandırılmış akışkan yataklı bir fırının şematik görünümü

Akışkan yatak yakma sistemlerinin birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar:

- %60 oranında kül %2 oranında S içeren kalitesi düşük kömürler yakılabilmektedir.
- Çevre kirliliği kontrol edilebilir. Yüksek S içerikli yakıtlar yakılırken oluşan SO<sub>2</sub>, yatağa katılan kireçtaşı taneleri yardımıyla kül içinde tutulabilir. Ayrıca yanma sırasında sıcaklığın düşük olması(800-850°C) NO<sub>x</sub> miktarını da azaltır.
- Katı veya gaz yakıt yakılabılır. Ve farklılık istenirse sıvı yakıtlar yakılabılır.
- Yanma verimi yüksektir. Baca çıkışından alınan ve tekrardan beslenen yanmamış C yanma verimi %98'e kadar çıkarılabilir.
- Yanma yoğunluğu fazladır.
- Korozyon miktarı azdır. Düşük sıcaklıklarda yanma olayı gerçekleştiği için K, Na gibi alkali tuzlar uzaklaşmaz ve kül içinde kalır. Ayrıca kireçtaşı da SO<sub>2</sub>'i barındırdığı için H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> oluşmaz.
- Yakıt hazırlama giderleri düşüktür. Burada kullanılan kömür taneleri 6-25 mm büyüklüğündedir. Bundan dolayı kömürleri öğütme masraflı bir işlemdir.

#### 4.17. Yanma Verimi

Yanma verimi, kısaca yakma donanımları tarafından yakıtın sahip olduğu kimyasal enerjinin, termal enerjiye dönüştürülmesini ifade eder.

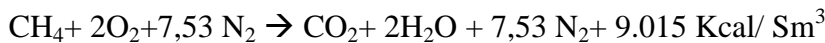
Yanma verimi = Birim yakıtın içerdiği enerji - Baca gazı ile atılan enerji + Yanmadan atılan yakıtların enerjisi + Işıma kayıpları

#### Yanma Reaksiyonu

Metan gazının oksijen ile yanması:



Metan gazının hava ile (%21 O<sub>2</sub>, %79 N<sub>2</sub>) yanması:



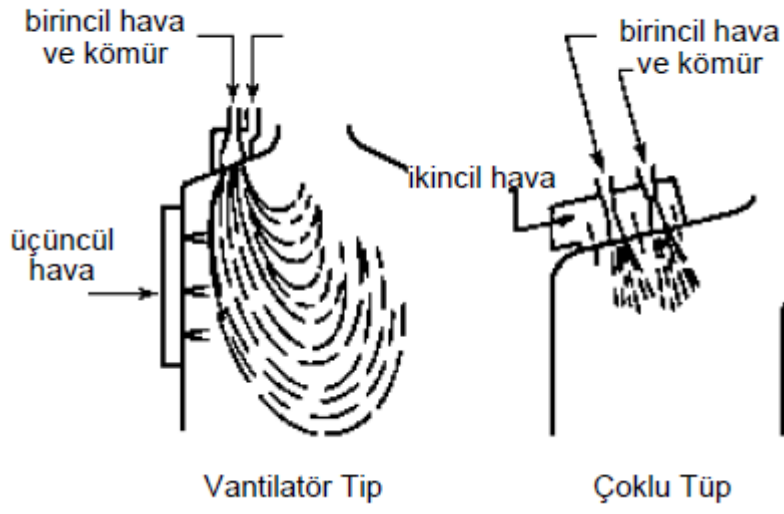
Yanma için oksijen yerine hava kullanıldığında 1 Sm<sup>3</sup> metan için 9,53 Sm<sup>3</sup> hava kullanmak gerekir. Bu orana metan için sitokiyometrik hava/yakıt oranı denir. Gaz yakıtlar için sitokiyometrik hava/yakıt oranı çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.2: Gaz yakıtlar için Sitokiyometrik hava/yakıt oranı

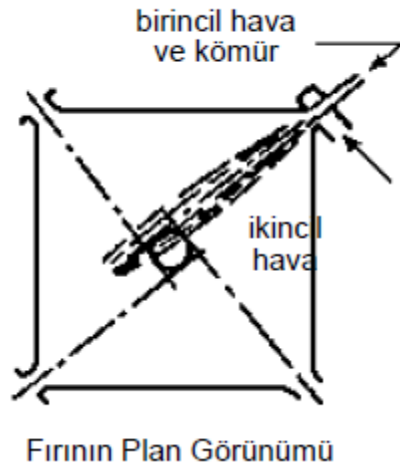
<b>Yakıt</b>	<b>Sitokiyometrik hava/yakıt oranı</b>	<b>Yanma Isısı kCal/Sm<sup>3</sup></b>
<b>Hidrojen</b>	<b>2,38</b>	<b>2892</b>
<b>Karbon monoksit</b>	<b>2,38</b>	<b>2865</b>
<b>Metan(CH<sub>4</sub>)</b>	<b>9,53</b>	<b>9015</b>
<b>Doğal Gaz</b>	<b>9,4- 11,0</b>	<b>8454- 10234</b>

Çizelge 4.3:Sıvı ve katı yakıtlar için Sitokiyometrik hava/yakıt oran

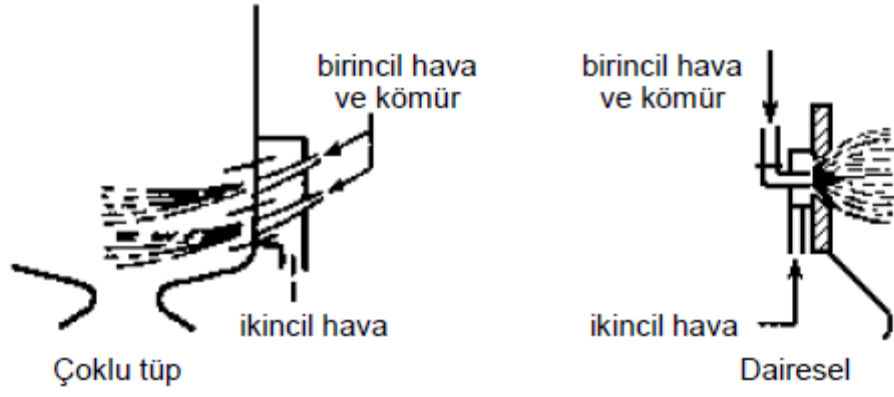
<b>Yakıt</b>	<b>Sitokiyometrik hava/yakıt oranı</b>	<b>Yanma Isısı kCal/kg</b>
<b>Karbon</b>	<b>9,36</b>	<b>7800</b>
<b>Kükürt</b>	<b>3,49</b>	<b>2200</b>
<b>FuelOil</b>	<b>10,61-11,55</b>	<b>9700-10500</b>
<b>Kömür</b>	<b>7,49-8,74</b>	<b>6600-7700</b>



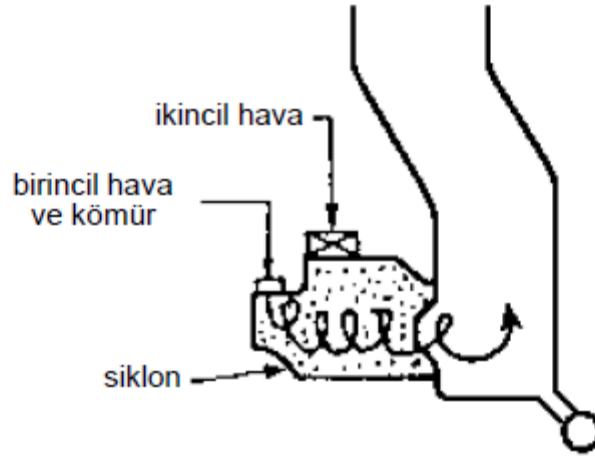
Şekil 4.5:Dikey Yanma



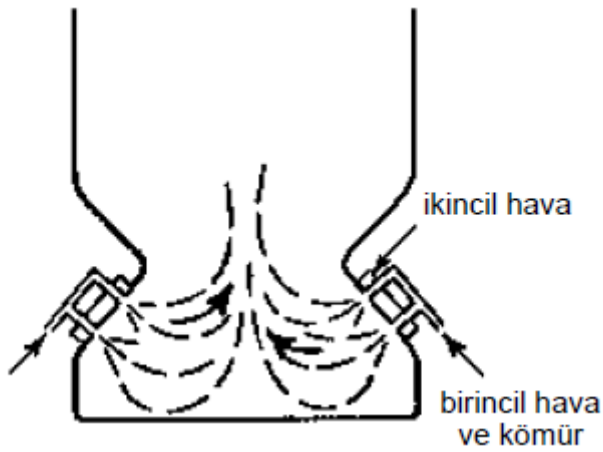
Şekil 4.6:Teğetsel



Şekil 4.7: Yatay Yanma



Şekil 4.8: Siklon Yanma



Şekil 4.9: Zıt Yanma

## BÖLÜM 5

### DESÜLFÜRİZASYON YÖNTEMLERİ

#### 5.1. Kömürde Kükürt Giderimi Yöntemleri

Fosil yakıtların yanmasından oluşan SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, C, H ve taşınan katı partiküller havanın kirlenmesine neden olur. SO<sub>x</sub>'in %98'i SO<sub>2</sub> %2'si SO<sub>3</sub> bileşikleridir.

Kükürt içeriği bakımından, dünyada kabul edilen sınırların üstünde olan linyitlerin, konveksiyonel yakıcı ve kazanlarda yakılması SO<sub>2</sub> yönünden hava kirliliğine sebep olmaktadır. Linyitlerin hava kirliliği meydana getirmeden fazla verimle yakılmasına olanak veren uygulamalardan olan yanma sırasında yatağa kireçtaşı veya dolomit eklenmesi sonucunda SO<sub>2</sub> tutulması amaçlanmaktadır.

Yanma sırasında kazana ilave edilen kireçtaşı veya dolomit, kalsiyum oksit (CaO) ve magnezyum okside (MgO) dönüşür ve SO<sub>2</sub> ile birleşerek sülfat bileşiklerini oluşturur.

Baca gazının kükürt dioksitten temizlenmesi için bugüne kadar iki yüzün üzerinde aşama geliştirilmiştir. Ekonomik ve teknik nedenlerden dolayı bu aşamalardan bazıları uygulanmaya başlanmış ya da bir kısmı hala araştırma aşamasındadır.

##### 5.1.1. Fiziksel Yöntemler

Fiziksel işlemlerde; kömür parçalanır, öğütülür ve yıkanır. Kükürt emisyon değerinin azaltılmasında kömürün yıkanmasının olumlu etkiye sahip olduğu bilinmektedir.

Bilinen fiziksel yöntemde inorganik kükürt giderilmekte ve kükürt emisyon değerinin %20-30'a kadar azaltıldığı bilinmektedir. Fakat fiziksel yöntemin kömürdeki organik kükürt üzerinde etkisi yoktur. (Çağlayan, 2016)

### **5.1.2. Kimyasal Yöntemler**

Bu yöntemler; farklı ortamlarda karbonizasyon, hava oksidasyonu, nem oksidasyonu, Mayers prosesi, klorlama ve sodyum hidroksit, bakır klorür ve etanol solüsyonları ile ekstraksiyondur. (Çağlayan,2016)

Bir diğer yöntem gama ışınları ile uyarılan klorlamadır.

Fizikokimyasal bir yöntem olan su ile kükürt giderimi (hidrodesülfürizasyon) kükürdü uzaklaştırmada kullanılan alternatif yöntemlerdendir. (Çağlayan, 2016)

Hidrodesülfürizasyon, kükürdün hidrojen sülfite çevrildiği yüksek basınçta ve yüksek sıcaklıkta (200-415°C) gerçekleşmektedir. Kimyasal işlemler kullanıldığı zaman yüksek reaksiyon oranları gerçekleşmektedir, ancak bu işlemler yüksek maliyet gerektirmektedir. (Çağlayan, 2016)

### **5.1.3. Biyolojik Yöntemler**

Biyolojik yöntemler zararsız reaksiyon ürünlerin oluşumunu sağlar ve kömürün değerini etkilemez. Biyodesülfürizasyon; kömürdeki kükürdün, sülfat gibi suda kolay çözünen bir bileşiğe dönüştürülmesidir. Biyolojik yöntemler, hem organik kükürdün bir kısmını hem de karbonlu matriste yayılan kükürdü absorbe eder. Bu yöntem düşük enerji tüketimi ile basit uygulama yöntemlerini içerir. (Çağlayan, 2016)

Desülfürizasyon prosesleri,ıslak ve kuru sistemler olmak üzere iki alt başlık altında toplanmaktadır.

## **5.2. Yakmada Uygulanan Sistemler**

### **5.2.1. Islak Sistemler**

Islak yöntemler ile %95 kükürt arıtımı yapılabilmektedir. Genel olarak, aşağıdaki sistemler uygulanmaktadır:

1. Kalsiyum bileşiklerini (kireç veya kireçtaşı) içeren uygulamalar
2. Magnezyum bileşiklerinden (magnezyum oksit veya magnezyum karbonat) oluşan sistemler
3. Sodyum bileşiklerini (sodyum hidroksit, karbonat veya sitrat vb.) içeren uygulamalar
4. Amonyak bileşiklerini (amonyum hidroksit ya da sülfat vb.) içeren sistemler
5. Potasyum bileşiklerinden (potasyum karbonat veya format vb.) oluşan sistemler
6. Sodyum karbonat ve kireç ya da amonyak ile kireç karışımlarından oluşan ikili alkali uygulamalar
7. Organik maddelerin barındırıldığı sistemler.

#### **5.2.1.1. Wellman- Lord prosesi**

Kömürdeki kükürt oranı yüksek olduğunda termik santral baca gazlarının arıtılması sonucunda, yan ürün olarak sıvı SO<sub>2</sub>, sülfirik asit veya saf kükürt barındıran bir prosestir. Proses, ilk olarak sülfirik asit fabrikalarında, daha sonra taş kömürü ve linyit kullanan santrallerde uygulanmıştır. Bu aşamaların maliyeti çok yüksek olmakla birlikte, teknolojik açıdan da karışıktır. Korozyon büyük bir problem teşkil etmektedir. Arıtıcı madde olarak sodyum hidroksit veya sodyum karbonat kullanılmaktadır. Arıtıcı maddeler tekrar kullanılabilir.

#### **5.2.1.2. Wealthther prosesi**

Bu proses, yan ürün olarak amonyum sülfat üretmekte ve SO<sub>2</sub> içeren baca gazlarının gübre üretiminde ham maddeye dönüştürmektedir. Arıtıcı madde olarak amonyak kullanılmaktadır. SO<sub>2</sub> arıtmanın oranı %95 üzerinde olmasına rağmen teknolojik zorluklar açısından pek fazla ilgi görememiştir.

### 5.2.2. Kuru Sistemler

1. Püskürtmeli kurutma prosesi (yarı ıslak veya yarı kuru olarak değerlendirilmektedir)
  - a. Kireç, kireçtaşı kullanan sistemler
  - b. Soda çözeltisi kullanan sistemler
2. Alkali enjeksiyon sistemleri
  - a. Kireç, kireçtaşı enjeksiyonu
  - b. Soda enjeksiyonu
3. Aktif kömür, metal oksitleri ve diğer adsorpların kullanıldığı adsorbsiyon sistemleri
4. Katalitik oksidasyon sistemleri
5. Kükürt dioksit indirgeme sistemleri (Yüzer, 1994)

Islak sistemlerde, baca gazı su buharı ile doymuş olarak sistemden çıkmaktadır.

Kuru sistemlerde ise SO<sub>2</sub> arıtılması gaz-katı teması ile sağlanmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan arıtma proseslerinden, kalsiyum, sodyum, magnezyum, potasyum, ikili alkali bileşikleri ve amonyak kullanan ıslak sistem arıtmalar, kireç, kireçtaşı, soda çözeltisi, aktif kömür, metal oksitleri kullanan kuru sistem arıtmalar ile desülfürizasyon yapılmaktadır. Kullanılan proseslerin çoğunda sadece SO<sub>2</sub>'nin tutulması amaç edinilmiş, proses sonunda oluşan ürünlerin değerlendirilmesi amaç edinilmemiştir. Maddelerin SO<sub>2</sub>'yi tuttuktan sonra geri kazanımları zor ve pahalı olduğundan dolayı tercih edinilmemektedir.

Kireçtaşı ve kireç baca gazı desülfürizasyon süreçleri, birçok yönden birbiriyle benzerlik göstermektedir. Kireçtaşı prosesinde kullanılan madde olarak kireçtaşı bulamacı, kireç prosesinde ise kullanılan maddekireçtir.

Reaktördeki besleme süreci kireç prosesinde daha kısa ve reaktöre beslenen kireç oranı daha düşüktür.(Çift,2008)

Hava kirleticilerinin en zararlısı kükürt dioksittir. Atmosfer oranının 24 saatlik ortalama 300 µg/m<sup>3</sup> (0.1 ppm)'in üzerinde olması sağlık açısından kabul edilemezdir. Bu oran 900-1000 µg/m<sup>3</sup>'ün üzerinde olduğunda insanın hayatını tehlikeye sokmaktadır. (Starman,1971; Topal, 2000)

Ülkemizdeki linyitlerin kükürt oranları yüksektir. İçlerinde %2-4 kükürtlü kömür yakıldığında bacadan çıkan gazın SO<sub>2</sub> derişimi, 1400-2800 ppm olmaktadır.

Bundan dolayı SO<sub>2</sub> emisyonları açısından, yanma odasında SO<sub>2</sub> azaltılmalıdır. SO<sub>2</sub> tutma çalışmalarında ucuz olması yönünden emeç olarak kireç ve kireçtaşı en fazla kullanılanlardır.(Topal,2000). Kireç taşının ucuz ve her yerde bulunması fazla kullanılmasına neden olmuştur.

Kireç-kireçtaşı kullanımını üç başlıkta toplayabiliriz.

Birincisi; direkt olarak kireç taşı kullanımı; absorpsiyon kulesinde kükürt dioksit suda emdirilerek HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>-</sup> iyonları oluşturulur ve kireçtaşı ile birleşerek kalsiyum sülfid ve kalsiyum sülfatı meydana getirir. Bunun sonucunda çamur şeklindeki ürünün atılması problemdir.

İkincisi; oluşan çamurun dışarı atılması problemi göz önünde bulundurulursa absorpsiyon kulesine ya da kule çıkışına bir tank çözeltisi içine hava ilave edilerek oksidasyon sağlanıp kalsiyum sülfid yerine jips oluşturulur. Bu yöntem avantaj olmaktadır.

Üçüncü; kireçtaşı yerine kireç kullanımı. Kireç çözeltisi kireç taşına göre daha fazla kükürt tutar. İşletme masrafları kireçtaşına göre daha çoktur. Kükürt dioksit tutması daha fazla olduğundan %9 dan fazla SO<sub>2</sub> tutar.

Termik santrallerde ve çeşitli endüstri alanlarında uygulanan; magnezyum oksit ve magnezyum karbonatın sulu çözeltilerinin kullanıldığı proseslerin tek avantajı oluşan MgSO<sub>3</sub> ve MgSO<sub>4</sub> tuzlarının rejenere edilebilmesidir. Ancak rejenerasyon işlemi fazla miktarda enerji kullanılmasına neden olmaktadır.

Son yıllarda desülfürizasyon prosesleri içinde yaş sistemlere alternatif olarak yarı-ıslak prosesler geliştirilmiştir. Bu prosesin esası, püskürtmeli kurutucu kullanılarak reaktif sistemde sulu karışım olarak vermek ve reaksiyondan sonra ürünü katı olarak elde etmektir. Bu prosesde kullanılan en yaygın işlem kireçtir.

Püskürtmeli kurutucu prosesinde ürün olarak CaSO<sub>3</sub> ve CaSO<sub>4</sub> elde edilmektedir. Ancak CaO'nin büyük bir kısmı CaSO<sub>3</sub>'e dönüşmektedir.

Kireç-kireçtaşı ile bir yaş yıkamada; bulamaç hazırlama ünitesi, yıkama kolonu ve çamur koyulaştırma ünitesi bulunmaktadır.

Uçucu külden temizlenmiş kirli baca gazı püskürtmeli kolonda sirküle eden kireç/kireçtaşı bulamacı ile yıkanarak SO<sub>2</sub> den temizlenir. Yıkama kolonu çıkışında bir

gidericiden geçirilir. Baca gazı içinde kükürt, kireç ya da kireçtaşı bulamacı ile yıkanarak kalsiyum sülfat çamuruna dönüştürülür.

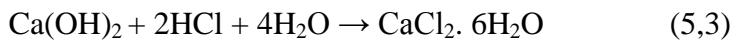
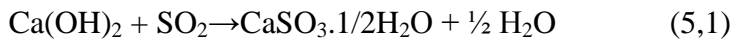
Aritma çamurunun konsantrasyonu %16'ya ulaştığında çamurun bir kısmı ortamdaki uzaklaştırılmalıdır. Aksi durumda doyumluk derecesine ulaşan CaSO<sub>3</sub> ve CaSO<sub>4</sub> ortamda kristalleşmelere neden olur.

### 5.2.3. Püskürtmeli Kurutma Sistemleri

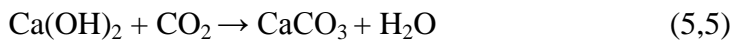
Ekonomi açısından diğer sistemlere göre en düşük maliyeti olan sistemdir. Bu sistemde, 135-204°C sıcaklıklarında baca gazı, bir çözeltide ya da bir kap içinde 5-10 saniye bekletip alkali maddenin çamuru ile karşılaştırılır. Baca gazı, buharlaşmış su ile ısı kaybı olmadan nemlendirilir ve sıvı faz tuzları çökeltip kalan katılar kurutulur.

Boiler hava ısıtıcısını terk edip püskürtmeli kurutucuya giren baca gazı, atomize edilmiş SO<sub>2</sub> giderici çamurla temas ettirilir. Baca gazının sıcaklığı çamurun içindeki suyun buharlaşmasına ve baca gazının rutubetinin artmasına neden olur. Gaz içindeki SO<sub>2</sub> çamur tarafından absorbe edilir ve kalsiyum tuzlarının karışımı, kireç ile reaksiyona girmektedir.

Oluşan kimyasal reaksiyonlar;



Bunların yanında, ikincil reaksiyonlar da oluşmaktadır:



### 5.2.4. Desülfürizasyon Verimini Etkileyen Faktörler

1. Torba/elektrostatik filtre kullanımı
2. Sorbent geri besleme:
3. Sorbent katı maddesi ilavesi
4. Stokiyometri oranı

5. Adyabatik doyunluk sıcaklığına yatkınlık
6. Gaz besleme süresi
7. Relatif rutubet
8. Tanecik/damlacık büyüklüğü

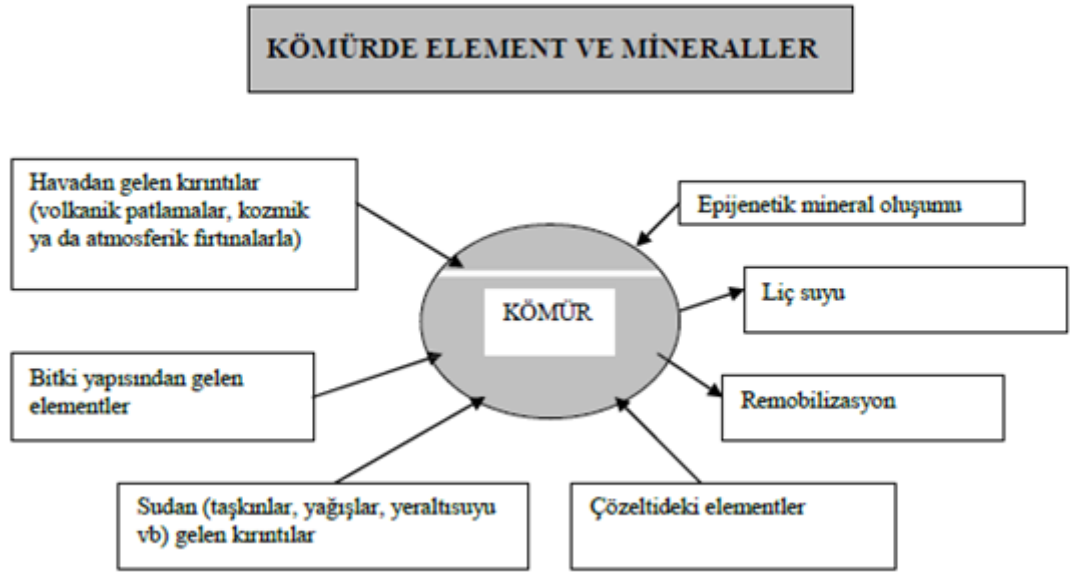


## BÖLÜM 6

### MATERYAL VE METOD

#### 6.1 Kömürün Yapısı

Kömür; içeriğinde mineral gibi inorganik maddeler, su, farklı elementler, yağ ve gaz karışımlarını barındıran ve uzun yıllar içinde oluşumunu tamamlayan organik bir oluşumdur. Element ve minerallerin bir kısmı volkanik püskürtme ve kozmik fırtınalarla yüzeydeki turbaların yapısına eklenirken, bir kısım elementler ise bitkisel yapının kendisinde yer aldığı için direkt olarak turbanın ve kömürün yapısına katılırlar.



Şekil 6.1: Kömürlerle İlişkili Element Ve Minerallerin Kökeni Ve Hareket Yönleri.(Storage, Jeoloji, Analizler)

Belli miktardaki kırıntılar, taşkın tesislerinin altında bulunan bataklık bölgelerinde taşkınlar ve yeraltı suyuyla turbaların yapısına eklenirler. Yeraltı suları çözülmüş

şekilde bulunan elementlerin turbalıkta veya kömürün evrimleşmesinin herhangi bir evresinde kömürün yapısına katılırlar.

## **6.2 Kömüre Uygulanan Kimyasal Analizler**

Kömürün kimyasal yapısını anlayabilmek üzere, bazı analizler uygulanır.

### **6.2.1 Proximate analysis (kısa analiz)**

Kısa analiz, kömürün içeriğinde bulunan uçucu madde (volatile matter), kül, sabit karbon ve nem oranlarını tayin etmekte için uygulanan yöntemleri tanımlar (Ocakoglu, 2015).

#### **6.2.1.1 Nem**

Kömürün içeriğinde farklı şekillerde bulunabilen nem, kömürün sahip olduğu kalorifik değeri düşüren önemli bir parametredir. Nem, aynı zamanda koklaşabilir kömürlerin karbon içeriğini azalttığı için oranı ve tayin edilmesi bakımından büyük öneme sahiptir. Kömür içeriğindeki nem, dört farklı biçimde bulunabilir. Bunlardan yüzey nemi ve higroskopik su, dış kaynaklı nemi tanımlamada kullanılır. Kömürün içeriğinde bulunan parçacıkların çeperini, ince bir katman olarak çevreleyen ve kömürün yapısına dışarıdan eklenen su yüzey nemi olarak tanımlanırken, higroskopik su ise parçacıkların iç yüzeylerinde ve boşluklarında bulunan nemi ifade etmektedir (Ocakoglu, 2015)

Bozunma nemi, bazı kömür bileşenlerinin organik yapılarında bulunan sudur (Ocakoglu, 2015). Kömürün içeriğinde bulunabilen diğer bir nem ise mineral nemdir ve bazı kömür çeşitlerinin inorganik maddelerinde bulunabilir (Ocakoglu, 2015)

### **6.2.1.2 Uçucu Madde Analizi (Volatile matters)**

Yüksek sıcaklıkta nem haricindeki serbest hale gelen maddelerdir. CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub> ve başka hidrokarbonlar ile organik ve inorganik maddelerden oluşabilirler. (Ocakoğlu,2015)

Uçucu madde testi farklı yöntemlerle tayin edilebilir. Tayin yöntemlerinden biri olan İngiliz standartlarına göre test 900°C'de yapılırken, Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu (ASTM) standartlarına göre ise 950°C sıcaklıkta özel düzenekler içinde ısıtma yapılır (Ocakoğlu,2015).

### **6.2.1.3 Kül (Ash) Analizi**

Kül, yanma tepkimesi sonucunda uçucu bileşiklerin (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> vb.) çıkmasından sonra, yanmamış olarak geride kalan inorganik tortu olarak tanımlanmaktadır (Ocakoğlu,2015).

Kül içeriği fazla olması tercih edilmeyen bir özelliktir. Yakmadan sonra atık problemleri ortaya çıkar.(Ocakoğlu,2015)

ASTM standartlarında kül için yakma sıcaklığı 750°C'dir. Kömürde fazla kalsit ve pirit daha mevcutsa kükürtün külden uzaklaşması için ısıtma 2 defa yapılıyor. Önce 750°C den az sıcaklıkta tutulup, daha sonra 750°C de bekleniyor ve kütle sabitlenene kadar 750°C de devam ediyor.

### **6.2.1.4 Sabit Karbon Analizi (Fixed Carbon)**

Yanma tepkimesi ile kömürden uçucu maddelerin uzaklaşması sonucunda geriye kalan kısımdaki organik madde olan karbonu ifade etmektedir. Farklı bir deyişle, kömürdeki organik maddelerin bozunma artıklarıdır ve içeriğinde azot, kükürt, oksijen ve hidrojen bulunabilir. Koklaşma endeksinin en iyi ifadesi bağlı karbondur.

Bağlı karbon, aynı zamanda koklaşma endeksini de tanımlar. Ancak direkt olarak belirlenemediği için kuru bazdaki kömür için 100'den uçucu madde, nem ve külün 100'den çıkarılması ile bulunur.

## 6.2.2 Ultimate Analysis (Elemental Analiz)

Kömürün içeriğindeki organik yapıyı oluşturan elementlerin bağıl oranlarının tayininde kullanılan yöntemdir. Bir başka deyişle elemental analiz, kömürdeki karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve kükürt (S) miktarını belirlemek için uygulanmaktadır.

### 6.2.2.1. Karbon (C) ve Hidrojen (H) Analizi

Genelde kompleks hidrokarbon bileşikleridir. Kömür yakıldığı zaman su ( $H_2O$ ) ve karbondioksit ( $CO_2$ ) serbest hale gelir. Bundan dolayı beraber ölçümleri kolaydır, fakat ölçülen  $CO_2$ 'de bulunan karbonun, karbonat minerallerinden ve suyun ise kömürdeki yüzey neminden ya da killerin içeriğinde bulunan kristal yapıdan kaynaklanabilir.

Karbon ve hidrojen tayini için iki yöntem kullanılır:

İebig yönteminde kömür  $800^{\circ}C$ 'de ısıtılır. Yüksek sıcaklık yönteminde ise kömür  $1350^{\circ}C$ 'de ısıtılır.

### 6.2.2.2. Oksijen Analizi

Kömürde bulunan organik bileşiklerin bileşiminde bulunur. Nem, kömürün oksitlenmiş yüzeyinde ve inorganik minerallerin yapısında bulunur. Kömürün derecesini oksijen gösterir ve kömürün sınıflandırılmasında önemli bir parametredir.

### 6.2.2.3. Azot ve Kükürt Analizi

Azot, kömürün içeriğindeki organik bileşiklere bağlı halde bulunur. Ayrıca, kömürün gözeneklerinde bulunan suda, azot içeren bileşiklerin görülmesi de mümkündür. Kömürün yanmasında oksit oluşumu olduğundan dolayı kömürde yüksek azot istenmez.

Öte yandan, kömürde kükürt üç şekilde bulunur:

İnorganik kükürt: Sülfat minerallerin bünyesinde bulunan kükürt.

Sülfat kükürt: Sülfat minerallerin bünyesinde bulunur.

Organik kükürt: Kömürün organik yapısında bulunur.

### 6.2.3 Isıl Değer Tespiti

Kömürün yakıldığında açığa çıkaracağı enerjinin belirlenmesi için yapılır. Yakılan kömürün kütle başına açığa çıkardığı ısı miktarıdır. Farklı şekil ve birimlerde ifade edilebilir; MJ/kg olarak veya İngiliz standartlarına göre Kcal/kg ya da cal/gr olarak tanımlanabilmektedir (Ocakoğlu, 2015).

Kömürün yanışında N, S ve mineraller reaksiyona girer. Bunlar genelde endotermik olduğundan ısı soğurur, kömürün ısını alır.

Laboratuvarda kapalı fırın içindeki ısıl değere üst ısıl değer denir. Yanmada açığa çıkan gazlar dışarıya çıkamadığı ve enerji taşıdığından elde edilen üst ısıl değer, açık ortamda elde edilen teorik değere (alt ısıl değere) göre daha büyüktür.

Uçucu maddesi yüksek olan kömürlerin alt ve üst ısıl değer farkları da büyüktür.

### 6.2.4 Diğer Analizler

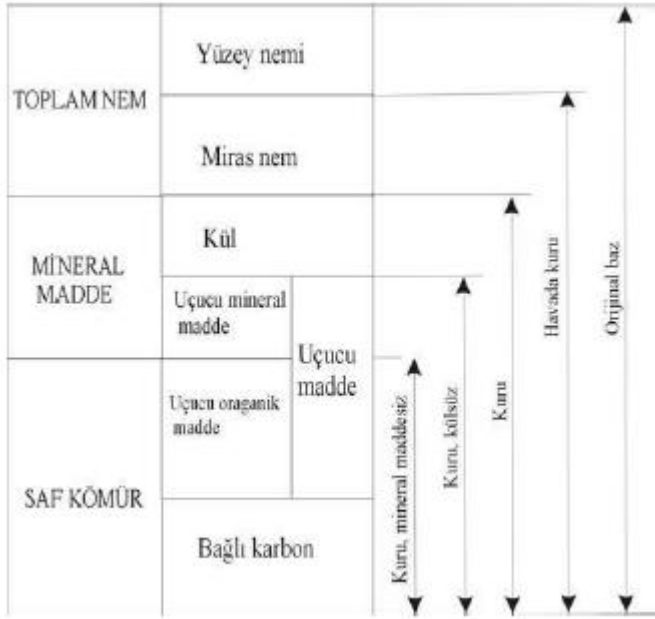
Kömüre uygulanan diğer kimyasal analizler sayesinde, yapısında bulunan farklı sülfür formları, klor (Cl), iz elementler ve CO<sub>3</sub> gibi bileşiklerin miktar tayinleri mümkündür (Ocakoğlu, 2015).

## 6.3 Kömür Kimyasal Analiz Sonuçları

Kömürün içerik tayini için uygulanan kimyasal yöntemler sonucunda elde edilen verilerin, farklı şekillerde ifade edilmesi mümkündür.

Orijinal baz (as received) ifadesi, sonuçlarda toplam nem içeriğinin belirtildiği ifadedir. Havada kuru baz (air dried), hava ortamında kurutulup nemi uzaklaştırılan sonuçları tanımlamada kullanılır. 400°C sıcaklıkta ve açıkta hava ile temas ederek kurutma yapılmaktadır. Kuru baz (dry) ifadesi, kömür içeriğindeki kalıcı nemin, yapıdan uzaklaştırılması sonucunda geriye kalan oranları ifade etmek için kullanılır. Kuru baz analizi için numune, 110°C sıcaklıkta ve azot ortamında kurumaya bırakılır.

Son olarak kuru külsüz baz (dry, ash free) ifadesi ise kül ve toplam nem uzaklaştırıldığında elde edilen sonucu tanımlamaktadır.



Şekil 6.2: Kömür Bileşenleri için kullanılan ve farklı bazları ifade eden analizler (Ocakoglu, 2015).

#### 6.4 Yapılacak Olan Deneyin Asıl Amacı

Trakya yöresindeki linyitlerin piyasadaki diğer linyitlere oranla içinde barındırdığı kükürt oranının yüksek olmasından dolayı yanma sonucunda daha az kükürt salınımı için kireç taşı kullanımı yüksek önem taşımaktadır. Bu oranın uygun değerlere indirmek amacıyla kireç taşı katkı oranını belirlemek ve bunun emisyonu etkilerinin azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaçla deneyler ISO 1920, ASTM D 4239 ve ASTM D7582 standartlarına göre yapılmıştır..

#### 6.5 Numune Alma

Kömürün (fiziksel, kimyasal, fizikokimyasal) özelliklerini belirlemek üzere varoluş şeklini ( arazi, stok, nakil ünitesi içinde ) olabildiğince temsil edebilen bir bölümünün alınması işleme numune alma denir.

Kömür oluştuğu yerde ve temizleme sonucu sınıflandırmada farklı fiziksel ve kimyasal özellikler arz eder.

Hangi sebeple olursa olsun alınan numune esas kitleyi temsil etmelidir. Kömür numunesi almada şu düşünce ve görüşlere yer verilmesi gerekmektedir:

- ✓ Numune alınma amacı.
- ✓ Hangi tür kömürden numune alınacaktır (ocaktan çıkan tıvönan, lauvarda yıkanmış ve sınıflandırılmış veya katı-sıvı karışımı kömür gibi )
- ✓ Hangi ünitelerden numune alınacaktır ( vagondan, banttın, stoktan gibi ).
- ✓ Alınan numuneden hangi tür analizler yapılacaktır (rutubet, kül, kükürt gibi ).

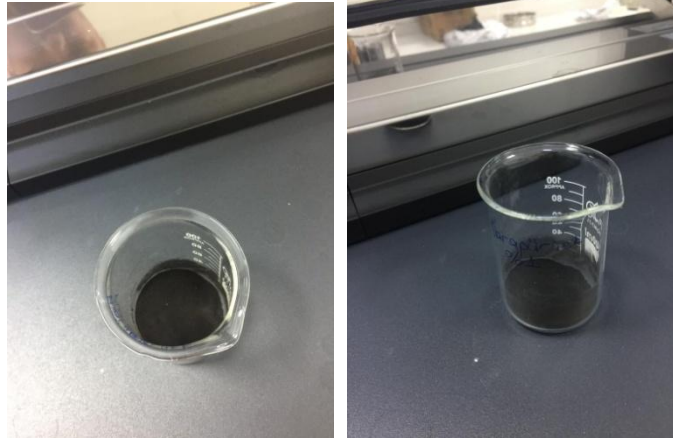
### 6.6 Deneyin Yapılışı

Deney yapımı için kullanılacak olan kömürler toplanır. Toplanan kömürler çok küçük parçalar haline getirilir, kırılır ve un halini alır. Un halindeki kömürler **mesh no 60** (elek numarası 60 olan) eleklerinden elenir.



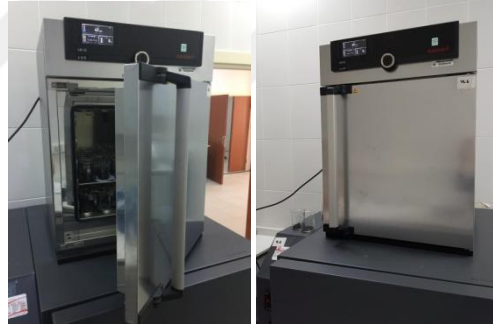
Şekil 6.3: Test Eleği

Elenen kömürler istenen oranda cam fanus içine konur. Kömürün içine hangi oranda istenirse kireç tozu eklenir. Toplam olarak kireç ve kömür karışımı 10 gram olacak şekilde numuneler hazırlanır. Bu ölçümler hassas terazide tartılır. Elde edilen karışım tamamen birbirine homojen olacak şekilde karıştırılır.



Şekil 6.4:Kömür + kireç karışımı

Bu karışım etüvde (**Memmert UN55 cihazında**) 40 °C sıcaklıkta kontrol edilebilen ve hava değişimi hızlı bir şekilde sağlanabilen etüv içerisine yerleştirilir. Etüv kapağı kapatılır. Bu sabit sıcaklıkta kömürün tane büyüklüğüne bağlı olarak 24 saat kurutulur.



Şekil 6.5:Etüv (Memmert)

Kurutma işlemi bittikten sonra kömür numunesi etüvden alınarak soğuması beklenilmeden tartılır. Çıkan sonuç bir kenara not edilir. Böylelikle etüvde kurutma işlemi tamamlanmış olur.



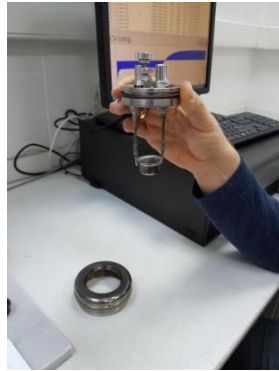
Şekil 6.6: Hassas terazi

24 saat kurutulan numuneden 1gr numune ( %100 kömür veya kömür+kireç karışımı) alınıp **bomba kalorimetre ( Lece AC500)** markalı cihazda bomba gömleğine kap aracılığıyla tartılarak konulur.

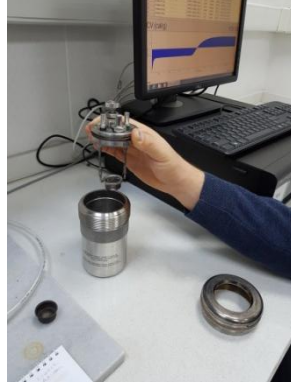


Şekil 6.7: 1 gr numune

İçine fitili bağlayıp gömleğin kapağı kapanır.



Şekil 6.8: Fitol Bağlama



Şekil 6.9: Gömlek İçine Yerleştirme



Şekil 6.10:Gömlek Kapağı Kapama

Gömleğin kapağı sıkıca kapandıktan sonra gömleğin içine 3000 kPa oksijen basılır.

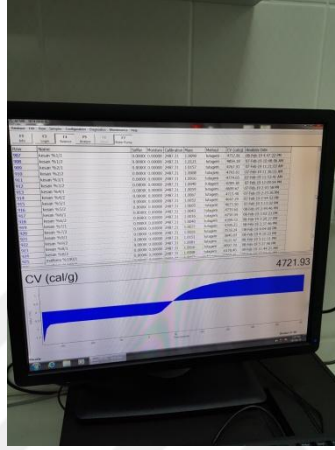


Şekil 6.11:Gömlek İçine Oksijen Basılma

Bomba kalorinin içine kendi kovasıyla 2 litre saf su konulur. Kova bomba kalorinin içindeki yerleştirilir.

Kovanın içine gömlek yerleştirilir. Bombanın üzerindeki yuvalara aynı akımı veren jak başları takılır. İlk ateşleme yapabilmesi için bomba kalorinin kapağı kapatılır. Kapakta ısı homojeni ve sıcaklık farkını ölçen termometre aparatı vardır.

**Leco AC500 Software** açılarak bilgisayarda analiz başlatılır.



Şekil 6.12: Leco AC500 Software

Cihazın metoduna göre ilk sıcaklık ve son sıcaklık hesaplanır.  $\Delta t$  den kaç kalori olduğu ölçülür.

Bünye Nemi: **Radwak max50NH** markalı cihazda;

Cihazın kapağı açılır. Start – Stop basılır. Set the pan yazısı çıktıktan sonra cihazın terazisine alüminyum kefe yerleştirilir. Kefe terazinin ortasına yerleştirildikten sonra 0-t tuşuna basılarak kefenin darası alır. Daha sonra kefeye yaklaşık 0,7gr numune ( %100 kömür veya kömür+kireç karışımı) kömür tartıldıktan sonra cihazın kapağı kapatılır, cihaz otomatik olarak okumaya başlar. Yukarıdaki sıcaklık kaynağı sistemin iç haznesine kademeli olarak 120 °C getirir. Bu sırada numunedeki bünye nemindeki değişim cihazın dijital göstergesinde görünür.

Numunede bulunan neme göre analiz süresi değişmektedir. Ortalama %3 , %4 bünye nemi için okuma süresi 3,5 - 4 dakikadır.

Daha sonra Hazırlanmış olan numunelerden; krozenin (Şekil 6.13) içine yaklaşık 0,250 gramnumune ( %100 kömür veya kömür+kireç karışımı) hassas terazide tartılır. Bu işlemler yani kükürt ölçümü; : **Leco SC144DR** markalı cihaz ile yapılmaktadır.



Şekil 6.13: Kroze

- Numune fırınına çalıştırılır.
- Fırın sıcaklığının 1350 C° ye gelmesini beklenir. (Yaklaşık 30 dakika)
- Isıtılmış fırın içerisine hazırlanmış olan kömür veya kok numunesini kroze ( bot) ile birlikte, kroze durdurucuya temas edinceye kadar itilerek yerleştirilir.



Şekil 6.14: Fırın

- Fırının kapağı kapatılınca analiz otomatik olarak başlayacaktır.
- Analize devam etmek için Continue Analyze tuşuna dokunulur.
- 120-180 saniye arasında numuneyi fırın içerisinde bekletilir.

Sonuç analiz penceresinde görünecektir



Şekil 6.15: Analiz sonucunun ekranda görünmesi

Analiz penceresi ekranında görünen tüm sonuçlar çıktıları her ocak ve her adım için ayrı ayrı Bölüm 8 de Ekler kısmında tablolar halinde verilmiştir. Bu çıktılarıdaki değerlerden yararlanılarak;

1- Numuneyi koymadan önce **boş kap ağırlığı (dara)** tartılır.(gram)

D→Dara → Boş kap ağırlığı(gram)

2- Daha sonra kabın içine numune konular tekrar tartılır.

3- Hazırlanan numune 24 saat kurutulduktan sonra tekrar **son ağırlığı** alınır.

SA→Son Ağırlık ( gram)

TA→Toplam ağırlık ( gram)

4- Toplam ağırlıktan dara çıkarılır. **(Toplam ağırlık) –(Dara)**

NA→Net Ağırlık (gram)

$$TA - D \rightarrow NA \quad (6.1)$$

5- Toplam ağırlıktan son ağırlık çıkarılır. (Toplam Ağırlık)-(Son ağırlık)

$$TA - SA \quad (6.2)$$

6- Bu farklar arasında % değer bulunur. Bu yüzde değer **yüzey nemi** değerini vermektedir.

YN→Yüzey Nemi (%)

$$YN \rightarrow [100x(TA-SA)/(TA-D)] \quad (6.3)$$

$$\text{Yüzey Nem} = [100 \times (\text{Toplam Ağırlık} - \text{Son Ağırlık})] / [(\text{Toplam Ağırlık} - \text{Dara})]$$

Bünye nemi ortalaması: bünye nemi değerlerinin ortalaması olarak bulunmaktadır.

BN= Bünye Nemi

$$BN = [(BN_1 + BN_2) / 2] \quad (6.4)$$

$$\text{Bünye nemi} = [(1. \text{Değer}) + (2. \text{Değer}) / 2]$$

7- Yüzey nemi ile bünye nemi toplamı sonucu **toplam nemi** vermektedir.

TN → Toplam Nem (%)

$$TN = YN + BN \quad (6.5)$$

Toplam Nem= Yüzey Nemi + Bünye Nemi

8- Kül değerleri % si alınarak **kül %** si bulunur.

%Kül → % Kl

Kül Oranı → Kl

$$\%Kl = [(100 \times Kl_2) / Kl_1] \quad (6.6)$$

$$\text{Kül \%} = [(100 \times \text{Kül Değerinin 2. Değeri}) / \text{Kül Değerinin 1. Değeri}]$$

9- Bomba kalorimetrede iki değer okunur. Bu değerlerin ortalaması alınır.

Bomba kalori değerleri=  $H_u$

10- Bu ortalama **üst ısı değer** vermektedir.

Üst Isıl Değer Ortalamaları=  $H_{ort}$

$$H_{ort} = [(H_{u1} + H_{u2}) / 2] \quad (6.7)$$

11- % verim tablolarının oluşturulmasında kullanılan değerler aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır.

$\eta$ =Verim (%)

$$H_{a1} = \text{Karışım alt ısı değer} \quad \mathcal{Z} = H_{a \text{ Karışım}} / H_{a \%100 \text{ Kömür}} \quad (6,8)$$

$H_{ak}$ = Kömür alt ısı değer

$$1.\text{adım} \quad \eta = H_{a1} / H_{ak} \quad (6,9)$$

$$2.\text{adım} \quad \eta = H_{a2} / H_{ak} \quad (6,10)$$

$$3.\text{adım} \quad \eta = H_{a3} / H_{ak} \quad (6,11)$$

$$4.\text{adım} \quad \eta = H_{a4} / H_{ak} \quad (6,12)$$

$$5.\text{adım} \quad \eta = H_{a5} / H_{ak} \quad (6,13)$$

$$6.\text{adım} \quad \eta = H_{a6} / H_{ak} \quad (6,14)$$

$$7.\text{adım} \quad \eta = H_{a7} / H_{ak} \quad (6,15)$$

$$8.\text{adım} \quad \eta = H_{a8} / H_{ak} \quad (6,16)$$

$$9.\text{adım} \quad \eta = H_{a9} / H_{ak} \quad (6,17)$$

$$10.\text{adım} \quad \eta = H_{a10} / H_{ak} \quad (6,18)$$

12- **% Yanıcı SO<sub>2</sub> Oranı:**

Çizelge 6.61, Çizelge 6.62, Çizelge 6.63, Çizelge 6.64, Çizelge 6.65 teki % Yanıcı SO<sub>2</sub> oranı değeri Ekler tablosunda bulunan toplam kükürt oranı değerine eşittir.

Yukarıdaki formüllerle aşağıda bulunan tablolardaki değerler hesaplanır ve aşağıdaki tablolar oluşturulur.

## 6.7 Üst Isıl Değer Hesapları

### 6.7.1 Harmanlı

Çizelge 6.1: Harmanlı %100 Kömür

Harmanlı % 100 Kömür			
Dara (Gram)	73,546		
Toplam Ağırlık (Gram)	88,936		
Son Ağırlık (Gram)	87,109		
Toplam Ağırlık – Dara (Gram)	15,391		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık (Gram)	1,827		
Yüzey Nemi	11,872		
Bünye Nemi	4,261	4,385	4,323
Toplam Nem	16,195		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	6008,56	5980,55	5994,555
Kül	0,2535	0,0063	2,49

Çizelge 6.2: Harmanlı %1 Kireç

Harmanlı % 1 Kireç			
Dara (Gram)	63,641		
Toplam Ağırlık (Gram)	73,642		
Son Ağırlık (Gram)	72,475		
Toplam Ağırlık – Dara (Gram)	10,001		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık (Gram)	1,167		
Yüzey Nemi	11,672		
Bünye Nemi	4,076	3,884	3,980
Toplam Nem	15,652		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5934,17	5844,08	5889,125
Kül	0,2561	0,0165	6,44

Çizelge 6.3:Harmanlı %2 Kireç

Harmanlı % 2 Kireç			
Dara (Gram)	31,841		
Toplam Ağırlık (Gram)	41,841		
Son Ağırlık (Gram)	40,669		
Toplam Ağırlık – Dara (Gram)	9,9998		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık (Gram)	1,171		
Yüzey Nemi	11,713		
Bünye Nemi	3,667	3,887	3,777
Toplam Nem	15,4902		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5891,19	5837,8	5864,495
Kül	0,2505	0,0117	4,6707

Çizelge 6.4: : Harmanlı %3 Kireç

Harmanlı % 3 Kireç			
Dara (Gram)	67,603		
Toplam Ağırlık (Gram)	77,603		
Son Ağırlık (Gram)	76,500		
Toplam Ağırlık – Dara (Gram)	10,0001		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık (Gram)	1,103		
Yüzey Nemi	11,032		
Bünye Nemi	3,949	3,882	3,9155
Toplam Nem	14,947		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5440,94	5494,5	5467,72
Kül	0,2566	0,0208	8,106

Çizelge 6.5: : Harmanlı %4 Kireç

Harmanlı % 4 Kireç			
Dara (Gram)	76,664		
Toplam Ağırlık (Gram)	86,664		
Son Ağırlık (Gram)	85,603		
Toplam Ağırlık – Dara (Gram)	10,0001		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık (Gram)	1,061		
Yüzey Nemi	10,612		
Bünye Nemi	4	3,857	3,9285
Toplam Nem	14,5404		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5434,44	5369,07	5401,755
Kül	0,2568	0,0264	10,2804

Çizelge 6.6: Harmanlı %5 Kireç

Harmanlı % 5 Kireç			
Dara (Gram)	76,831		
Toplam Ağırlık (Gram)	86,830		
Son Ağırlık (Gram)	85,704		
Toplam Ağırlık – Dara (Gram)	9,9997		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık (Gram)	1,1264		
Yüzey Nemi	11,2643		
Bünye Nemi	2,817	2,958	2,8875
Toplam Nem	14,152		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5309,9	5331,07	5320,485
Kül	0,2578	0,0299	11,598

Çizelge 6.7: Harmanlı %6 Kireç

Harmanlı % 6 Kireç			
Dara (Gram)	73,503		
Toplam Ağırlık (Gram)	83,504		
Son Ağırlık (Gram)	82,416		
Toplam Ağırlık – Dara (Gram)	10,001		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık (Gram)	1,088		
Yüzey Nemi	10,881		
Bünye Nemi	2,841	2,787	2,814
Toplam Nem	13,6947		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5204,22	5219,05	
Kül	0,2518	0,0358	14,2176

Çizelge 6.8: Harmanlı %7 Kireç

Harmanlı % 7 Kireç			
Dara (Gram)	63,294		
Toplam Ağırlık (Gram)	73,295		
Son Ağırlık (Gram)	72,248		
Toplam Ağırlık – Dara (Gram)	10,0009		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık (Gram)	1,0462		
Yüzey Nemi	10,4611		
Bünye Nemi	3,151	2,903	3,027
Toplam Nem	13,488		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4990,4	5045,98	5018,19
Kül	0,2585	0,0374	14,468

Çizelge 6.9: : Harmanlı %8 Kireç

Harmanlı % 8 Kireç			
Dara (Gram)	74,737		
Toplam Ağırlık (Gram)	84,737		
Son Ağırlık (Gram)	83,711		
Toplam Ağırlık – Dara (Gram)	10		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,027		
Yüzey Nemi	10,265		
Bünye Nemi	3,253	3,414	3,3335
Toplam Nem	13,5985		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5034,19	4941,96	4988,075
Kül	0,2507	0,0416	16,5935

Çizelge 6.10: Harmanlı %9 Kireç

Harmanlı % 9 Kireç			
Dara (Gram)	50,675		
Toplam Ağırlık (Gram)	60,675		
Son Ağırlık (Gram)	59,684		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	9,9999		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık (Gram)	0,9909		
Yüzey Nemi	9,9091		
Bünye Nemi	3,112	2,994	3,053
Toplam Nem	12,962		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4779,67	4721,93	4750,8
Kül	0,2528	0,0417	16,495

## 6.7.2 Altinyazı

Çizelge 6.11: Altinyazı %100 Kömür

Altinyazı % 100 Kömür			
Dara (Gram)	61,840		
Toplam Ağırlık (Gram)	81,355		
Son Ağırlık (Gram)	78,510		
Toplam Ağırlık – Dara (Gram)	19,515		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	2,845		
Yüzey Nemi	14,578		
Bünye Nemi	3,487	3,672	3,580
Toplam Nem	18,157		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5829,11	5861,44	5845,275
Kül	0,2511	0,0217	8,64

Çizelge 6.12: Altinyazı %1 Kireç

Altinyazı % 1 Kireç			
Dara (Gram)	31,370		
Toplam Ağırlık(Gram)	41,370		
Son Ağırlık(Gram)	39,954		
Toplam Ağırlık – Dara (Gram)	10,000		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,416		
Yüzey Nemi	14,162		
Bünye Nemi	3,671	3,688	3,680
Toplam Nem	17,842		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5791,81	5787,27	5789,54
Kül	0,2507	0,0242	9,65

Çizelge 6.13: Altınyazı %2 Kireç

Altınyazı % 2 Kireç			
Dara (Gram)	49,192		
Toplam Ağırlık (Gram)	59,191		
Son Ağırlık (Gram)	57,782		
Toplam Ağırlık – Dara (Gram)	9,9994		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,409		
Yüzey Nemi	14,087		
Bünye Nemi	4	3,869	3,9345
Toplam Nem	18,0213		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5782,37	5667,08	5724,725
Kül	0,254	0,0283	11,1417

Çizelge 6.14: Altınyazı %3 Kireç

Altınyazı % 3 Kireç			
Dara(Gram)	9,387		
Toplam Ağırlık(Gram)	19,388		
Son Ağırlık(Gram)	18,090		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,0011		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,299		
Yüzey Nemi	12,984		
Bünye Nemi	3,283	3,272	3,2775
Toplam Nem	16,261		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5523,23	5374,29	5448,76
Kül	0,2529	0,0317	12,535

Çizelge 6.15: Altınyazı %4 Kireç

Altınyazı % 4 Kireç			
Dara(Gram)	73,946		
Toplam Ağırlık(Gram)	83,947		
Son Ağırlık(Gram)	82,706		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,0003		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,241		
Yüzey Nemi	12,406		
Bünye Nemi	2,945	3,226	3,0855
Toplam Nem	15,4911		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5228,89	5311,49	5270,19
Kül	0,2509	0,0405	16,1419

Çizelge 6.16: Altınyazı %5 Kireç

Altınyazı % 5 Kireç			
Dara(Gram)	73,433		
Toplam Ağırlık(Gram)	83,434		
Son Ağırlık(Gram)	82,234		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,0001		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,1996		
Yüzey Nemi	11,9959		
Bünye Nemi	3,541	3,321	3,431
Toplam Nem	15,427		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5084,13	5156,08	5120,105
Kül	0,2572	0,0399	15,513

Çizelge 6.17: Altınyazı %6 Kireç

Altınyazı % 6 Kireç			
Dara(Gram)	62,079		
Toplam Ağırlık(Gram)	72,080		
Son Ağırlık(Gram)	70,901		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,000		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,179		
Yüzey Nemi	11,790		
Bünye Nemi	3,429	3,424	3,4265
Toplam Nem	15,2161		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5002,02	4951,48	
Kül	0,2537	0,0433	17,0674

Çizelge 6.18: Altınyazı %7 Kireç

Altınyazı % 7 Kireç			
Dara(Gram)	69,079		
Toplam Ağırlık(Gram)	79,079		
Son Ağırlık(Gram)	77,958		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	9,9999		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,1205		
Yüzey Nemi	11,2051		
Bünye Nemi	3,068	3,112	3,09
Toplam Nem	14,295		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4861,75	4865,44	4863,595
Kül	0,2521	0,0435	17,255

Çizelge 6.19: Altinyazı %8 Kireç

Altinyazı % 8 Kireç			
Dara(Gram)	66,067		
Toplam Ağırlık(Gram)	76,067		
Son Ağırlık(Gram)	74,996		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,0001		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,071		
Yüzey Nemi	10,713		
Bünye Nemi	2,937	2,821	2,879
Toplam Nem	13,5919		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4747,68	4769,8	4758,74
Kül	0,2518	0,0446	17,7125

Çizelge 6.20: Altinyazı %9 Kireç

Altinyazı % 9 Kireç			
Dara(Gram)	69,606		
Toplam Ağırlık(Gram)	79,606		
Son Ağırlık(Gram)	78,907		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	9,9998		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	0,6991		
Yüzey Nemi	6,9911		
Bünye Nemi	3,324	3,249	3,2865
Toplam Nem	10,278		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4692,36	4695,32	4693,84
Kül	0,2525	0,0415	16,436

### 6.7.3 Karapürçek

Çizelge 6.21: Karapürçek %100 Kömür

Karapürçek % 100 Kömür			
Dara(Gram)	63,112		
Toplam Ağırlık(Gram)	74,120		
Son Ağırlık(Gram)	72,322		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	11,008		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,798		
Yüzey Nemi	16,329		
Bünye Nemi	4,703	5,085	4,894
Toplam Nem	21,223		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5481,35	5397,84	5439,595
Kül	0,2507	0,0264	10,53

Çizelge 6.22: Karapürçek %1 Kireç

Karapürçek % 1 Kireç			
Dara(Gram)	48,526		
Toplam Ağırlık(Gram)	58,526		
Son Ağırlık(Gram)	56,878		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,000		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,649		
Yüzey Nemi	16,487		
Bünye Nemi	4,397	4,923	4,660
Toplam Nem	21,147		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5254,21	5267,78	5260,995
Kül	0,2527	0,0213	8,43

Çizelge 6.23: Karapürçek %2 Kireç

Karapürçek % 2 Kireç			
Dara(Gram)	49,183		
Toplam Ağırlık(Gram)	59,183		
Son Ağırlık(Gram)	57,551		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,633		
Yüzey Nemi	16,327		
Bünye Nemi	4,487	4,414	4,4505
Toplam Nem	20,7775		
Bomba Kalori	1. değer	2. değer	Ortalama
	5239,98	5239,3	5239,64
Kül	0,2512	0,0266	10,5892

Çizelge 6.24: Karapürçek %3 Kireç

Karapürçek % 3 Kireç			
Dara(Gram)	72,783		
Toplam Ağırlık(Gram)	82,783		
Son Ağırlık(Gram)	81,250		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,533		
Yüzey Nemi	15,328		
Bünye Nemi	4,645	4,694	4,6695
Toplam Nem	19,997		
Bomba Kalori	1. değer	2. değer	Ortalama
	4943,19	4914,34	4928,765
Kül	0,2523	0,0359	14,229

Çizelge 6.25: Karapürçek %4 Kireç

Karapürçek % 4 Kireç			
Dara(Gram)	49,610		
Toplam Ağırlık(Gram)	59,611		
Son Ağırlık(Gram)	58,097		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,0006		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,514		
Yüzey Nemi	15,138		
Bünye Nemi	4,231	3,916	4,0735
Toplam Nem	19,2116		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4813,61	4785,57	4799,59
Kül	0,2505	0,0458	18,2834

Çizelge 6.26: Karapürçek %5 Kireç

Karapürçek % 5 Kireç			
Dara(Gram)	70,823		
Toplam Ağırlık(Gram)	80,824		
Son Ağırlık(Gram)	79,358		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,0011		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,4662		
Yüzey Nemi	14,6604		
Bünye Nemi	4,41	4,137	4,2735
Toplam Nem	18,934		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4702,11	4713,65	4707,88
Kül	0,2494	0,05	20,048

Çizelge 6.27: Karapürçek %6 Kireç

Karapürçek % 6 Kireç			
Dara(Gram)	65,264		
Toplam Ağırlık(Gram)	75,265		
Son Ağırlık(Gram)	73,841		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,000		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,424		
Yüzey Nemi	14,240		
Bünye Nemi	4,102	4,102	4,102
Toplam Nem	18,3424		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4580,07	4524,47	4552,27
Kül	0,2556	0,0483	18,8967

Çizelge 6.28: Karapürçek %7 Kireç

Karapürçek % 7 Kireç			
Dara(Gram)	69,159		
Toplam Ağırlık(Gram)	79,160		
Son Ağırlık(Gram)	77,775		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,0003		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,3844		
Yüzey Nemi	13,8436		
Bünye Nemi	3,616	3,922	3,769
Toplam Nem	17,613		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4374,17	4335,87	4355,02
Kül	0,2528	0,0516	20,411

Çizelge 6.29: Karapürçek %8 Kireç

Karapürçek % 8 Kireç			
Dara(Gram)	73,580		
Toplam Ağırlık(Gram)	83,580		
Son Ağırlık(Gram)	82,211		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,0001		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,369		
Yüzey Nemi	13,693		
Bünye Nemi	3,306	3,217	3,2615
Toplam Nem	16,9544		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4259,58	4235,52	4247,55
Kül	0,257	0,0552	21,4786

Çizelge 6.30: Karapürçek %9 Kireç

Karapürçek % 9 Kireç			
Dara(Gram)	74,037		
Toplam Ağırlık(Gram)	84,037		
Son Ağırlık(Gram)	82,769		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,2676		
Yüzey Nemi	12,6760		
Bünye Nemi	3,566	3,841	3,7035
Toplam Nem	16,380		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4176,29	4232,49	4204,39
Kül	0,2542	0,059	23,210

#### 6.7.4 Malkara

Çizelge 6.31: Malkara %100 Kömür

Malkara % 100 Kömür			
Dara(Gram)	65,568		
Toplam Ağırlık(Gram)	83,968		
Son Ağırlık(Gram)	79,569		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	18,400		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	4,399		
Yüzey Nemi	23,905		
Bünye Nemi	5,791	5,532	5,662
Toplam Nem	29,567		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	6178,4	6027,4	6102,9
Kül	0,2536	0,0146	5,76

Çizelge 6.32: Malkara %1 Kireç

Malkara % 1 Kireç			
Dara(Gram)	48,743		
Toplam Ağırlık(Gram)	58,743		
Son Ağırlık(Gram)	56,387		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,000		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	2,356		
Yüzey Nemi	23,556		
Bünye Nemi	5,592	5,687	5,640
Toplam Nem	29,195		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5938,61	5926,58	5932,595
Kül	0,2514	0,0123	4,89

Çizelge 6.33: Malkara %2 Kireç

Malkara % 2 Kireç			
Dara(Gram)	74,485		
Toplam Ağırlık(Gram)	84,485		
Son Ağırlık(Gram)	82,195		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	9,997		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	2,290		
Yüzey Nemi	22,900		
Bünye Nemi	5,882	5,799	5,8405
Toplam Nem	28,7402		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5823,62	5838,32	5830,97
Kül	0,2492	0,0122	4,8957

Çizelge 6.34: Malkara %3 Kireç

Malkara % 3 Kireç			
Dara(Gram)	31,001		
Toplam Ağırlık(Gram)	41,001		
Son Ağırlık(Gram)	38,853		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,0001		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	2,148		
Yüzey Nemi	21,4808		
Bünye Nemi	5,375	5,375	5,375
Toplam Nem	26,856		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5427,64	5459,35	5443,495
Kül	0,2568	0,0232	9,034

Çizelge 6.35: Malkara %4 Kireç

Malkara % 4 Kireç			
Dara(Gram)	75,201		
Toplam Ağırlık(Gram)	85,202		
Son Ağırlık(Gram)	83,099		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,0003		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	2,103		
Yüzey Nemi	21,026		
Bünye Nemi	4,923	5,189	5,056
Toplam Nem	26,0824		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5402,37	5317,38	5359,875
Kül	0,2495	0,0271	10,8617

Çizelge 6.36: Malkara %5 Kireç

Malkara % 5 Kireç			
Dara(Gram)	76,736		
Toplam Ağırlık(Gram)	86,736		
Son Ağırlık(Gram)	84,702		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	9,9998		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	2,0332		
Yüzey Nemi	20,3324		
Bünye Nemi	5,108	4,881	4,9945
Toplam Nem	25,327		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	5148,12	5177,79	5162,955
Kül	0,2547	0,0329	12,917

Çizelge 6.37: Malkara %6 Kireç

Malkara % 6 Kireç			
Dara(Gram)	83,344		
Toplam Ağırlık(Gram)	93,346		
Son Ağırlık(Gram)	91,345		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,002		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	2,001		
Yüzey Nemi	20,007		
Bünye Nemi	4,701	4,555	4,628
Toplam Nem	24,6354		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4980,58	4957,46	
Kül	0,2525	0,0327	12,9505

Çizelge 6.38: Malkara %7 Kireç

Malkara % 7 Kireç			
Dara(Gram)	74,681		
Toplam Ağırlık(Gram)	84,681		
Son Ağırlık(Gram)	82,833		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	9,9999		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,8484		
Yüzey Nemi	18,4842		
Bünye Nemi	4,681	4,714	4,6975
Toplam Nem	23,182		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4789,77	4878,4	4834,085
Kül	0,253	0,0381	15,059

Çizelge 6.39: Malkara %8 Kireç

Malkara % 8 Kireç			
Dara(Gram)	81,963		
Toplam Ağırlık(Gram)	91,963		
Son Ağırlık(Gram)	90,185		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	9,9996		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,778		
Yüzey Nemi	17,782		
Bünye Nemi	4,41	4,167	4,2885
Toplam Nem	22,0702		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4744,36	4765,51	4754,935
Kül	0,2564	0,0312	12,1685

Çizelge 6.40: Malkara %9 Kireç

Malkara % 9 Kireç			
Dara(Gram)	74,259		
Toplam Ağırlık(Gram)	84,259		
Son Ağırlık(Gram)	82,549		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,7098		
Yüzey Nemi	17,0980		
Bünye Nemi	3,983	4,501	4,242
Toplam Nem	21,340		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4552,55	4585,45	4569
Kül	0,2561	0,0451	17,610

### 6.7.5 Keşan

Çizelge 6.41: Keşan %100 Kömür

Keşan % 100 Kömür			
Dara(Gram)	75,89		
Toplam Ağırlık(Gram)	92,07		
Son Ağırlık(Gram)	90,24		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	16,19		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,83		
Yüzey Nemi	11,32		
Bünye Nemi	9,58	9,01	9,30
Toplam Nem	20,61		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4886,07	4936,96	4911,515
Kül	0,2529	0,044	17,40

Çizelge 6.42: Keşan %1 Kireç

Keşan % 1 Kireç			
Dara(Gram)	49,29		
Toplam Ağırlık(Gram)	69,29		
Son Ağırlık(Gram)	67,52		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	20,00		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,77		
Yüzey Nemi	8,83		
Bünye Nemi	10,482	11,112	10,80
Toplam Nem	19,626		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4757,81	4859,18	4808,495
Kül	0,2557	0,0478	18,69

Çizelge 6.43: Keşan %2 Kireç

Keşan % 2 Kireç			
Dara(Gram)	75,439		
Toplam Ağırlık(Gram)	95,439		
Son Ağırlık(Gram)	93,234		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	20		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	2,205		
Yüzey Nemi	11,026		
Bünye Nemi	8,974	8,844	8,909
Toplam Nem	19,9345		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4767,93	4793,61	4780,77
Kül	0,2531	0,0514	20,3082

Çizelge 6.44: Keşan %3 Kireç

Keşan % 3 Kireç			
Dara(Gram)	48,340		
Toplam Ağırlık(Gram)	68,340		
Son Ağırlık(Gram)	66,076		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	20		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	2,264		
Yüzey Nemi	11,3175		
Bünye Nemi	7,722	8,369	8,0455
Toplam Nem	19,363		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4774,65	4789,18	4781,915
Kül	0,2563	0,0521	20,328

Çizelge 6.45: Keşan %4 Kireç

Keşan % 4 Kireç			
Dara(Gram)	74,645		
Toplam Ağırlık(Gram)	94,645		
Son Ağırlık(Gram)	92,508		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	20,0001		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	2,137		
Yüzey Nemi	10,684		
Bünye Nemi	7,851	8,204	8,0275
Toplam Nem	18,7119		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4699,67	4713,4	4706,535
Kül	0,2534	0,0537	21,1918

Çizelge 6.46: Keşan %5 Kireç

Keşan % 5 Kireç			
Dara(Gram)	48,287		
Toplam Ağırlık(Gram)	63,287		
Son Ağırlık(Gram)	61,672		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	15,0001		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,6155		
Yüzey Nemi	10,7699		
Bünye Nemi	8,604	7,383	7,9935
Toplam Nem	18,763		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4624,05	4651,74	4637,895
Kül	0,2508	0,0531	21,172

Çizelge 6.47: Keşan %6 Kireç

Keşan % 6 Kireç			
Dara(Gram)	69,785		
Toplam Ağırlık(Gram)	84,785		
Son Ağırlık(Gram)	82,969		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	15		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,816		
Yüzey Nemi	12,107		
Bünye Nemi	4,871	5,143	5,007
Toplam Nem	17,1143		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4582,45	4577,79	4580,12
Kül	0,2502	0,0542	21,6627

Çizelge 6.48: Keşan %7 Kireç

Keşan % 7 Kireç			
Dara(Gram)	74,659		
Toplam Ağırlık(Gram)	84,660		
Son Ağırlık(Gram)	83,610		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,0002		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	1,0493		
Yüzey Nemi	10,4928		
Bünye Nemi	4,043	4,729	4,386
Toplam Nem	14,879		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4249,61	4329,4	4289,505
Kül	0,2525	0,0686	27,168

Çizelge 6.49: Keşan %8 Kireç

Keşan % 8 Kireç			
Dara(Gram)	73,615		
Toplam Ağırlık(Gram)	79,616		
Son Ağırlık(Gram)	79,116		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	6,0007		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	0,499		
Yüzey Nemi	8,322		
Bünye Nemi	4,085	3,693	3,889
Toplam Nem	12,2114		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	4097,7	4111,47	4104,585
Kül	0,2502	0,0802	32,0544

Çizelge 6.50: Keşan %9 Kireç

Keşan % 9 Kireç			
Dara(Gram)	85,373		
Toplam Ağırlık(Gram)	95,374		
Son Ağırlık(Gram)	94,419		
Toplam Ağırlık - Dara(Gram)	10,0003		
Toplam Ağırlık - Son Ağırlık(Gram)	0,9548		
Yüzey Nemi	9,5477		
Bünye Nemi	3,977	4,391	4,184
Toplam Nem	13,732		
Bomba Kalori	1.değer	2.değer	Ortalama
	3539,24	3640,03	3589,635
Kül	0,2501	0,0791	31,627

Kükürt ölçümü yapan **Leco SC144DR** markalı cihazda okunan Çizelge 6.56, Çizelge &.57, Çizelge 6.58, Çizelge 6.59 Çizelge 6.60 daki değerler Bölüm 8 deki ekler tablosuna yerleştirilir.

Ekler1 tablosunda bulunan toplam kükürt oranı değerine eşittir.

## 6.8 KÜKÜRT ORANLARI

Çizelge 6.51: Keşan Kükürt Oranları

Keşan	
% 100 Kömür	3,849
% 1 Kireç	3,833
% 2 Kireç	3,816
% 3 Kireç	3,771
% 4 Kireç	3,716
% 5 Kireç	3,608
% 6 Kireç	3,622
% 7 Kireç	3,326
% 8 Kireç	2,839
% 9 Kireç	2,050

Çizelge 6.52: Malkara Kükürt Oranları

Malkara	
% 100 Kömür	2,397
% 1 Kireç	2,384
% 2 Kireç	2,331
% 3 Kireç	2,081
% 4 Kireç	2,077
% 5 Kireç	1,888
% 6 Kireç	1,772
% 7 Kireç	1,373
% 8 Kireç	1,600
% 9 Kireç	1,050

Çizelge 6.53: : Karapürçek Kükürt Oranları

Karapürçek	
% 100 Kömür	0,786
% 1 Kireç	0,764
% 2 Kireç	0,805
% 3 Kireç	0,760
% 4 Kireç	0,738
% 5 Kireç	0,701
% 6 Kireç	0,714
% 7 Kireç	0,605
% 8 Kireç	0,581
% 9 Kireç	0,556

Çizelge 6.54: Altinyazı Kükürt Oranları

Altinyazı	
% 100 Kömür	1,000
% 1 Kireç	0,975
% 2 Kireç	0,994
% 3 Kireç	0,991
% 4 Kireç	0,930
% 5 Kireç	0,939
% 6 Kireç	0,875
% 7 Kireç	0,852
% 8 Kireç	0,865
% 9 Kireç	0,744

Çizelge 6.55: : Harmanlı Kükürt Oranları

Harmanlı	
% 100 Kömür	0,908
% 1 Kireç	0,896
% 2 Kireç	0,853
% 3 Kireç	0,806
% 4 Kireç	0,799
% 5 Kireç	0,704
% 6 Kireç	0,603
% 7 Kireç	0,560
% 8 Kireç	0,518
% 9 Kireç	0,496

Her ocak ve her adım için ölçülen ve hesaplanan ayrı ayrı tablolarda gösterilen bu değerlerin hepsi net olarak her ocak ve her adım için ayrı ayrı aşağıdaki tablolara işlenmiştir.



## 6.9 ÖLÇÜLEN VE HESAPLANAN DENEY SONUÇLARI

Çizelge 6.56:Keşan Linyit Kömür % Oranları

YAPILAN ÖLÇÜMLER	1.adım	2.Adım	3.Adım	4.Adım	5.Adım	6.Adım	7.Adım	8.Adım	9.Adım	10.adım
	% 100 Kömür	% 1 Sönmüş Kireç + % 99 Kömür	% 2 Sönmüş Kireç + % 98 Kömür	% 3 Sönmüş Kireç + % 97 Kömür	% 4 Sönmüş Kireç + % 96 Kömür	% 5 Sönmüş Kireç + % 95 Kömür	% 6 Sönmüş Kireç + % 94 Kömür	% 7 Sönmüş Kireç + % 93 Kömür	% 8 Sönmüş Kireç + % 92 Kömür	% 9 Sönmüş Kireç + % 91 Kömür
ÜST ISIL DEĞER (cal/g)	4911,515	4808,495	4780,77	4781,915	4706,535	4637,9	4580,12	4289,51	4104,585	3589,635
ALT ISIL DEĞER (cal/g)	4857,3	4745,55	4656,83	4735,01	4659,73	4591,29	4550,93	4263,93	4081,91	3565,24
% N E M	9,30	10,80	8,91	8,05	8,03	7,99	5,01	4,39	3,89	4,18
% K Ü L	17,3982	18,694	20,3082	20,328	21,1918	21,172	21,6627	27,168	32,0544	31,627
% YANICI SO <sub>2</sub>	3,849	3,833	3,816	3,771	3,716	3,608	3,622	3,326	2,839	2,050
% VERİM	1	0,977	0,959	0,975	0,959	0,945	0,937	0,878	0,840	0,734

Çizelge 6.57:Malkara Linyit Kömürü % Oranları

YAPILAN ÖLÇÜMLER	1.adım	2.Adım	3.Adım	4.Adım	5.Adım	6.Adım	7.Adım	8.Adım	9.Adım	10.adım
	% 100 Kömür	% 1 Sönmüş Kireç + % 99 Kömür	% 2 Sönmüş Kireç + % 98 Kömür	% 3 Sönmüş Kireç + % 97 Kömür	% 4 Sönmüş Kireç + % 96 Kömür	% 5 Sönmüş Kireç + % 95 Kömür	% 6 Sönmüş Kireç + % 94 Kömür	% 7 Sönmüş Kireç + % 93 Kömür	% 8 Sönmüş Kireç + % 92 Kömür	% 9 Sönmüş Kireç + % 91 Kömür
ÜST ISIL DEĞER (cal/g)	6102,9	5932,6	5830,97	5443,5	5359,88	5162,96	4969,02	4834,09	4754,94	4569
ALT ISIL DEĞER (cal/g)	6069,89	5899,71	5796,92	5412,16	5330,4	5133,84	4942,04	4806,7	4729,93	4544,27
% N E M	5,66	5,64	5,84	5,38	5,06	4,99	4,63	4,70	4,29	4,24
% K Ü L	5,76	4,89	4,9	9,03	10,86	12,92	12,95	15,06	12,17	17,61
% YANICI SO <sub>2</sub>	2,397	2,384	2,331	2,081	2,077	1,888	1,772	1,373	1,600	1,050
% VERİM	1	0,972	0,955	0,892	0,878	0,846	0,814	0,792	0,779	0,587

Çizelge 6.58:Karapürçek Linyit Kömürü % Oranları

YAPILAN ÖLÇÜMLER	1.adım	2.Adım	3.Adım	4.Adım	5.Adım	6.Adım	7.Adım	8.Adım	9.Adım	10.adım
	% 100 Kömür	% 1 Sönmüş Kireç + % 99 Kömür	% 2 Sönmüş Kireç + % 98 Kömür	% 3 Sönmüş Kireç + % 97 Kömür	% 4 Sönmüş Kireç + % 96 Kömür	% 5 Sönmüş Kireç + % 95 Kömür	% 6 Sönmüş Kireç + % 94 Kömür	% 7 Sönmüş Kireç + % 93 Kömür	% 8 Sönmüş Kireç + % 92 Kömür	% 9 Sönmüş Kireç + % 91 Kömür
ÜST ISIL DEĞER (cal/g)	5439,6	5261	5239,64	4928,77	4799,59	4707,88	4552,27	4355,02	4247,55	4204,39
ALT ISIL DEĞER (cal/g)	5411,06	5233,83	5213,69	4901,54	4775,84	4682,97	4528,36	4333,05	4228,54	4182,8
% N E M	4,89	4,66	4,45	4,67	4,07	4,27	4,10	3,77	3,26	3,70
% K Ü L	10,53	8,43	10,5892	14,229	18,2834	20,048	18,8967	20,411	21,4786	23,210
% YANICI SO2	0,786	0,764	0,805	0,760	0,738	0,701	0,714	0,605	0,581	0,556
% VERİM	1	0,967	0,964	0,906	0,883	0,865	0,837	0,801	0,781	0,773

Çizelge 6.59:Altınyazı Linyit Kömürü % Oranları

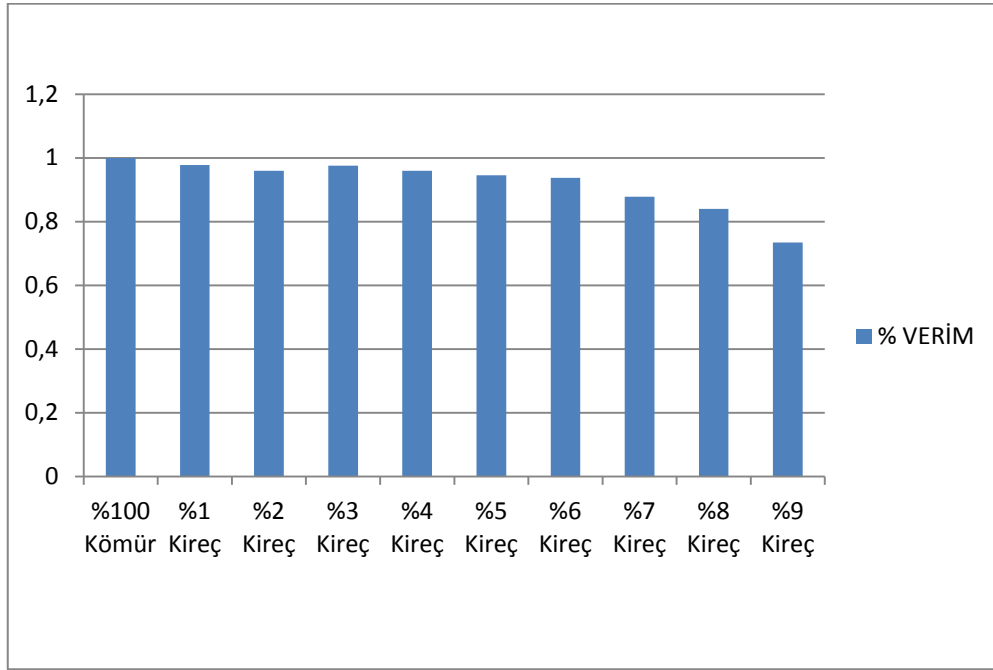
YAPILAN ÖLÇÜMLER	1.adım	2.Adım	3.Adım	4.Adım	5.Adım	6.Adım	7.Adım	8.Adım	9.Adım	10.adım
	% 100 Kömür	% 1 Sönmüş Kireç + % 99 Kömür	% 2 Sönmüş Kireç + % 98 Kömür	% 3 Sönmüş Kireç + % 97 Kömür	% 4 Sönmüş Kireç + % 96 Kömür	% 5 Sönmüş Kireç + % 95 Kömür	% 6 Sönmüş Kireç + % 94 Kömür	% 7 Sönmüş Kireç + % 93 Kömür	% 8 Sönmüş Kireç + % 92 Kömür	% 9 Sönmüş Kireç + % 91 Kömür
ÜST ISIL DEĞER (cal/g)	5843,28	5789,54	5724,73	5448,76	5270,19	5120,11	4976,75	4863,60	4758,74	4693,84
ALT ISIL DEĞER (cal/g)	5822,40	5768,09	5701,79	5429,65	5252,20	5100,10	4956,77	4845,58	4741,96	674,68
% N E M	3,58	3,68	3,93	3,28	3,09	3,43	3,43	3,09	2,88	3,29
% K Ü L	8,64	9,65	11,14	12,54	16,14	15,51	17,07	17,26	17,71	16,44
% YANICI SO <sub>2</sub>	1,00	0,98	0,99	0,99	0,93	0,94	0,88	0,85	0,87	0,56
% VERİM	1	0,991	0,979	0,933	0,902	0,876	0,851	0,832	0,814	0,803

Çizelge 6.60: Harmanlı Linyit Kömürü % Oranları

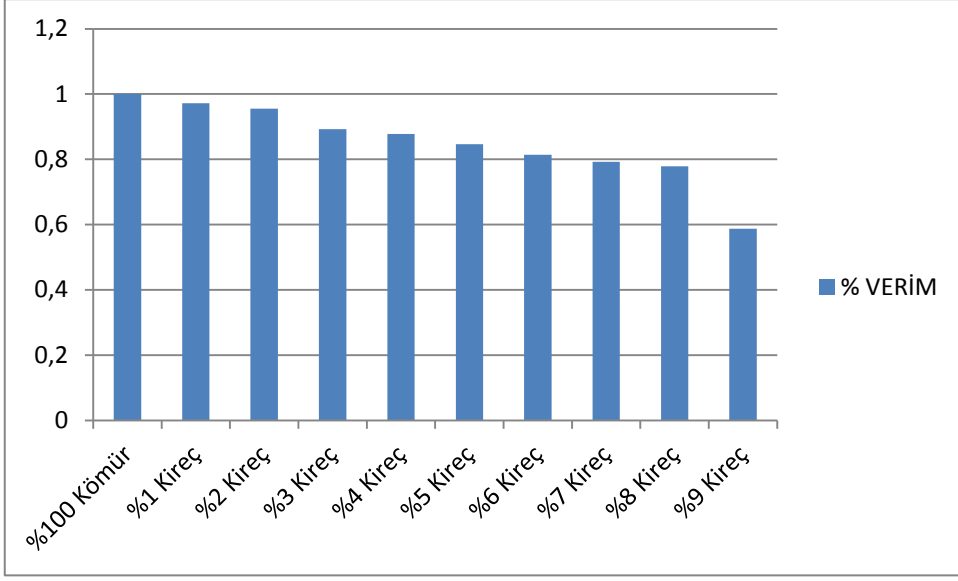
YAPILAN ÖLÇÜMLER	1.adım	2.Adım	3.Adım	4.Adım	5.Adım	6.Adım	7.Adım	8.Adım	9.Adım	10.adım
	%100 Kömür	% 1 Sönmüş Kireç + % 99 Kömür	% 2 Sönmüş Kireç + % 98 Kömür	% 3 Sönmüş Kireç + % 97 Kömür	% 4 Sönmüş Kireç + % 96 Kömür	% 5 Sönmüş Kireç + % 95 Kömür	% 6 Sönmüş Kireç + % 94 Kömür	% 7 Sönmüş Kireç + % 93 Kömür	% 8 Sönmüş Kireç + % 92 Kömür	% 9 Sönmüş Kireç + % 91 Kömür
ÜST ISIL DEĞER (cal/g)	5994,56	5889,13	5864,50	5467,72	5401,76	5320,49	5211,64	5018,19	4988,08	4750,80
ALT ISIL DEĞER (cal/g)	5969,35	5865,92	5842,48	5444,89	5378,85	5303,65	5195,23	5000,54	4968,64	4733,00
% N E M	4,32	3,98	3,78	3,92	3,93	2,89	2,81	3,03	3,33	3,05
% K Ü L	2,49	6,44	4,67	8,11	10,28	11,60	14,22	14,47	16,59	16,50
% YANICI SO <sub>2</sub>	0,908	0,896	0,853	0,806	0,799	0,704	0,603	0,560	0,518	0,496
% VERİM	1	0,983	0,979	0,912	0,901	0,888	0,870	0,838	0,832	0,793

**% Yanıcı SO<sub>2</sub> ve % Verim Oranları tablosundaki verilerden yararlanılarak;**

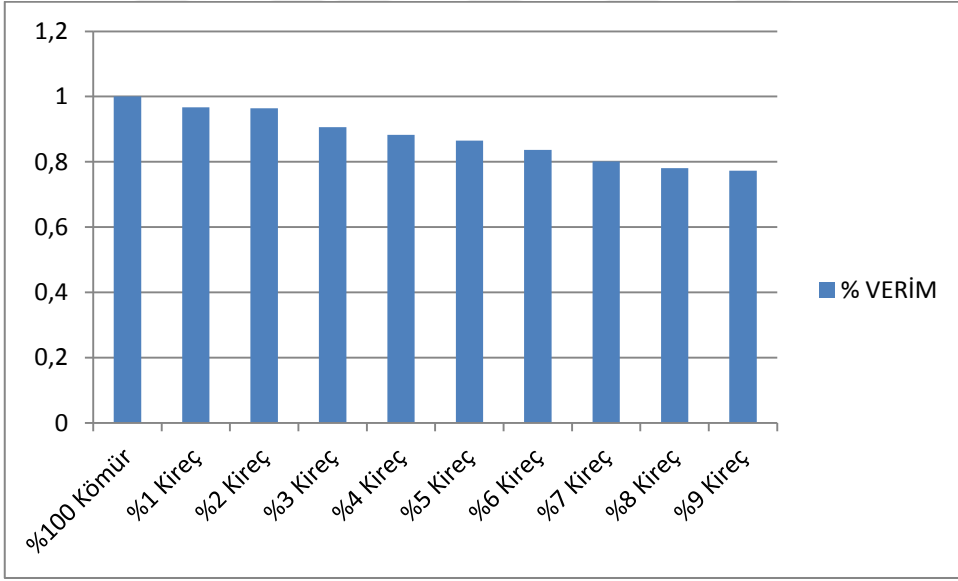
**Ortalama verim= [(1.adım % verim)+( 2.adım % verim)+( 3.adım % verim) + (4.adım % verim) + (5.adım % verim) + (6.adım % verim) + (7.adım % verim) + (8.adım % verim)+( 9.adım % verim)]/10**



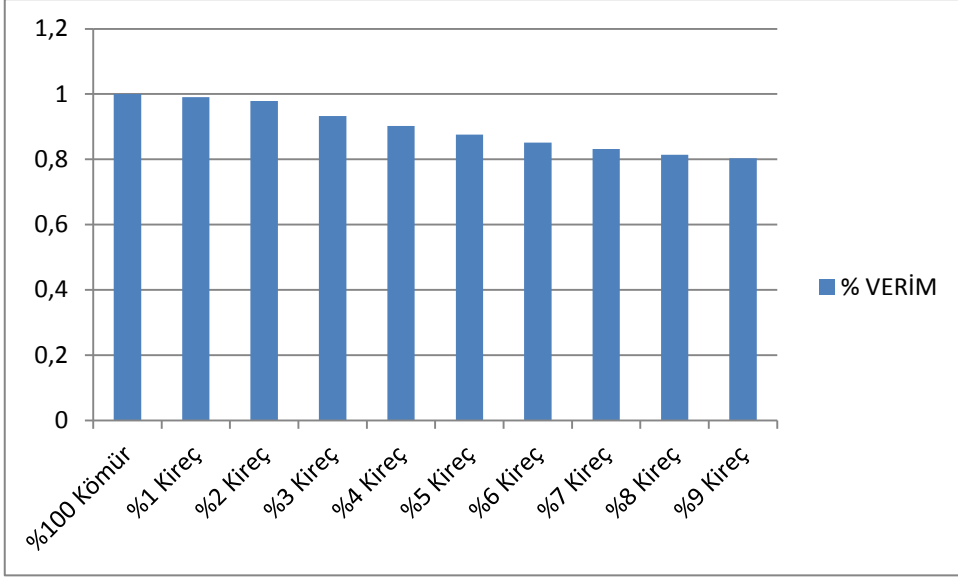
Şekil 6.16: Keşan Verimi Grafiği



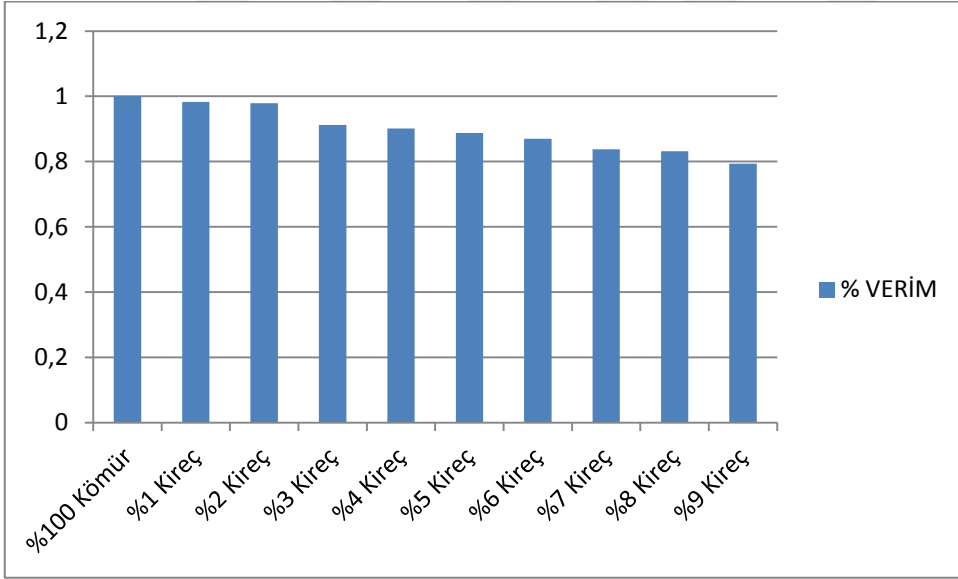
Şekil 6.17: Malkara Verimi Grafiği



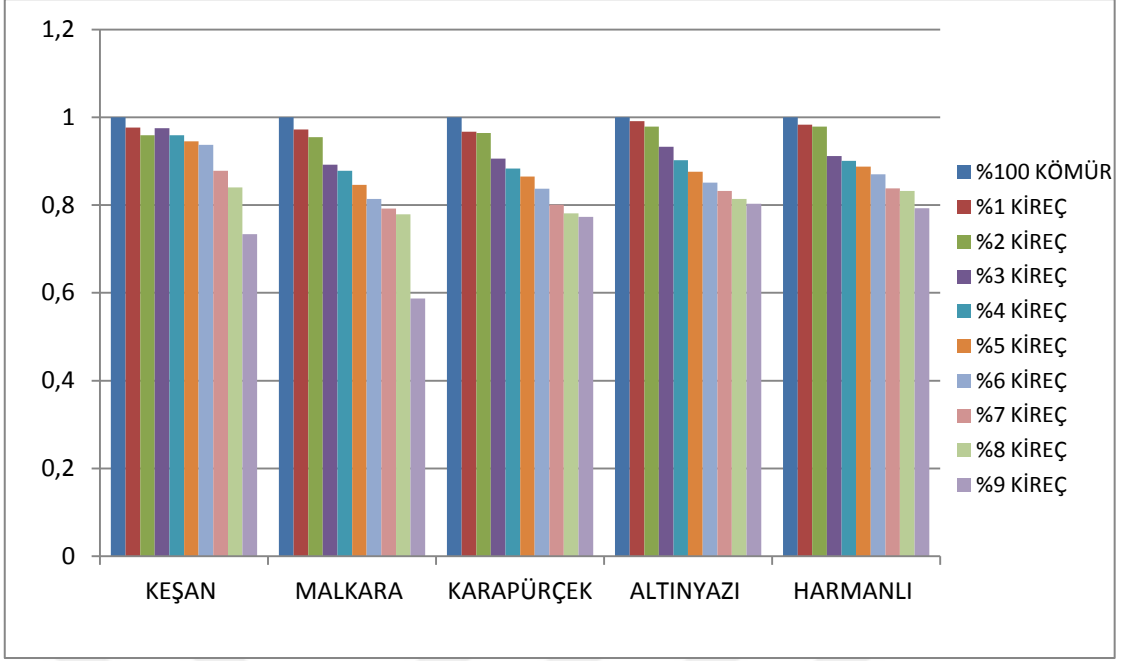
Şekil 6.18: Karapürçek Verimi Grafiği



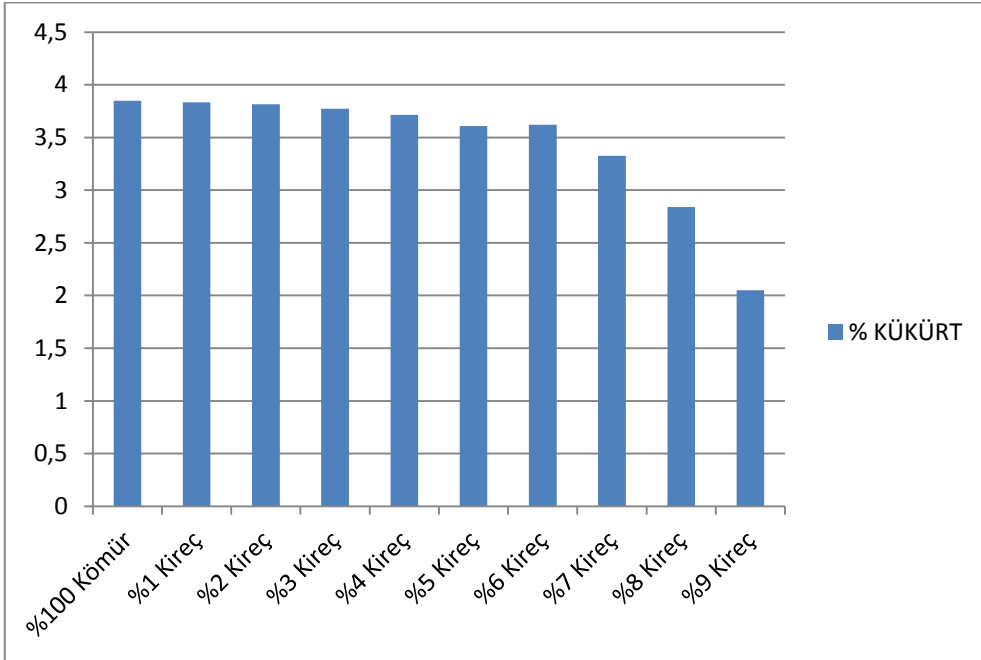
Şekil 6.19: Altınyazı Verimi Grafiği



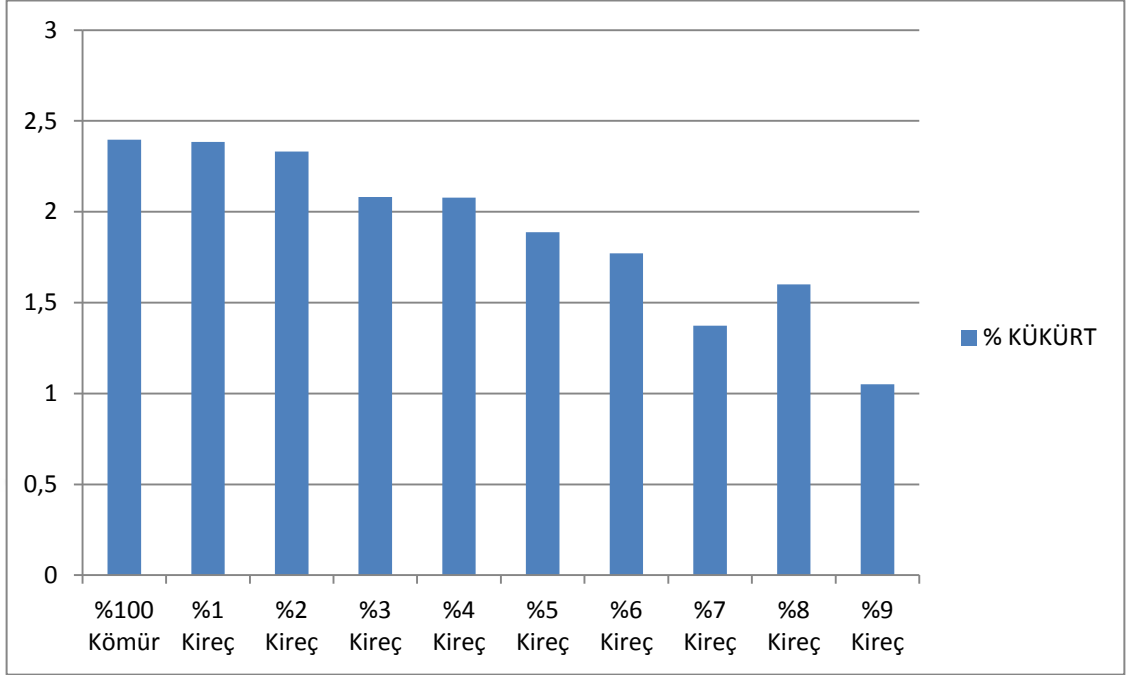
Şekil 6.20: Harmanlı Verimi Grafiği



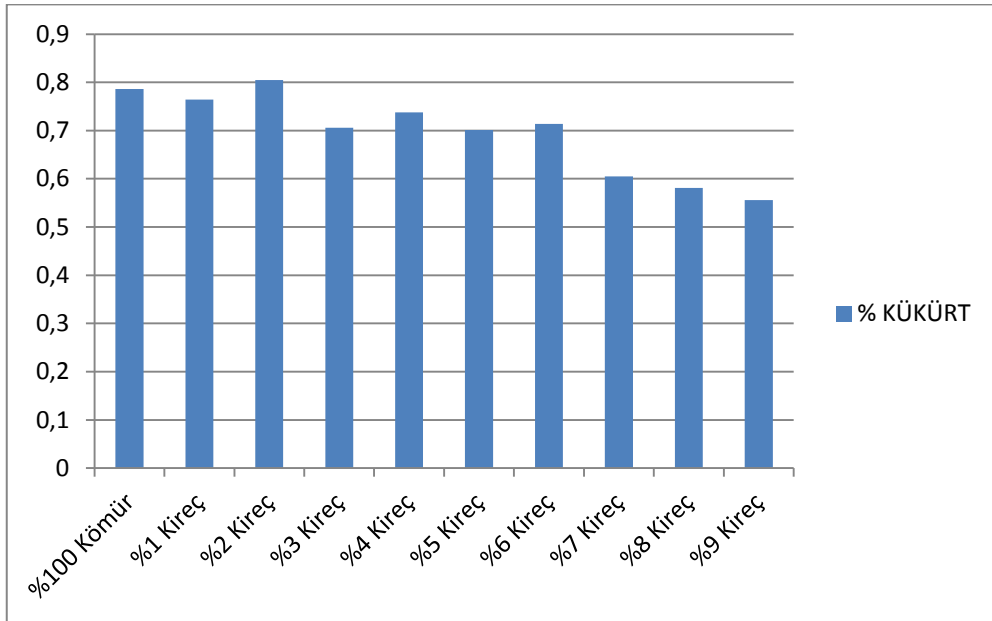
Şekil 6.21: Verim Ortalaması Grafiği



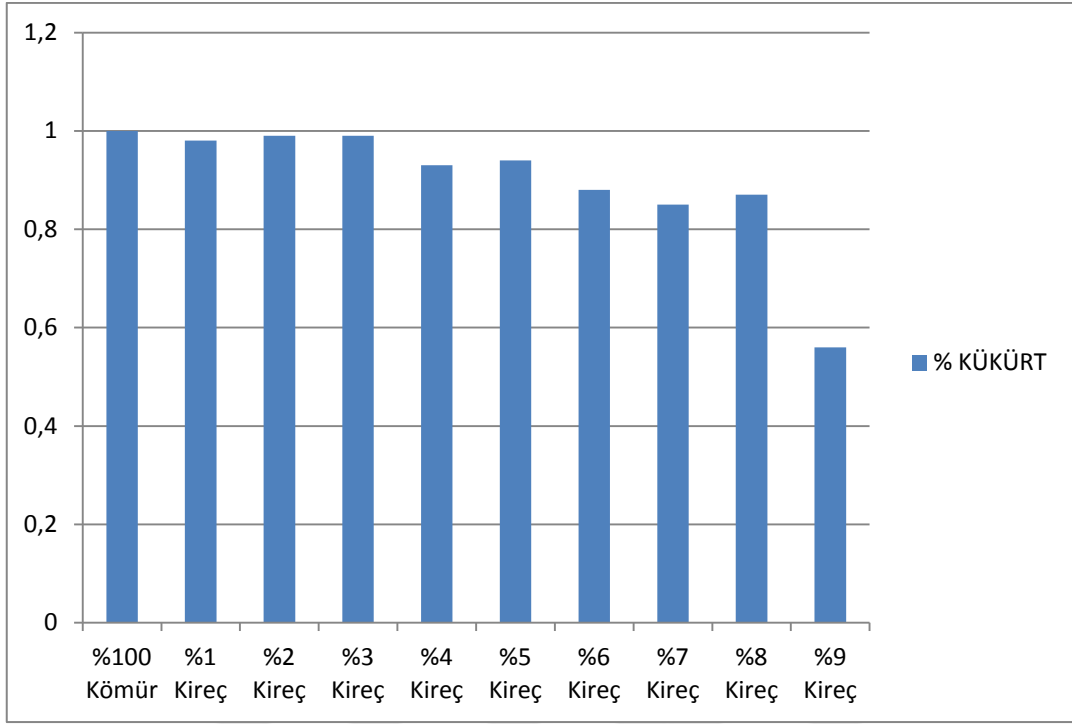
Şekil 6.22: Keşan Kükürt Grafiği



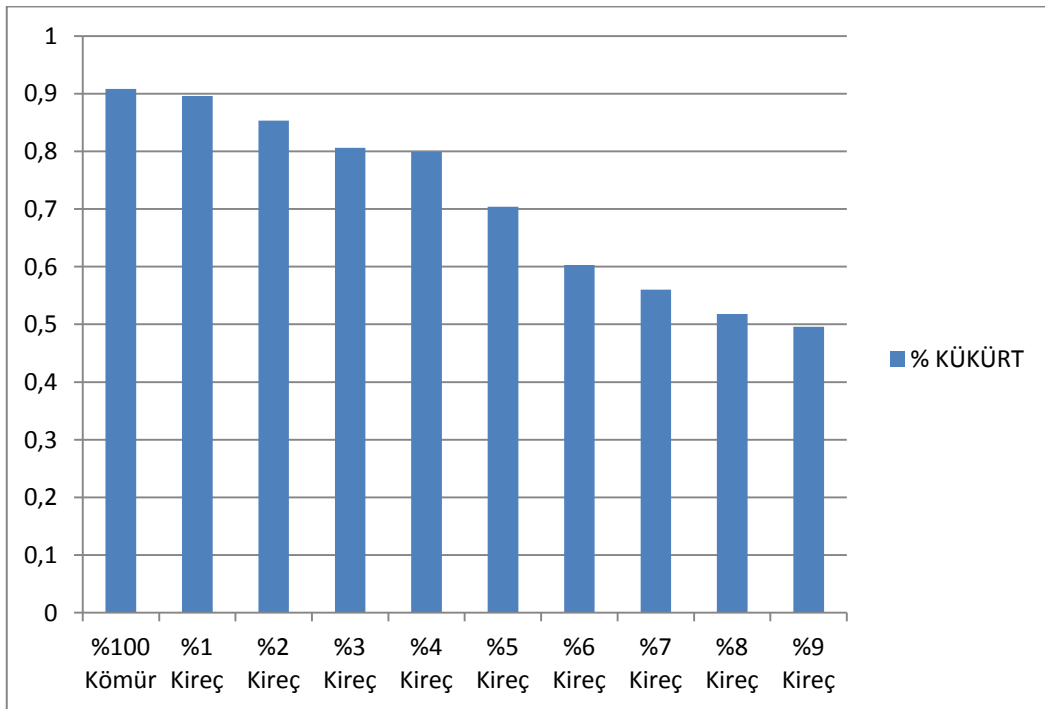
Şekil 6.23: Malkara Kükürt Grafiği



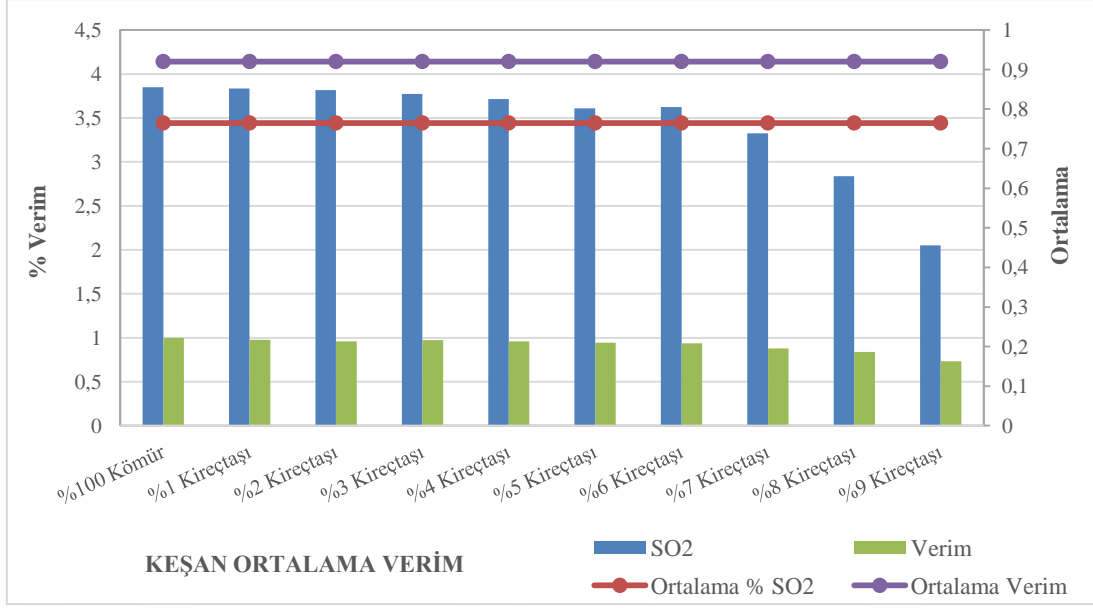
Şekil 6.24: Karapürçek Kükürt Grafiği



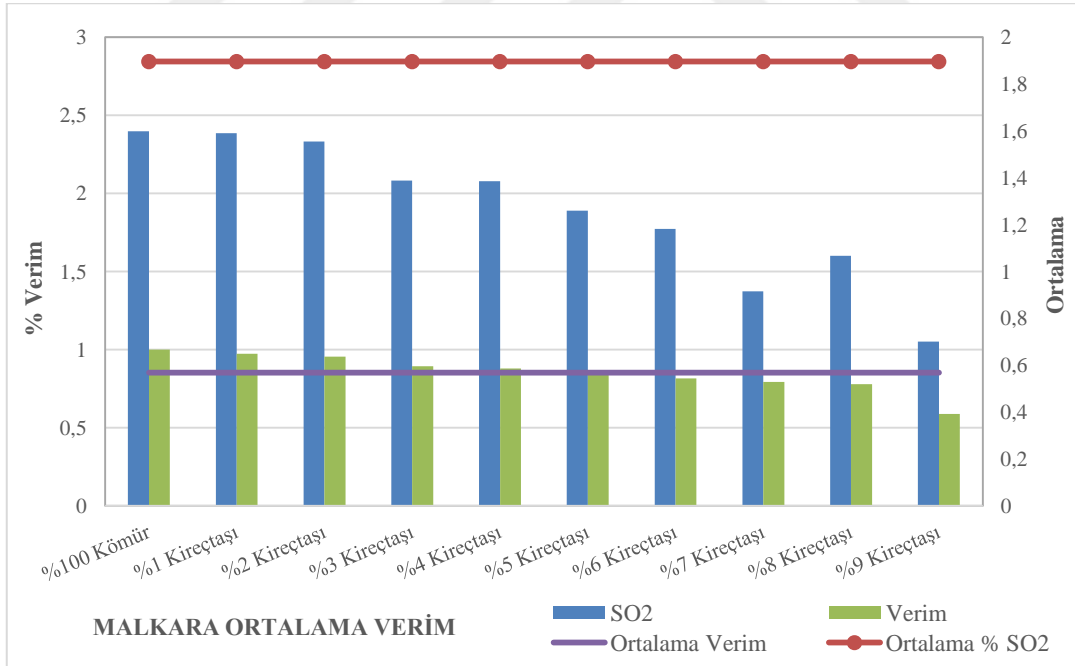
Şekil 6.25: Altınyazı Kükürt Grafiği



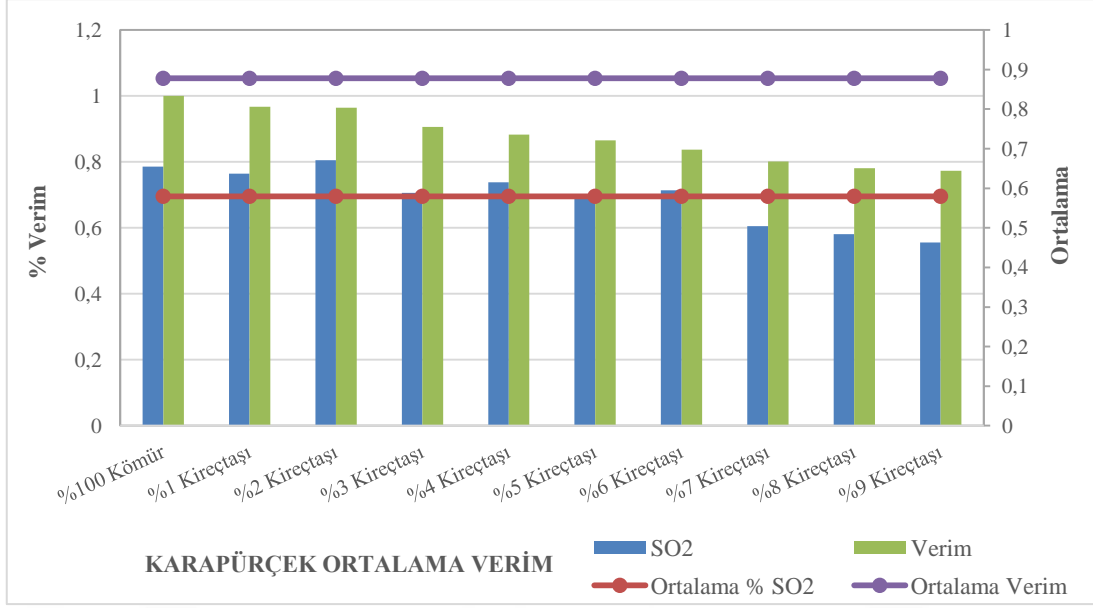
Şekil 6.26: Harmanlı Kükürt Grafiği



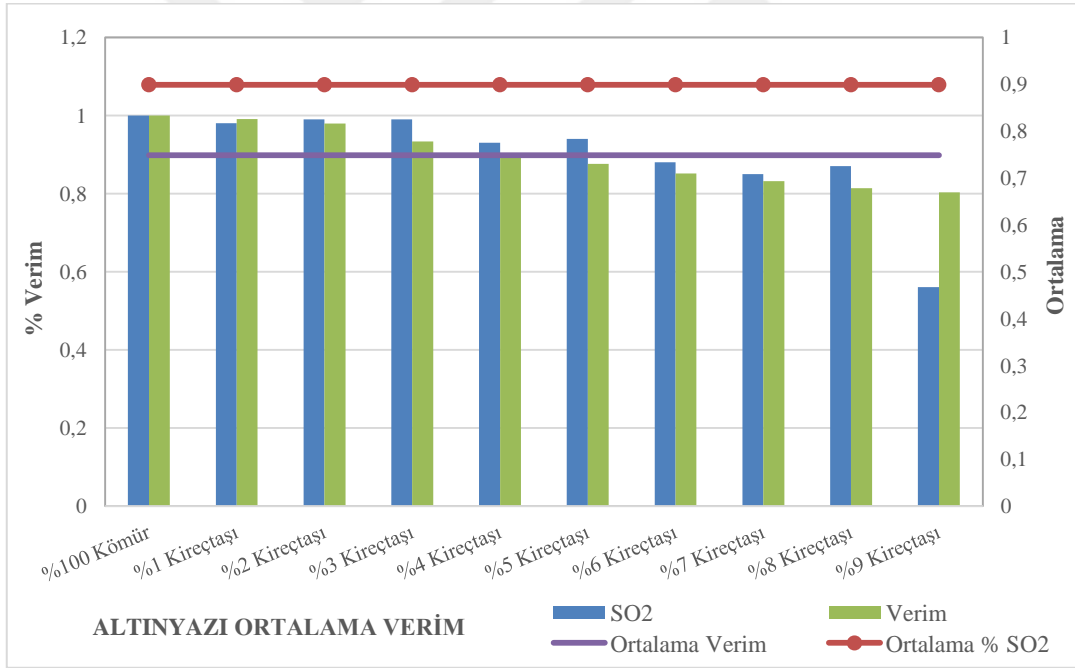
Şekil 6.27:Keşan % Verim Ortalama Grafiği



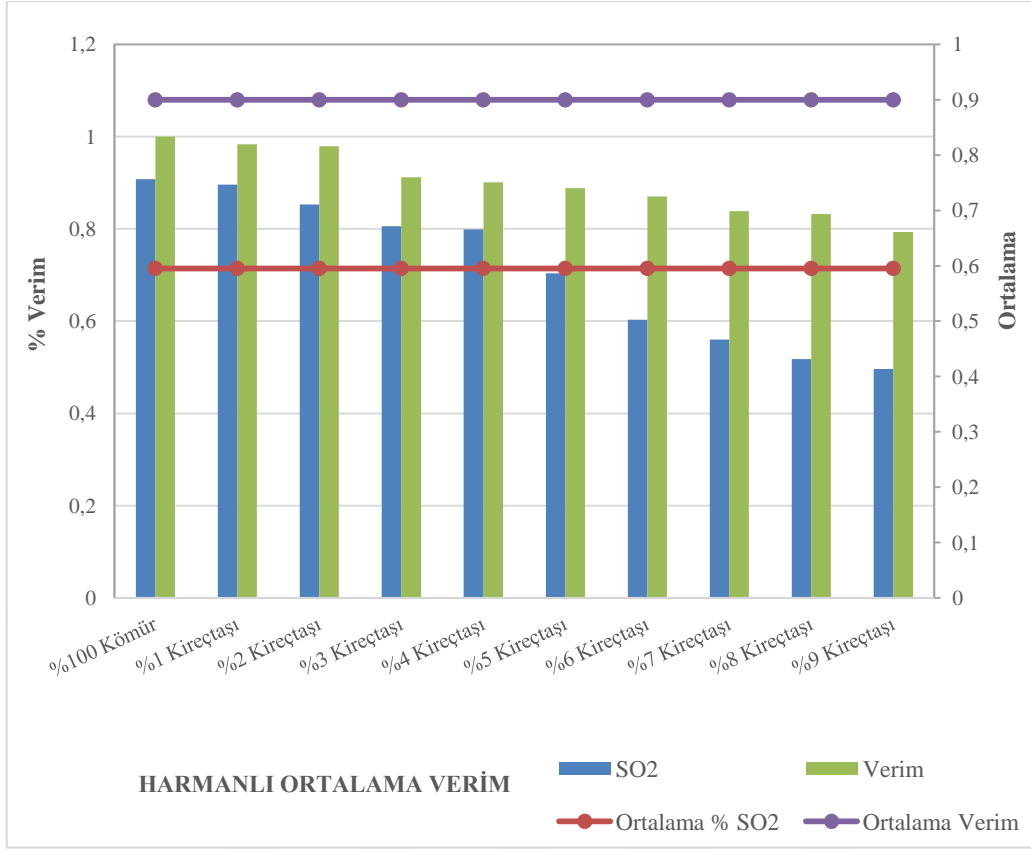
Şekil 6.28: Malkara % Verim Ortalama Grafiği



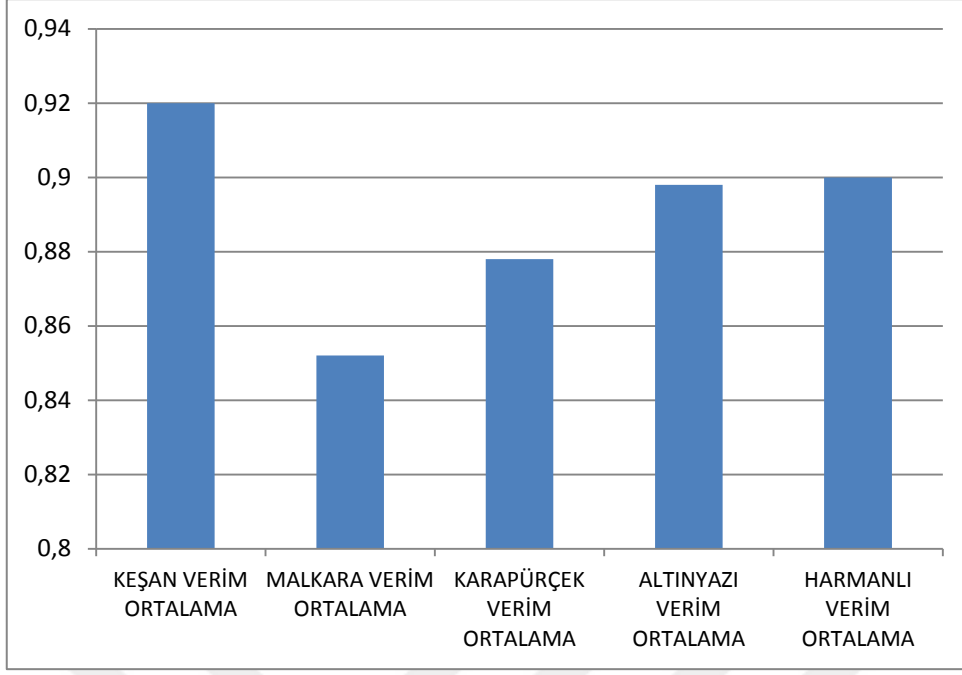
Şekil 6.29: Karapürçek % Verim Ortalama Grafiği



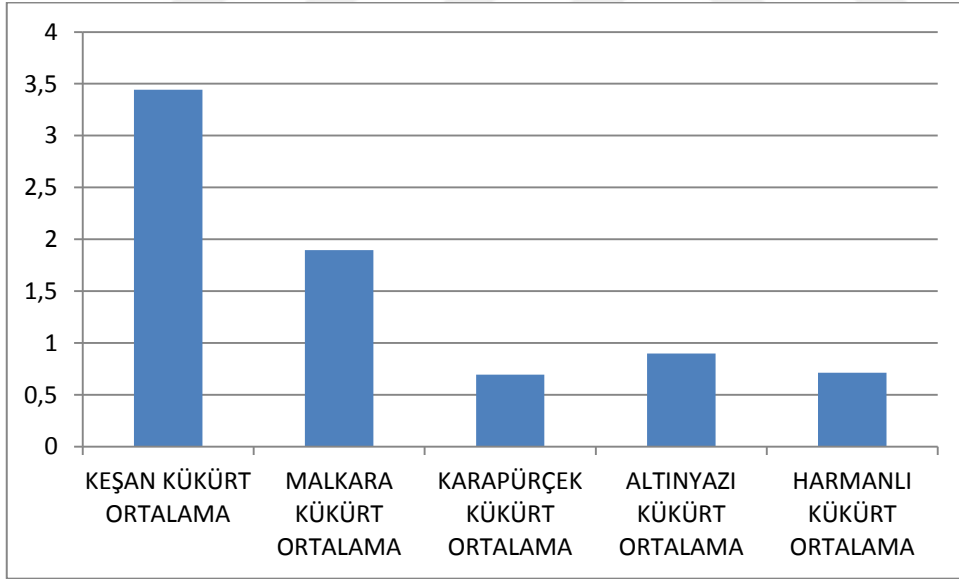
Şekil 6.30: Altinyazı % Verim Ortalama Grafiği



Şekil 6.31: Harmanlı % Verim Ortalama Grafiği



Şekil 6.32:Ortalama Verim Değerler Grafiği



Şekil 6.33: Ortalama Kükürt Değerler Grafiği

## BÖLÜM 7

### SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmanın 1.ayında literatür araştırması yapıldıktan sonra, 2.ayında Trakya yöresindeki Keşan, Harmanlı, Karapürçek, Altinyazı, Malkara olmak üzere 5 farklı linyit kömür ocağından numune alınarak TUTAGEM’de (Trakya Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Merkezi)her numune için 9 farklı kireçtaşı karışım oranı belirlenerek hazırlanan 45 karışım numunesi ile beraber 5 adette kireç katılmamış numuneler laboratuvar ortamında Leco AC500 bomba kalorimetresinde ISO 1928 standartlarına göre yakılarak yakıtın;

- Üst ısıl değerleri
- Alt ısıl değerleri
- % Nem
- % Kül
- Yanıcı SO<sub>2</sub>

Değerleri ISO 1928, ASTM D4239 VE ASTM D 7582 standartlarındaki metodlara göre tespit edilmiştir.

Belirlenen bu değerlere göre her adımda;

- 1- Keşan linyit kömürü için elde edilen değerler Çizelge 6.61 de verilerek bu değerlere bağlı her adım için elde edilen verim değerleri grafik olarak Şekil 6.16 da ve kükürt oranları grafik olarak Şekil 6.22 de gösterilmiştir. Keşan linyitleri için ortalama verim değerleri, ortalama kükürt değerleri ve verim ilişkilerini gösteren grafik Şekil 6.27 de verilmiştir. Bütün bu grafikler analiz edildiğinde 7.adımdan (% 6 Kireç + % 94 Kömür) sonra verim değerinin ortalama azalma kadar azaldığı, % kükürt oranının ani değişmediği görülmüştür. Buna istinaden,

Keşan linyiti kömürü için optimum kireç katkı oranının yaklaşık %6 olması gerektiği önerilebilmektedir.

- 2- Malkara linyit kömürü için elde edilen değerlere Çizelge 6.62 de verilerek buna bağlı her adım için elde edilen verim değerleri grafik olarak Şekil 6.17 de ve kükürt oranları grafik olarak Şekil 6.23 de gösterilmiştir. Malkara linyit kömürü için ortalama verim değerleri, ortalama kükürt oranları ve verim ilişkisini gösteren grafik Şekil 6.28 de verilmiştir. Bütün bu grafikler analiz edildiğinde 7.adımdan adımdan (% 6 Kireç + % 94 Kömür) sonra verim değerinin ortalama azalma kadar azaldığı ancak kükürt oranının ani bir azalma gösterdiği ve buna istinaden optimum kireç katkı oranının yaklaşık %6 olması gerektiği önerilebilmektedir.
- 3- Karapürçek linyit kömürü için elde edilen değerler Çizelge 6.63 te verilerek bu değerlere bağlı her adım için elde edilen verim değerleri grafik olarak Şekil 6.18 de da ve kükürt oranları grafik olarak Şekil 6.24 de gösterilmiştir. Karapürçek linyit kömürü için ortalama verim değerleri, ortalama kükürt oranları ve verim ilişkisini gösteren grafik Şekil 6.29 da verilmiştir. Bütün bu grafikler analiz edildiğinde Karapürçek linyiti için 8. Adımdan (%7 Kireç + %93 Kömür) sonra verim değerinin ortalama azalma kadar azaldığı ancak kükürt oranının ani bir azalma gösterdiği ve buna istinaden optimum kireç katkı oranının yaklaşık %7 olması gerektiği önerilebilmektedir.
- 4- Altinyazı linyit kömürü için elde edilen değerler Çizelge 6.64 te verilerek bu değerlere bağlı her adım için elde edilen verim değerleri grafik olarak Şekil 6.19 de da ve kükürt oranları grafik olarak Şekil 6.25 te gösterilmiştir. Altinyazı linyit kömürü için ortalama verim değerleri, ortalama kükürt oranları ve verim ilişkisini gösteren grafik Şekil 6.30 da verilmiştir. Bu grafikler analiz edildiğinde Altinyazı linyit kömürü için , verim değerleri ortalama azalma seyretmesine rağmen kükürt oranı 7.adımdan (% 6 Kireç + % 94 Kömür) ani bir azalma gösterdiğinden optimum kireç katkı oranının yaklaşık %6 olması gerektiği önerilebilmektedir.
- 5- Harmanlı linyit kömürü için elde edilen değerler Çizelge 6.65 te verilerek bu değerlere bağlı her adım için elde edilen verim değerleri grafik olarak Şekil 6.20 de da ve kükürt oranları grafik olarak Şekil 6.26 da gösterilmiştir. Harmanlı linyit kömürü için ortalama verim değerleri, ortalama kükürt oranları ve verim ilişkisini gösteren grafik Şekil 6.31 de verilmiştir. Harmanlı linyit kömürü için

bu grafikler analiz edildiğinde 7.adımdan (% 6 Kireç + % 94 Kömür) sonra verim değerlerini ortalama değerlerden daha fazla azaldığı, kükürt değerlerindeki azalmanın da ortalama azalmadan daha fazla olduğu görülmüştür. Buna istinaden harmanlı linyit kömürü için optimum kireç katkı oranının yaklaşık %6 olması gerektiği önerilebilmektedir.

Bütün bu değerlere göre Trakya yöresi linyitlerinin yakılması sırasından ayrı ayrı değerlendirildiğinde, her bir Trakya Yöresi linyit türü için optimum kireç katkı oranları, yukarıda verilmesine rağmen, genel olarak Trakya yöresi linyitlerinin yakılması sırasında kükürt emisyon değerlerinin azaltılabilmesi için ortalama optimum kireç katkı oranının yaklaşık olarak % 6 olması gerektiği sonucuna varılarak, bu da kullanıcılara önerilebilmektedir.

## KAYNAKLAR

Arabacıoğlu, A.B.(1991). *Linyit ve asfaltit karışımlarının düşük sıcaklık pirolizi*. Yüksek Lisans Tezi. İ.T.Ü./ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Çağlayan, G. H. (2016). *Kömürden Kükürt Giderimi*. Yüksek Lisans Tezi . Fırat Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Çift, B. D. (2008). *Linyit Kullanılan Termik Santrallerde Baca Gazı Desülfürizasyon Proseslerinin Ekonomik Ve Teknik Analizi*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Feng, K.K., Chakravorty, R.N. ve Cochrane, T.S. (1973) Spontaneous Combustion: A Coal Mining Hazard: *CIM Bulletin*, 66, 75-84

Hayta, U. (2010). *Linyit – Bitümlü Şist Karışımlarının Pirolizi*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi/ Kimya Anabilim Dalı, Ankara.

HEPERKAN, P. D., & ÇUBUK, D. M. (2000). Kömür Yakma Sistemlerinde SO<sub>2</sub> Emisyon Etkisinin Yakma Şartlarında Değerlendirilmesi: *Tesisat Müh. Dergisi*, 60,74-78.

Karpuz, C., Güyagüler, T., Bağcı, S., Başarır, H., & Keskin, S. (2000). *Linyitlerin Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlık Derecesinin Tespiti* .Risk Sınıflaması Derlemesi, Ankara: MADENCİLİK.

KÖSE, Y. R.(1996, Mayıs) . Düşük Kaliteli Kömürlerin Değerlendirilmesi Ve SO<sub>2</sub> Emisyonu Kontrolü. *10. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı* , ( 51-58). Zonguldak.

ISO 1928, *Katı Mineralli Yakıtların Bombalı Kalorimetre Metodu ile Üst Isıl Değeri Tayini ve Alt Isıl Değeri Hesaplanması*

Ocakoğlu, P. D. (2015). *Kömür Jeolojisi* [PDFbelgesi]

<http://jeoloji.ogu.edu.tr/Storage/Jeoloji/Uploads/K%C3%B6m%C3%BCr-Jeolojisi-2015.pdf> adresinden edinilmiştir.

Topal, H. (2000). Eysel Isıtmadan Kaynaklanan SO2 Emisyonun Azaltılmasında Kireç Ve Kireç-Melas Karışımının Kullanılması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*15,15-29.

TS 690 ISO 589. *Kömürde Toplam Nem Tayini Test Metodu*

Türkiye Taşkömürü Kurumu( 2019). Sektör Raporu: 2018 yılı

[http://www.taskomuru.gov.tr/file/duyuru/ttk\\_sektor\\_raporu\\_2018.pdf](http://www.taskomuru.gov.tr/file/duyuru/ttk_sektor_raporu_2018.pdf) adresinden edinilmiştir.

Yüzer, H., Okutan, H., Ekinci, E., Goncaloğlu, B.İ., (1994). *Püskürtmeli Kurutucuda Trona ile Yanma Gazlarındaki Kirleticilerin Giderilmesi*, (T4-11). Gebze-Kocaeli: TUBİTAK.



## 7. EKLER

### CİHAZDAN ALINAN ÖLÇÜM TABLOLARI

#### HARMANLI

Ek 1: Harmanlı %100 kömür

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Harmanlı %100 kömür		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	5260,67	5969,35	6239,07
	Değer	Katsayı				
<b>Yüzey Nemi</b>	11,87	0,8813	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	5282,88	5994,56	6265,41
<b>Bünye Nemi</b>	4,32	1,0452	<b>Toplam Kükürt</b>	0,80	0,91	0,95
<b>üst/alt kalori geçiş</b>	25,20		<b>Kül</b>	2,19	2,49	2,60
<b>Toplam Nem</b>	16,20		<b>Nem</b>	16,20	4,32	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 2: Harmanlı %1 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Harmanlı %1 kireç					
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	11,67	0,8833		Alt kalori(cal/g) 5181,25	5865,92	6109,06
Bünye Nemi	3,98	1,0414		Üst Kalori(cal/g) 5201,75	5889,13	6133,23
				Toplam Kükürt 0,79	0,90	0,93
üst/alt kalori geçiş	23,20			Kül 5,69	6,44	6,71
Toplam Nem	15,65			Nem 15,65	3,98	0,00
				Uçucu Madde		
				Serbest şişme		

Ek 3: Harmanlı %2 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Harmanlı %2 kireç					
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	11,71	0,8829		Alt kalori(cal/g) 5158,15	5842,48	6071,81
Bünye Nemi	3,78	1,0393		Üst Kalori(cal/g) 5177,59	5864,50	6094,69
				Toplam Kükürt 0,75	0,85	0,89
üst/alt kalori geçiş	22,02			Kül 4,12	4,67	4,85
Toplam Nem	15,49			Nem 15,49	3,78	0,00
				Uçucu Madde		
				Serbest şişme		

Ek 4: Harmanlı %3 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Harmanlı %3 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4844,21	5444,89	5666,78
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	11,03	0,8897	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4864,52	5467,72	5690,53
Bünye Nemi	3,92	1,0408	<b>Toplam Kükürt</b>	0,72	0,81	0,84
üst/alt kalori geçiş	22,83		<b>Kül</b>	7,21	8,11	8,44
Toplam Nem	14,95		<b>Nem</b>	14,95	3,92	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 5: Harmanlı % 4 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Harmanlı %4 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4808,05	5378,85	5598,80
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	10,61	0,8939	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4828,52	5401,76	5622,64
Bünye Nemi	3,93	1,0409	<b>Toplam Kükürt</b>	0,71	0,80	0,83
üst/alt kalori geçiş	22,90		<b>Kül</b>	9,19	10,28	10,70
Toplam Nem	14,54		<b>Nem</b>	14,54	3,93	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			



Ek 8: Harmanlı %7 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Harmanlı %7 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4477,43	5000,54	5156,63
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	10,46	0,8954	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4493,23	5018,19	5174,83
Bünye Nemi	3,03	1,0312	<b>Toplam Kükürt</b>	0,50	0,56	0,58
üst/alt kalori geçiş	17,65		<b>Kül</b>	12,95	14,47	14,92
Toplam Nem	13,49		<b>Nem</b>	13,49	3,03	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 9: Harmanlı %8 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Harmanlı %8 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4458,61	4968,64	5139,98
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	10,27	0,8974	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4476,05	4988,08	5160,09
Bünye Nemi	3,33	1,0345	<b>Toplam Kükürt</b>	0,46	0,52	0,54
üst/alt kalori geçiş	19,43		<b>Kül</b>	14,89	16,59	17,17
Toplam Nem	13,60		<b>Nem</b>	13,60	3,33	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 10: Harmanlı %9 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Harmanlı %9 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4264,00	4733,00	4882,05
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	9,91	0,9009	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4280,04	4750,80	4900,41
Bünye Nemi	3,05	1,0315	<b>Toplam Kükürt</b>	0,45	0,50	0,51
üst/alt kalori geçiş	17,80		<b>Kül</b>	14,86	16,50	17,01
Toplam Nem	12,96		<b>Nem</b>	12,96	3,05	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

## ALTINYAZI

Ek 11: Altinyazı %100 kömür

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Altinyazı %100 kömür		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4973,61	5822,40	6038,58
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	14,58	0,8542	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4991,44	5843,28	6060,23
Bünye Nemi	3,58	1,0371	<b>Toplam Kükürt</b>	0,85	1,00	1,04
üst/alt kalori geçiş	20,87		<b>Kül</b>	7,38	8,64	8,96
Toplam Nem	18,16		<b>Nem</b>	18,16	3,58	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			





Ek 16:Altınyazı %5 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Altınyazı %5 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4488,30	5100,10	5281,30
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	12,00	0,8800	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4505,90	5120,11	5302,02
Bünye Nemi	3,43	1,0355	<b>Toplam Kükürt</b>	0,83	0,94	0,97
üst/alt kalori geçiş	20,00		<b>Kül</b>	13,65	15,51	16,06
Toplam Nem	15,43		<b>Nem</b>	15,43	3,43	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

:

Ek 17:Altınyazı %6 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Altınyazı %6 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4372,37	4956,77	5132,64
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	11,79	0,8821	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4389,99	4976,75	5153,33
Bünye Nemi	3,43	1,0355	<b>Toplam Kükürt</b>	0,77	0,88	0,91
üst/alt kalori geçiş	19,98		<b>Kül</b>	15,06	17,07	17,67
Toplam Nem	15,22		<b>Nem</b>	15,22	3,43	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 18:Altınyazı %7 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Altınyazı %7 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4302,63	4845,58	5000,08
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	11,21	0,8879	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4318,62	4863,60	5018,67
Bünye Nemi	3,09	1,0319	<b>Toplam Kükürt</b>	0,76	0,85	0,88
üst/alt kalori geçiş	18,01		<b>Kül</b>	15,32	17,26	17,81
Toplam Nem	14,30		<b>Nem</b>	14,30	3,09	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 19:Altınyazı %8 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Altınyazı %8 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4233,95	4741,96	4882,52
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	10,71	0,8929	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4248,94	4758,74	4899,81
Bünye Nemi	2,88	1,0296	<b>Toplam Kükürt</b>	0,77	0,87	0,89
üst/alt kalori geçiş	16,78		<b>Kül</b>	15,81	17,71	18,24
Toplam Nem	13,59		<b>Nem</b>	13,59	2,88	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 20:Altinyazı %9 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Altinyazı %9 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4347,87	4674,68	4833,53
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	6,99	0,9301	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4365,69	4693,84	4853,35
Bünye Nemi	3,29	1,0340	<b>Toplam Kükürt</b>	0,52	0,56	0,57
üst/alt kalori geçiş	19,16		<b>Kül</b>	15,29	16,44	16,99
Toplam Nem	10,28		<b>Nem</b>	10,28	3,29	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

### KARAPÜRÇEK

Ek 21:Karapürçek %100 kömür

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Karapürçek %100 kömür		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4527,49	5411,06	5689,51
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	16,33	0,8367	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4551,36	5439,60	5719,51
Bünye Nemi	4,89	1,0515	<b>Toplam Kükürt</b>	0,66	0,79	0,83
üst/alt kalori geçiş	28,53		<b>Kül</b>	8,81	10,53	11,07
Toplam Nem	21,22		<b>Nem</b>	21,22	4,89	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 22:Karapürçek %1 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Karapürçek %1 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4370,93	5233,83	5489,64
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	16,49	0,8351	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4393,61	5261,00	5518,14
Bünye Nemi	4,66	1,0489	<b>Toplam Kükürt</b>	0,64	0,76	0,80
üst/alt kalori geçiş	27,17		<b>Kül</b>	7,04	8,43	8,84
Toplam Nem	21,15		<b>Nem</b>	21,15	4,66	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 23:Karapürçek %2 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Karapürçek %2 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4362,45	5213,69	5456,54
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	16,33	0,8367	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4384,16	5239,64	5483,69
Bünye Nemi	4,45	1,0466	<b>Toplam Kükürt</b>	0,67	0,81	0,84
üst/alt kalori geçiş	25,95		<b>Kül</b>	8,86	10,59	11,08
Toplam Nem	20,78		<b>Nem</b>	20,78	4,45	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 24:Karapürçek %3 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Karapürçek %3 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4150,23	4901,54	5141,63
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	15,33	0,8467	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4173,28	4928,77	5170,19
Bünye Nemi	4,67	1,0490	<b>Toplam Kükürt</b>	0,60	0,71	0,74
üst/alt kalori geçiş	27,22		<b>Kül</b>	12,05	14,23	14,93
Toplam Nem	20,00		<b>Nem</b>	20,00	4,67	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 25:Karapürçek %4 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Karapürçek %4 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4052,87	4775,84	4978,65
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	15,14	0,8486	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4073,03	4799,59	5003,40
Bünye Nemi	4,07	1,0425	<b>Toplam Kükürt</b>	0,63	0,74	0,77
üst/alt kalori geçiş	23,75		<b>Kül</b>	15,52	18,28	19,06
Toplam Nem	19,21		<b>Nem</b>	19,21	4,07	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 26:Karapürçek %5 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Karapürçek %5 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	3996,42	4682,97	4892,03
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	14,66	0,8534	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4017,69	4707,88	4918,05
Bünye Nemi	4,27	1,0446	<b>Toplam Kükürt</b>	0,60	0,70	0,73
üst/alt kalori geçiş	24,91		<b>Kül</b>	17,11	20,05	20,94
Toplam Nem	18,93		<b>Nem</b>	18,93	4,27	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 27:Karapürçek %6 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Karapürçek %6 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	3883,52	4528,36	4722,05
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	14,24	0,8576	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	3904,03	4552,27	4746,99
Bünye Nemi	4,10	1,0428	<b>Toplam Kükürt</b>	0,61	0,71	0,74
üst/alt kalori geçiş	23,91		<b>Kül</b>	16,21	18,90	19,70
Toplam Nem	18,34		<b>Nem</b>	18,34	4,10	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 28:Karapürçek %7 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Karapürçek %7 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	3733,20	4333,05	4502,76
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	13,84	0,8616	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	3752,13	4355,02	4525,59
Bünye Nemi	3,77	1,0392	<b>Toplam Kükürt</b>	0,52	0,61	0,63
üst/alt kalori geçiş	21,97		<b>Kül</b>	17,59	20,41	21,21
Toplam Nem	17,61		<b>Nem</b>	17,61	3,77	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 29:Karapürçek %8 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Karapürçek %8 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	3649,52	4228,54	4371,10
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	13,69	0,8631	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	3665,93	4247,55	4390,75
Bünye Nemi	3,26	1,0337	<b>Toplam Kükürt</b>	0,50	0,58	0,60
üst/alt kalori geçiş	19,01		<b>Kül</b>	18,54	21,48	22,20
Toplam Nem	16,95		<b>Nem</b>	16,95	3,26	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 30:Karapürçek %9 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Karapürçek %9 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	3652,59	4182,80	4343,67
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	12,68	0,8732	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	3671,44	4204,39	4366,09
Bünye Nemi	3,70	1,0385	<b>Toplam Kükürt</b>	0,49	0,56	0,58
üst/alt kalori geçiş	21,59		<b>Kül</b>	20,27	23,21	24,10
Toplam Nem	16,38		<b>Nem</b>	16,38	3,70	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

## MALKARA

Ek 31:Malkara %100 kömür

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Malkara %100 kömür		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4618,88	6069,89	6434,19
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	23,91	0,7610	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4644,00	6102,90	6469,19
Bünye Nemi	5,66	1,0600	<b>Toplam Kükürt</b>	1,82	2,40	2,54
üst/alt kalori geçiş	33,01		<b>Kül</b>	4,38	5,76	6,11
Toplam Nem	29,57		<b>Nem</b>	29,57	5,66	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			











Ek 42:Keşan %1 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Keşan %1 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4326,55	4745,55	5319,94
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	8,83	0,9117	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4383,94	4808,50	5390,51
Bünye Nemi	10,80	1,1210	<b>Toplam Kükürt</b>	3,49	3,83	4,30
üst/alt kalori geçiş	62,95		<b>Kül</b>	17,04	18,69	20,96
Toplam Nem	19,63		<b>Nem</b>	19,63	10,80	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 43:Keşan %2 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Keşan %2 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4143,39	4656,83	5112,28
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	11,03	0,8897	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4189,60	4708,77	5169,30
Bünye Nemi	8,91	1,0978	<b>Toplam Kükürt</b>	3,40	3,82	4,19
üst/alt kalori geçiş	51,94		<b>Kül</b>	18,07	20,31	22,29
Toplam Nem	19,93		<b>Nem</b>	19,93	8,91	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 44:Keşan %3 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Keşan %3 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4199,13	4735,01	5149,30
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	11,32	0,8868	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4240,72	4781,92	5200,31
Bünye Nemi	8,05	1,0875	<b>Toplam Kükürt</b>	3,34	3,77	4,10
üst/alt kalori geçiş	46,91		<b>Kül</b>	18,03	20,33	22,11
Toplam Nem	19,36		<b>Nem</b>	19,36	8,05	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 45:Keşan %4 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Keşan %4 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4161,89	4659,73	5066,44
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	10,68	0,8932	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4203,69	4706,54	5117,33
Bünye Nemi	8,03	1,0873	<b>Toplam Kükürt</b>	3,32	3,72	4,04
üst/alt kalori geçiş	46,80		<b>Kül</b>	18,93	21,19	23,04
Toplam Nem	18,71		<b>Nem</b>	18,71	8,03	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 46:Keşan %5 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Keşan %5 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	4096,82	4591,29	4990,18
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	10,77	0,8923	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4138,40	4637,90	5040,83
Bünye Nemi	7,99	1,0869	<b>Toplam Kükürt</b>	3,22	3,61	3,92
üst/alt kalori geçiş	46,60		<b>Kül</b>	18,89	21,17	23,01
Toplam Nem	18,76		<b>Nem</b>	18,76	7,99	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 47:Keşan %6 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Keşan %6 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	3999,95	4550,93	4790,80
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	12,11	0,8789	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	4025,60	4580,12	4821,53
Bünye Nemi	5,01	1,0527	<b>Toplam Kükürt</b>	3,18	3,62	3,81
üst/alt kalori geçiş	29,19		<b>Kül</b>	19,04	21,66	22,80
Toplam Nem	17,11		<b>Nem</b>	17,11	5,01	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 48:Keşan %7 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Keşan %7 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	3816,53	4263,93	4459,53
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	10,49	0,8951	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	3839,42	4289,51	4486,27
Bünye Nemi	4,39	1,0459	<b>Toplam Kükürt</b>	2,98	3,33	3,48
üst/alt kalori geçiş	25,57		<b>Kül</b>	24,32	27,17	28,41
Toplam Nem	14,88		<b>Nem</b>	14,88	4,39	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 49:Keşan %8 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Keşan %8 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	3742,22	4081,91	4247,08
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	8,32	0,9168	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	3763,00	4104,59	4270,67
Bünye Nemi	3,89	1,0405	<b>Toplam Kükürt</b>	2,60	2,84	2,95
üst/alt kalori geçiş	22,67		<b>Kül</b>	29,39	32,05	33,35
Toplam Nem	12,21		<b>Nem</b>	12,21	3,89	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

Ek 50:Keşan %9 kireç

Tarih	Numune adı			orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz
	Keşan %9 kireç		<b>Alt kalori(cal/g)</b>	3224,84	3565,24	3720,93
	Değer	Katsayı				
Yüzey Nemi	9,55	0,9045	<b>Üst Kalori(cal/g)</b>	3246,91	3589,64	3746,38
Bünye Nemi	4,18	1,0437	<b>Toplam Kükürt</b>	1,85	2,05	2,14
üst/alt kalori geçiş	24,39		<b>Kül</b>	28,61	31,63	33,01
Toplam Nem	13,73		<b>Nem</b>	13,73	4,18	0,00
			<b>Uçucu Madde</b>			
			<b>Serbest şişme</b>			

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Damla ÖZGÜR

Doğum Yeri: Edirne

Doğum Tarihi:30/09/1992

Medeni Hali: Evli

Yabancı Dili: İngilizce

### **Eğitim Durumu(Kurum ve Yıl)**

Lise : Edirne Serhat İMKB Teknik Anadolu ve Meslek  
Lisesi(2010)

Lisans : Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi/  
Tarım Makineleri (2015-Ocak)

Yüksek Lisans : Edirne Trakya Üniversitesi Uygulamalı Bilimler ve  
Teknoloji (Şubat 2016-)