

TÜRK LİNYİTLERİNİN ISIL DEĞERLERİNİN KISA ANALİZ
SONUÇLARINDAN YARARLANILARAK SAPTANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Kim.Müh. İlknur İSKENDER

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 4 Haziran 1990

Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Haziran 1990

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Enis KADIOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Zeki DOĞAN

Doç.Dr. Sadriye KÜÇÜKBAYRAK

HAZİRAN 1990

ÖNSÖZ

Bana Kimya-Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans Eğitimi yapma olanağını sağlayan Sayın Hocam Prof.Dr. Enis KADIOĞLU ile çalışmalarım boyunca destek ve yardımlarını gördüğüm Sayın Hocam Doç.Dr. Sadriye KÜÇÜKBAYRAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, her zaman yardımlarını gördüğüm can dost - larım Kim.Yük. Mühendisleri Sayın A.ERSOY-MERİÇBOYU ile B.DÜRÜS'e teşekkürü bir borç bilirim.

Manevi desteklerini her zaman gördüğüm değerli eşim Kim.Yük.Müh. Hikmet İSKENDER ile değerli anne ve babama en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin yazılmasında büyük gayret ve sabır gösteren Zeynep KILIÇ'a teşekkürüm sonsuzdur.

Ayrıca, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Elemanlarının tümüne de çok teşekkür ederim.

Haziran 1990

İlknur İSKENDER

İ Ç İ N D E K İ L E R

TABLO LİSTESİ.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
BÖLÜM 2. KÖMÜRÜN ISIL DEĞERİ.....	3
2.1. Isıl Değer.....	3
2.2. Isıl Değer Birimleri.....	7
2.3. Kömürlerin Isıl Değerlerine Göre Sınıflandırılması.....	8
2.4. Kömürün Isıl Değerinin Saptanması....	10
2.4.1. Kömürün Isıl Değerinin Hesapla Bulunması.....	10
2.4.1.1. Elementer Analizden Yararlanılan Formüller.....	11
2.4.1.2. Kısa Analizden Yararlanılan Formüller.....	14
2.4.2. Isıl Değer Ölçüm Yöntemleri.....	15
2.4.2.1. Kömürün İndirgen Olarak Kullanılması.....	16
2.4.2.2. Kömürün Katı Oksitleyicilerle Yakılması.....	16
2.4.2.3. Kömürün Oksijen Akımında Yakılması.....	17
2.4.2.4. Oksijen Kalorimetre Bombası.....	17
BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILMIŞ OLAN LİNYİT KÖMÜRLERİNİN OLUŞUM BÖLGELERİNİN TANITIMI.....	23
3.1. Çayırhan-Ankara Bölgesi.....	25
3.2. Aşkale- Erzurum Bölgesi.....	26
3.3. Bağıyaka-Muğla Bölgesi.....	27
3.4. Merkezler - Bolu Bölgesi.....	27
3.5. Çan-Çanakkale Bölgesi.....	28

3.6. Dodurga - Çorum Bölgesi.....	29
3.7. Gediz - Kütahya Bölgesi.....	30
3.8. Ilgın - Konya Bölgesi.....	31
3.9. Mengen - Bolu Bölgesi.....	31
3.10. Mihalıççık - Eskişehir Bölgesi.....	31
3.11. Milas - Muğla Bölgesi.....	32
3.12. Orhaneli - Bursa Bölgesi.....	32
3.13. Seyitömer - Kütahya Bölgesi.....	33
3.14. Soma-Manisa Bölgesi.....	34
3.15. Tepebaşı - Konya Bölgesi.....	34
3.16. Tınaz - Muğla Bölgesi.....	35
3.17. Karakaya - Tekirdağ Bölgesi.....	35
3.18. Tunçbilek - Kütahya Bölgesi.....	35
3.19. Yatağan - Muğla Bölgesi.....	36
3.20. Merzifon - Amasya Bölgesi.....	37
3.21. Sorgun - Yozgat Bölgesi.....	38
3.22. Yeniköy - İstanbul Bölgesi.....	38
BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	39
4.1. Kullanılan Linyit Kömürü Numunelerine Uygulanan Analizler.....	39
4.2. Linyit Numunelerinin Isıl Değerleri İle Kısa Analizleri Arasındaki İliş- kiler.....	39
4.3. Türetilmiş Olan Denklemlerin Lite- ratürdeki Verilere Uygulanması.....	48
4.4. Literatürde Yer Alan Bazı Formüllerin Türk Linyitlerine Uygulanması.....	55
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ	64

TABLO LİSTESİ

- Tablo: 2.1. Türk Linyitlerinin Isıl Değerleri
- Tablo: 2.2. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumunun Ürettiği ve Sattığı Linyitlerin Isıl Değerleri
- Tablo: 2.3. Toronto Kömür Sınıflaması
- Tablo: 2.4. ECE- Kömür Sınıflaması
- Tablo: 2.5. Çeşitli Kömür Türleri İçin Bulong Formülü'nden Bulunan Değerlerin Taşıdığı Hata Miktarları
- Tablo: 2.6. Isıl Değerin Elementler Analiz Sonuçlarından Yararlanarak Hesaplanması Amacıyla Türetilmiş Olan Çeşitli Formüller (Kuru-Kül-süz temelde)
- Tablo: 2.7. Kısa Analiz Sonuçlarından Yararlanmak Amacıyla Türetilmiş Olan Isıl Değer Formülleri
- Tablo: 4.1. Kömür Numunelerinin Kısa Analiz Sonuçları
- Tablo: 4.2. Linyit Numunelerinin Üst Isıl Değerlerini Kısa Analiz Sonuçlarından Yararlanarak Hesaplamak Amacıyla Türetilmiş Olan Denklemler ve Getirdikleri Hatalar
- Tablo: 4.3. Diğer Araştırmalarda Yer Alan Türk Linyitlerine Ait Kısa Analiz Sonuçları İle Üst Isıl Değerler.
- Tablo: 4.4. 50 Türk Linyitinin Türetilmiş Olan Denklemler İle Hesaplanan Isıl Değerlerinin Getirdiği Hatalar.

ÖZET

Yakma teknolojisi açısından kömürün en önemli özelliği ısı değeri dır.

Kömürün ısı değeri nin doğrudan ölçülmesine alternatif olarak geliştirilmiş olan hesap yöntemleri kömürün elementer veya kısa analiz sonuçlarına dayanmaktadır.

Aynı yaştaki kömürlerin ısı değeri leri ile kısa analiz sonuçları arasında iyi bir ilişki olması beklenebilir; çünkü bir kömürün ısı değeri yaşına ve iç erdiği anorganik madde miktarına bağlıdır.

Bu çalışmada, Türk linyitlerinin ısı değeri lerinin özel cihazlar gerektirmeyen, kısa analiz sonuçlarından yararlanılarak hesaplanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla türetilmiş olan çeşitli formüllerle, Türkiye'nin 50 değişik yöresinden kaynaklanan linyit kömürlerinin, oksijen kalorimetre bombasında ölçülmüş olan ısı değeri leri, iyi bir yaklaşıklıkla hesaplanabilmiştir.

Literatürde yer alan ve bu amaçla en sık kullanılan formüllerin Türk linyitlerine uygulanabilirliği de araştırılmıştır.

CALCULATING CALORIFIC VALUE OF TURKISH LIGNITES FROM THEIR PROXIMATE ANALYSIS

SUMMARY

As the calorific value test is a direct measure of the energy value of a coal it is the most significant of all the laboratory tests made in coal analysis for determining the value of coal as a fuel.

The calorific value of a fuel is the quantity of heat which is obtainable by the complete combustion of unit weight of solid or liquid fuels, or unit volume of gaseous fuels.

The calorific value of coal varies with the type of coal and with the amount of incombustible material mixed with the organic matter.

In combustion technology interest is mainly directed towards the calorific value of coal.

Calorific values of coals can be determined in the laboratory or calculated from their proximate and ultimate analysis.

Several types of methods for the determination of calorific value of coal were introduced during the latter part of the nineteenth century, and for each method some special advantage was claimed. Several of these methods can be grouped as follows:

- 1- Measurement of reducing power of coal,
- 2- Combustion of coal by a solid oxidizing agent,

3- Combustion of coal in a stream of oxygen at constant pressure,

4- Combustion of coal in a bomb with oxygen under pressure at constant volume.

1)- Measurement of reducing power of coal: In this method the reducing power of coal was measured by heating coal with litharge and multiplying the weight of the lead button obtained by a factor. The product represents theoretically the reducing power of the carbon in terms of Btu. This method has historical rather than practical interest.

2)- Combustion of coal by a solid oxidizing agent: In the Lewis Thompson calorimeter the coal sample was mixed with potassium nitrate and potassium chlorate. This mixture was ignited and immersed in water to measure the heat produced by combustion. The Parr sodium peroxide calorimeter have been used extensively for technical work. Sodium peroxide is used in this calorimeter as the oxidizing agent. .

3)- Combustion of coal in a stream of oxygen at constant pressure: With these calorimeters a current of oxygen was conducted through a chamber where the fuel was burned at constant pressure. The chief disadvantage of this method is the likelihood of incomplete combustion, especially with high-ash coals.

4)- Combustion of coal in a bomb with oxygen under pressure at constant volume: The first calorimeter of this type was devised in 1881. As the accuracy of the oxygen-bomb calorimeter for measuring the calorific value of coal became established, improvements were made in the construction and operation of such calorimeters so that now this type is the most accurate of any that have been used in coal calorimetry.

In this method calorific values of coals are determined by burning a known weight in an atmosphere of oxygen, at a pressure of not less than 25 atmosphere, in a steel bomb which stands in a calorimeter vessel containing a known weight of water whose temperature may be determined accurately. The calorimeter vessel is surrounded by a jacketed enclosure to minimise interchange of heat with its surroundings. If the rise of temperature of the

water equivalent of the apparatus are accurately known, very consistent results may be obtained, provided the necessary small correction for radiation is applied.

Calorific values as determined with the bomb calorimeter represent the heat produced by unit weight of coal when completely oxidised, the products of the combustion (CO_2 and H_2O , etc.) being cooled to room temperature. This value is not realised in practice because the products of combustion are not cooled to room temperature before being discharged to waste. Not only is sensible heat lost in the hot waste products but further heat loss occurs in practice as the latent heat of the steam in the hot waste gases. It is therefore usual to distinguish the calorific value as determined with the bomb calorimeter by calling it the gross calorific value" Th "nett calorific value" is a more realistic statement of realisable potential heat than the gross value.

The measurement of boiler efficiency for performance monitoring and optimization must always involve directly or indirectly some estimate of the potential heat entering the boiler. Since the direct approach to this problem requires a knowledge of the mass flow and calorific value of the fuel both of which are difficult to measure accurately, much attention has been given to indirect methods. The price of coal is usually related to its heat content and a quick method of determining calorific value would also be useful to both seller and customers.

Various, formulas have been devised and used for calculating calorific values from coal analyses. The Formulas are based on the ultimate and/or proximate analysis of coal.

Early studies of the calculation of calorific value from the data of proximate analysis were reported in 1902 by Goutal, who based his formula on fixed carbon, volatile matter and a function of the moisture-and ash-free volatile matter, During the 1920s and 1930s there was a great deal of activity in devising and revising such formulas.

Calorimetric measurements and ultimate analysis of coal are cumbersome and require special instrumentation, whereas proximate analysis of coal can be performed with relative ease using common laboratory equipment. Hence a method that gives rapid yet accurate estimates of calorific value of coal, using only proximate analysis will be of great practical value.

The purpose of this study was to examine the relationship between calorific value and proximate analysis of Turkish lignites. The lignite samples used are from.

- 1- Çayırhan - Ankara,
- 2- Aşkale - Erzurum,
- 3- Bağyaka - Muğla,
- 4- Merkezler- Bolu,
- 5- Çan - Çanakkale,
- 6- Dodurga - Çorum,
- 7- Akpınar - İstanbul,
- 8- Çiftalan - İstanbul,
- 9- Gediz - Kütahya,
- 10- Ilgın - Konya,
- 11- Mengen - Bolu,
- 12- Mihalıçcık-Eskişehir,
- 13- Milas - Muğla,
- 14- Orhaneli - Bursa,
- 15- Seyitömer- Kütahya,
- 16- Soma - Manisa,
- 17- Tepebaşı - Konya,
- 18- Tınaz - Muğla,
- 19- Karakaya - Tekirdağ,

- 20- Tunçbilek - Kütahya,
- 21- Yatağan - Muğla,
- 22- Merzifon - Amasya,
- 23- Sorgun - Yozgat and
- 24- Yeniköy - İstanbul,

The volatile matter of the lignite samples varies between 24.95-55.02%, the ash content between 7.61-43.19% and the heat content between 14.81 MJ- 29.24 MJ.

Heating values of Turkish lignites vary over a wide range among different reserves. Large fluctuations within a single reserve are also common.

Several correlations are developed for estimating the heating value of Turkish lignites that employs only proximate analysis data.

We developed correlations for estimating the heating value of Turkish lignites by making use of common laboratory analysis of coal.

The calorific value of Turkish lignites has been shown to be directly related to the proximate analysis data.

The proposed correlations are simple and compares favourably with the other prominent formulas reported in the literature.

Application to other 26 Turkish lignites from previous work reveals that the developed correlations can be used for estimating the calorific values of Turkish lignites.

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Isıl değer tayini, kömürün enerji içeriğinin doğrudan ölçülmesi olduğu için, bir kömürün yakıt değerini saptamak amacıyla uygulanan tüm laboratuvar analizlerinin en önemlisidir.

Kömür yandığı zaman ısının açığa çıkması, içerdiği karbon ve hidrojen bileşiklerinin oksitlenmesi sonucudur. Bir yakıtın ısı değeri, birim ağırlıktaki (veya hacimdeki) yakıtın tamamen yanması sonucu açığa çıkan ısı biriminin sayısıdır.

Kömürün ısı değerinin saptanması amacıyla geliştirilen yöntemler iki gruba ayrılır;

- 1)- Isıl değerin deneysel olarak saptanması,
- 2)- Isıl değerin hesap yolu ile bulunması.

Kömürün ısı değerinin ölçülerek bulunması amacıyla geliştirilmiş olan yöntemleri şöyle sınıflandırabiliriz:

- a)- Kömürün indirgen olarak kullanılması,
- b)- Kömürün katı oksitleyicilerle yakılması,
- c)- Kömürün oksijen akımında yakılması,
- d)- Kömürün Parr sodyum peroksit kalorimetre bombasında veya
- e)- Kömürün oksijen kalorimetre bombasında yakılması.

Günümüzde en çok kullanılan yöntem kömürün oksijen kalorimetre bombasında yakılmasıdır; kömür bir bomba içinde, basınç altında oksijen ile ve sabit hacimde yakılarak oluşan ısı ölçülür. Kalorimetre ile gerçekleştirilen ısı değer tayin işleminde çeşitli hata kaynakları vardır.

Kömür ısı değerinin doğrudan ölçülmesine alternatif olarak geliştirilmiş olan hesap yöntemlerini iki grup altında toplamak olasıdır.

- a)- Elementel analiz sonuçlarından yararlanılan formüller,
- b)- Kısa analiz sonuçlarından yararlanılan formüller.

Kömürün ısı değerinin ölçülmesi ve elementer analiz sonuçlarından yararlanılarak hesaplanması özel cihazlar gerektirmektedir. Kömürün, özel cihazlar olmadan da kolayca saptanabilen, kısa analiz sonuçlarından yararlanarak ısı değerinin saptanabilmesi hem üretici hem de tüketici için oldukça pratik ve yararlıdır.

Bu çalışmanın amacı Türk linyitlerinin ısı değerlerinin, kısa analiz sonuçlarından yararlanılarak hesaplanabilirliğinin araştırılmasıdır.

BÖLÜM 2. KÖMÜRÜN ISIL DEĞERİ

2.1. Isıl Değer

Bir kömürün ısı değeri, türüne ve organik yapısına karışmış olan yanmayan maddenin miktarına bağlıdır [1]. Kömürün ısı değeri yaşına bağlı olarak değişir. Genç kömürlerin ısı değerleri düşüktür; çünkü oksijen ve nem içerikleri fazladır [2]; fakat bu genç kömürler, miktarları fazla ve fiyatları düşük olduğu için çok yaygın olarak yakılmaktadır. Kuru-külsüz temelde hesaplanan ısı değeri, kömürün yaşıyla sistematik olarak değişir ve yaşı, arttıkça artar. Kömürün uçucu madde içeriği az ise yanma yavaş gerçekleştiğinden ısının açığa çıkması da yavaş olur [3].

Kömürün kül içeriği yüksek ise kömür tanecikleri, yanma sırasında eriyen kül içinde yanmadan kalabilirler, bu nedenle ısı değeri olduğundan düşük saptanır.

Bir kömürün ısı değeri 1) nemli, 2) kuru, 3)kuru-külsüz ve 4) kuru-mineral-maddesiz temelde belirtilebilir.

$$H_{\text{kuru}} = H_{\text{havada kuru}} \times \frac{100}{100 - \% \text{ nem}} \quad (2.1)$$

$$H_{\text{nemli}} = H_{\text{havada kuru}} \times \frac{100 - \% \text{kaba nem}}{100} \quad (2.2)$$

$$H_{\text{kuru-külsüz}} = H_{\text{havada kuru}} \times \frac{100}{100 - (\% \text{ nem} + \% \text{ kül havada kuru})}$$

(2.3)

Türk linyitlerinin ısı değerleri 4.6 -24.07 MJ/kg arasında değişmektedir. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü'nün 1978 yılında yayınladıkları Türkiye Kömür Envanteri'nde [4] Türk linyitlerinin ısı değerleri için belirtilen rakamlar Tablo 2.1'de; Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu'nun ürettiği ve sattığı linyitlerin ısı değerleri ise, 1987 yılı verilerine göre, Tablo 2.2'de görülmektedir [5].

TABLO: 2.1. Türk Linyitlerinin Isıl Değerleri [4]

BÖLGE	ISIL DEĞER (MJ/kg)
Afyon-Sincanlı-Dumlupınar	10.88
Amasya-Merzifon-Yeniçeltek	23.02
Ankara-Beypazarı	12.56
Ankara-Çankaya-Gölbaşı (Bahçeköy)	6.69
Ankara-Koçhisar	12.56
Aydın-Karahayıt-Şahinali	13.18
Aydın-Söke	15.90
Balıkesir-Dursunbey-Kavacık	15.90
Bingöl-Karlıova-Halifan (Kapalı)	6.69
Bingöl-Karlıova-Halifan (açık)	5.52
Bolu-Mengen-Salıpazarı	20.09
Bolu-Merkeşler	17.16
Burdur-Tefenni	7.34
Bursa-Keleş	7.12
Bursa-M. Kemalpaşa-Devecikonağı	16.07
Bursa-M. Kemalpaşa-Soğukpınar	12.56
Bursa-Orhanlı-Burmu-Çivili-Sağırlar	11.23
Çanakkale-Çan (açık)	11.74
Çanakkale-Çan (Kapalı)	13.25
Çanakkale-Yenice-Hamdibey	15.26

Çankırı-Orta	3.63
Çorum-Alpagut-Dodurga	17.16
Denizli-Çivril-Tokça	12.56
Denizli-Kale-Kurbalık	16.74
Edirne-Demirhanlı	11.30
Edirne-Keşan-K.Doğancı	8.99
Edirne-Meriç-Karayusuflu	11.01
Edirne-Uzunköprü-Harmanlı	14.64
Erzincan-Kemaliye-Başpınar	16.74
Erzincan-Refahiye-Alakilise	9.208
Erzurum-Aşkale-kükürtlü	18.83
Erzurum-Balkaya	18.83
Erzurum-Hınıs-Zirnak	8.79
Erzurum-Pasinler-Pekçecik	10.46
Erzurum-İspir-Karahan	10.97
Erzurum-Oltu-Sütkans	17.58
İsparta-Yalvaç-Yarıkkaya	11.72
İstanbul-Eyüp-Ağaçlı	14.23
İstanbul-Şile-Üvezli	19.09
Kastamonu-Tosya	14.23
Konya-Beyşehir	5.86
Konya-Ermenek	13.81
Konya-Ilgın-Haramidere	9.21
Kütahya-Domaniç	16.74
Kütahya-Tavşanlı-Alabarda	23.23
Kütahya-Gediz-Sazköy-Gökler	24.06
Kütahya-Seyitömer	11.51
Kütahya-Tavşanlı-Tunçbilek	16.74
Manisa-Gördes-Çıtak	15.07
Manisa -Soma	15.58
Maraş-Elbistan	4.60
Muğla-Milas-Hüsamlar	9.63
Muğla-Milas-Sekköy	8.37
Muğla-Milas-Ekizköy-Karacahisar	8.96
Muğla-Yatağan-Bayır	11.13
Muğla-Yatağan-Eskihisar	9.13

Muğla-Yatağan-Tınaz	8.72
Muğla-Yatağan-Tınaz(Kapalı)	9.05
Muğla-Yatağan-Bağyaka(açık)	7.51
Nevşehir-Gölşehir- Arafat	20.93
Samsun-Havza	5.44
Samsun-Havza-Beyviran	12.56
Sivas-Divriği-Uluçayır	18.83
Sivas-Kangal-Kaburçayırı(açık)	5.57
Sivas-Kangal-Etyemez(açık)	6.25
Sivas-Kangal-Etyemez(kapalı)	6.25
Sivas-Kangal-Hamam	6.25
Tekirdağ-Malkara-Ahmetpaşa	13.04
Tekirdağ-Malkara-Evrenbey	11.42
Tekirdağ-Malkara-Hasköy	10.42
Tekirdağ-Saray	8.66
Van-Erçiş-Zilan	14.65
Yozgat-Sorgun	18.52

TABLO: 2.2. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu'nun Ürettiği ve Sattığı Linyitlerin Isıl Değerleri
[5]

BÖLGE	ISIL DEĞER (MJ/kg)
Alpagut	12.97
Aşkale	15.07 - 21.76
Ayvaköy	8.99 - 13.39
Beypazarı	12.55 - 14.65
Beyşehir	4.39 - 12.55
Çan I-III	16.74 - 20.92
Çan III-IV	12.55 - 15.90
Darkale	7.95 - 10.46
Deniş	6.69 - 10.46
Dudurga	11.72 - 15.40
Erçiş	7.11 - 10.04
Ermenek	10.46 - 15.49
Göynük	9.63 - 16.32

BÖLGE	ISIL DEĞER (MJ/kg)
İlgın	6.28 - 12.55
Işıklar	10.46 - 17.99
İspir	5.53 - 11.30
Kangal	5.44 - 8.37
Karlıova	7.11 - 9.42
Keles	6.28 - 12.55
Kumbaba	8.99
Kükürtlü	18.42 - 25.95
Mengen	20.51 - 22.18
Oltu Balkaya	7.74 - 16.53
Oltu Sütkans	13.18 - 21.55
Orhaneli	6.28 - 14.65
Önen	15.49 - 20.51
Pekecik	6.28 - 8.37
Saray	6.28 - 10.46
Sekköy	6.91 - 11.72
Seyitömer	7.32 - 13.60
Silopi	18.83 - 21.76
Soma	11.72 - 18.42
Tınaz	5.53 - 8.79
Tunçbilek	8.99 - 18.83
Yatağan	7.95 - 11.72

2.2. Isıl Değer Birimleri

Yaygın olarak kullanılan ısı değer birimleri şunlardır:

a)- Katı yakıtlar için:

İngiliz birimi: Btu/lb

CGS birimi : cal/g veya kcal/kg

SI birimi : kJ/kg veya MJ/kg

1 cal/g=1 kcal/kg=1.8 Btu/lb

b)- Sıvı yakıtlar için: Katı yakıt birimleri veya Btu/gal kullanılmaktadır.

c)- Gaz yakıtlar için:

İngiliz birimi: Btu/ft³

CGS birimi : cal/m³ veya kcal/m³

SI birimi : kJ/m³ veya MJ/m³

Gaz yakıtların ısı değerleri verilirken ölçümün yapıldığı sıcaklık, basınç ve gazın nemliliği belirtilmelidir.

1 Btu(=1 Britisch Thermal Unit) 60°F'daki 1 lb suyun sıcaklığını 1°F arttırmak için gereken ısı miktarıdır.

1 cal, 1 g damıtık suyun sıcaklığını, 14.5°C'den 15.5°C'ye çıkarmak için gereken ısı miktarıdır. Suyun özgül ısısı çeşitli sıcaklıklarda az da olsa bir farklılık gösterir.

2.3. Kömürlerin Isıl Değerlerine Göre Sınıflandırılması

Yakma teknolojisi açısından kömürün en önemli özelliği ısı değeridir. Bu nedenle, bazı kömür sınıflamalarında ısı değeri sınıflamaya esas olarak alınmıştır.

1913 yılında toplanmış olan Uluslararası Toronto Kongresi kömürleri ısı değeri, uçucu madde ve nem içeriklerine göre sınıflandırmıştır [4]. Toronto sınıflaması Tablo:2.3'de görülmektedir.

TABLO: 2.3. Toronto Kömür Sınıflaması [4]

SINIF	TÜR	UÇUCU MADDE(%)	ISIL DEĞER(MJ/kg)
A ₁	Antrasit	3-5	33.48 - 34.74
A ₂	Yarıantrasit	7-12	34.74 - 35.99
B ₁	Sabit Karbon içeriği yüksek antrasit veya bitümlü kömürler	12-15	35.16 - 37.25
B ₂	Orta bitümlü kömür- ler	12-26	32.23 - 36.83
B ₃	Sabit karbon içeri- ği az bitümlü kömürler	26-35	27.62 - 32.65
C	Yağlı kömür	30-40	27.62 - 36.83
D ₁	Sub-bitümlü kömürler (nem içeriği % 20'ye kadar)		23.02 - 30.13
D ₂	Linyitler (nem içeriği % 20'den fazla)		16.74 - 25.11

Patteisky ve Teichmüller [6]'in yaptıkları sınıf-
lama kömürün sabit karbon ve uçucu madde içerikleri
ile ısı değerini esas almaktadır. Bu sınıflamaya göre
liniyit kömürleri iki gruba ayrılmaktadır:

1)- Sert linyitler: % 71-77 karbon ve % 40-49 uç-
cu madde içeren sert linyitlerin ısı değerleri 16.74-
29.30 MJ/kg arasında değişmektedir.

2)- Yumuşak linyitler: Karbon içerikleri % 70'ten
az olan ve % 49-53 arasında değişen miktarlarda uçucu
madde içeren yumuşak linyitlerin ısı değerleri 16.74 ,
MJ/kg'dan azdır.

ECE (Economic Commission for Europe) sınıflamasına göre ise uçucu madde içeriği % 33'ten fazla olan kömürler, kuru-külsüz temeldeki ısı değerlerine göre sınıflandırılmıştır [4]. ECE Sınıflaması Tablo 2.4' de görülmektedir.

TABLO: 2.4 ECE Kömür Sınıflaması

Sınıf no	Isıl değer (MJ/kg)	Uçucu madde (%)
6	32.43	34-41
7	30.13 - 32.44	33-44
8	25.53 - 30.13	35-50
9	23.85 - 25.53	42-50

2.4. Kömürün Isıl Değerinin Saptanması

Kömürün ısı değerinin saptanması amacıyla geliştirilen yöntemler iki gruba ayrılır;

- 1)- Isıl değer hesap yolu ile bulunması,
- 2)- Isıl değer deneysel olarak saptanması.

2.4.1. Kömürün Isıl Değerinin Hesapla Bulunması

Kömüre ait bazı analitik verilerin yardımıyla ısı değerinin yaklaşık olarak hesaplanması olasıdır. Kalorimetre bombasının bulunmadığı yerlerde, veya laboratuvar da saptanmış olan deneysel verileri kontrol amacıyla kullanılan hesap yöntemlerini iki grup altında toplayabiliriz:

- 1)- Elementer analiz sonuçlarından yararlanılan formüller,

2)- Kısa analiz sonuçlarından yararlanılan formüller.

2.4.1.1. Elementer Analizden Yararlanılan Formüller

Yanma ısısı, maddenin elementer bileşiminden yararlanılarak yaklaşık olarak hesaplanılabilmektedir; bu nedenle, kömürün ısı değeri elementer analiz sonuçlarından yararlanılarak bulunabilmesi için çok çeşitli formüller türetilmiştir. Hepsinin dayandığı temel formül şöyledir [3]:

$$H = f(C) + f(H) + f(S) + f(N) + f(O) \quad (2.4)$$

(2.4) formülündeki C,H,S,N ve O bu elementlerin kömürdeki yüzde bileşimleridir. Bu konuda türetilmiş olan formüllerin birbirinden farkı, C,H ve O'nin bağ oranları konusundaki kabullerdir. Given [7], kömürün ısı değeri iyi bir yaklaşıklıkla elementer analiz yardımıyla hesaplanabileceğini savunmuşlardır. Jarrier [8] ve Veron [9] ısı değeri hesaplanması için türetilmiş olan formüllerin çoğunu sınamışlar ve elementer analize dayalı olanların kısa analiz sonuçlarına dayalı olanlara oranla daha hassas sonuç verdiğini saptamışlardır [10].

Elementer analiz sonuçlarından yararlanılarak kömürün ısı değerini hesaplamak amacıyla türetilmiş olan formüllerin deneysel sonuçlara en çok uygunluk göstere-ni Dulong Formülü'dür [1,10]:

$$H(\text{Btu/lb}) = 14544 \times C + 62028 \times \left(H - \frac{O}{8}\right) + 4050 \times S \quad (2.5)$$

$$H(\text{kcal/kg}) = 1/100 \cdot [8080 \times C + 34460 \left(H - \frac{O}{8}\right) + 2250 \times S] \quad (2.6)$$

Dulong Formülü türetilirken kömürün içerdiği oksijenin hidrojen ile bileşik halinde olduğu kabul edilmiştir. Antrasit, yarıantrasit ve bitümlü kömürlerin, oksijen kalorimetre bombasında belirlenen ısı değerleri Dulong Formülü'nden hesaplanan değerlerinden % 1.5 kadar farklıdır. Subbitümlü ve linyit kömürleri için hesaplanan değerler deneysel olarak saptananlardan % 4-5 kadar daha büyüktür. Tablo 2.5 çeşitli yaşlardaki kömürler için saptanmış olan hata miktarlarını göstermektedir [10].

TABLO: 2.5. Çeşitli Kömür Türleri İçin Dulong Formülü'nden Bulunan Değerlerin Taşıdığı Hata Miktarları [10].

KÖMÜRÜN YAŞI	ORTALAMA HATA (%)	KÖMÜRÜN KURU-KÜLSÜZ TEMELDEKİ OKSİJEN İÇERİĞİ
Turba	-7.4	34.4
Linyit	-3.1	23.4
Subbitümlü kömür	-1.4	19.1
Bitümlü kömür(I.bölge)	-0.2	10.3
Bitümlü kömür(II.")	-0.1	10.7
Bitümlü kömür(III.")	+0.2	7.1
Az uçucu ve orta uçucu bitümlü kömür	+0.7	3.1
Antrasit	+0.6	3.1

Tablo 2.5'in hazırlanışında her yaştan 20-30 kömür numunesi kullanılmıştır. Her yaştaki kömür numunelerinin ortalama oksijen içeriği de Tablo 2.5'de gösterilmiştir. Tablo 2.5'te görüldüğü gibi, hata miktarı kömürün oksijen içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Oksijen içeriği yüksek olan kömürlerde oksijenin bir kısmının karbona bağlı olduğu ve tamamının Dulong Formülü'nün

türetilişinde kabul edildiği gibi hidrojene bağlı olmadığı anlaşılmaktadır.

Isıl değerin, elementer analiz sonuçlarına dayanılarak hesaplanmasındaki hata kaynaklarından biri de kömürün oksijen içeriğinin doğrudan ölçülerek değil de farktan bulunmasıdır ($\% O = 100 - (\% N + \% S + \% H + \% C + \% \text{kül})$). Bu şekilde saptanan oksijen içeriği değeri analiz hatalarının toplamı kadar hata içermektedir. Diğer bir hata kaynağı ise Dulong Formülü'ndeki karbon ve hidrojenin yanma ısılarının elementer haldeki yanma ısıları olmasıdır; çünkü kimyasal bir bileşik içindeki karbon ve hidrojenin yanma ısıları farklıdır [10].

Elementer analiz sonuçlarından yararlanılarak ısı değer hesaplamak amacıyla türetilmiş olan diğer formüllerin listesi Tablo 2.6'da görülmektedir. Bu formüllerin çoğu Dulong Formülü'nün değiştirilmiş şekilleridir; temel farklılıkları oksijenin diğer elementler ile olan kimyasal ilişkisindeki kabullerdedir.

TABLO: 2.6. Isıl Değerin Elementer Analiz Sonuçlarından Yararlanılarak Hesaplaması Amacıyla Türetilmiş Olan Çeşitli Formüller (Kuru-külsüz temelde).

Vazar adı	Formül (Kcal/kg)
Strache-Lant [11]	$H = 81.37 \times C + 342.2 \times H - 36.60 + 25 \times S$
Steuer [12]	$H = 81(C - 3/8 \cdot O) + 57(3/8 \cdot O) + 345(H - 1/16 \cdot O) + 25 \times S$
Vondracek [13]	$H = (89.1 - 0.0062 \cdot C) \cdot C + 270(H - 1/10 \cdot O) + 25 \cdot S$
D'Huart [14]	$H = 81 \cdot C + 342.5 \times H + 22.25 \times S - 30.4 \times O$
Shuster [15]	$H = (254 + 0.355 \times O) \cdot (C/3 + H - (O - S)/8)$
Grumell ve Davies [16]	$H = (3.635 \times H + 235.9) \cdot (C/3 + H - (O - S)/8)$
Gumz [17]	$H = 81.3 \times C + 297 \times H + 15 \times N + 45.6 \times S - 23.5 \times O$
Sümeği [18]	$H = 81(C - (O/2) \times 0.75) + 345(H - (O/2) \cdot 0.125) + 25 \times S$
Mott ve Spooner [19]	$H = 80.3 \times C + 339 \times H - 34.7 \times O + 22.5 \times S \quad (O < \%15)$ $H = 80.3 \times C + 339 \times H - (36.6 - 0.172 \times O) \cdot O + 22.5 \times S \quad (O > \%15)$
Seyler [20]	$H = 123.92 \times C + 388.12 \times H - 4269 + 1/4(O)^2$
Boie [21]	$H = 84 \times C + 277.65 \times H + 15 \times N + 25 \times S - 26.5 \times O$

Mott ve Spooner'in [19] türettikleri birinci formül oksijenin  kte ikisinin hidrojene,  kte birinin ise karbona bağlı olduğu kabulüne dayanmaktadır. Bu formül ile antrasitten subbit ml  kömüre kadar % 15'ten az oksijen içeren birçok İngiliz ve Amerikan kömürü için iyi sonuçlar bulunmuştur [10]. % 15'ten fazla oksijen içeren k m rl r için ise ikinci bir formül türetmişlerdir.

2.4.1.2. Kısa Analizden Yararlanılan Formüller

Kömürün ısııl değerinin kısa analiz sonuçlarından yararlanılarak hesaplanması için türetilmiş olan çok sayıda formül vardır (Tablo 2.7). Bu tür formüller, elementer analiz sonuçlarına dayanan formüller kadar hassas sonuç vermemelerine rağmen, kullanılmaktadırlar; çünkü elementer analizin yapılmasını gerektirmediklerinden daha pratiktirler.

TABLO: 2.7. Kısa Analiz Sonuçlarından Yararlanmak Amacıyla Türetilmiş Olan Isıl Değer Formülleri [10-23]

$$H(\text{kcal/kg}) = 82 \cdot (\text{S.K.}) + a \cdot (\text{U.M.})$$

H= Isıl değer
S.K.= Sabit karbon(%)
U.M.= Uėucu madde (%)
a= Kuru-külsüz temelde hesaplanan uėucu madde içeriğinin fonksiyonu

$$H(\text{kcal/kg}) = a \cdot [(\text{U.M.}) - \text{Kül}/10] + b \cdot (\text{S.K.})$$

$$b = 78$$

$$H(\text{kcal/kg}) = 8100 + 2.95 \cdot X \cdot (40 - X)$$

a = uėucu maddenin fonksiyonu
X = Kuru-külsüz temeldeki uėucu madde (%)

$$H(\text{kcal/kg}) = 8150 + 6543 \cdot Y - 17308 \cdot Y^2$$

Y = Uėucu maddenin kuru-k l s z temeldeki fraksiyonu

$$H(\text{kcal/kg}) = 80.8 \cdot (\text{S.K.}) + k \cdot (\text{U.M.})$$

k = Denenmiř k m rl r için 90.5-103.25 arasında değişen bir değer

$$H (\text{MJ/kg}) = 35.5 - 0.38 \cdot (\text{K l} + \text{Nem})$$

$$H (\text{MJ/kg}) = 37.869 - 1.704 \cdot (\text{Nem}) - 0.195 \cdot (\text{Nem})^2$$

$$H (\text{MJ/kg}) = 37.225 - 0.805 \cdot (\text{Nem})$$

Kısa analiz sonuçlarından yararlanılan formüllerin hata kaynaklarından en önemlisi, uçucu maddenin içerdiği, karbondioksit ve su gibi, inert bileşiklerin miktarlarının çeşitli yaşlardaki kömürler için gösterdiği farklılıklardır. Yanabilir çeşitli bileşiklerin (hidrojen, hidrokarbonlar, karbonmonoksit) çeşitli yaşlardaki kömürlerin uçucu maddeleri içindeki yüzde miktarları da farklılık gösterir.

Isıl değerin kısa analiz sonuçlarından hesaplanmasında en sık kullanılan formül Goutal'ın [24] türettiği formüldür. Bu formüldeki "a" kuru-külsüz temelde hesaplanan uçucu madde içeriğinin fonksiyonudur:

V'	5	10	15	20	25	30	35	38	40
a	145	130	117	109	103	98	94	85	80

$$V' = \frac{100 \cdot (U.M.)}{(S.K) + (U.M.)} \quad (2.7)$$

Taylor ve Patterson [25], Goutal Formülü'nün hassasiyetini 18 değişik kömür numunesi kullanarak araştırmışlar ve oksijen içeriği fazla yüksek olmayan kömürler için oldukça doğru sonuçlar verdiğini saptamışlardır. Kullandıkları 18 kömür numunesi için saptadıkları en yüksek hata miktarı % 5.4; on kömür numunesi için ise %1.6 dan daha düşük olmuştur.

2.4.2. Isıl Değer Ölçüm Yöntemleri

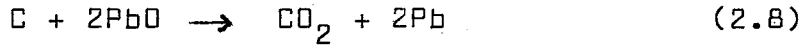
Kömürün ısı değerin ölçülerek bulunması amacıyla geliştirilmiş olan yöntemleri şöyle sınıflandırabiliriz:

- 1)- Kömürün indirgen olarak kullanılması,
- 2)- Kömürün katı oksitleyicilerle yakılması,

- 3)- Kömürün oksijen akımında yakılması,
- 4)- Parr sodyum peroksit kalorimetre bombası ve
- 5)- Oksijen kalorimetre bombası.

2.4.2.1. Kömürün İndirgen Olarak Kullanılması

1843 yılında Berthier [10] tarafından ortaya atılan bu yöntemde, kömürün indirgeme gücü, bir gram kömürün kurşun oksit ile ısıtılmasıyla oluşan kurşun kütle-sinin bir faktörle çarpılmasıyla ölçülür. Bu çarpım



teorik olarak karbonun indirgeme gücünü (Btu) verir. Sonuçlar bu yöntemin önemli ölçüde hata getirdiğini gösterdiğinden, yöntemin pratik değil tarihsel önemi vardır.

2.4.2.2. Kömürün Katı Oksitleyicilerle Yakılması

Kömürün yanması için gereken oksijenin, içine karıştırılan katı oksitleyicilerden sağlanması amacıyla katkı maddesi olarak potasyum nitrat, potasyum klorat veya sodyum peroksit kullanılabilir.

Lewis Thompson Kalorimetresi ile ısı değer tayini yapılırken, kömür numunesi potasyum nitrat ve potasyum klorat ile karıştırılarak bir kapsüle konduktan sonra yakılır. Scheurer-Kestner'e [26] göre bu cihazla yapılan ölçümler % 15 kadar hata içermektedir.

Parr Kalorimetresi'nde ise oksitleyici olarak sodyum peroksitten yararlanılır [27]. Kömür, sodyum peroksit ile karıştırılır ve yanmanın tam olarak gerçekşelebilmesi için biraz da potasyum perklorat ($KClO_4$) katılarak bomba içinde yakılır. Tutuşma elektrik akımıyla

sağlanır. Bu yöntem genellikle teknik amaçlarla kullanılır. Oksijen kalorimetre bombası kadar hassas sonuç vermediğinden standartlaştırılmamıştır; buna rağmen yöntemin uygulanır olmasının nedeni, daha ekonomik ve daha kolay gerçekleştirilebilmesindendir.

2.4.2.3. Kömürün Oksijen Akımında Yakılması

Kömürün oksijen akımı altında yakılması sabit basınçta gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla kullanılan kalorimetrelerin en iyileri Thomson [28], Fischer [29], Carpenter [30] ve Darling [31] tarafından geliştirilmiştir. Bu tür kalorimetreler ile ısı değer tayini yapılırken bir oksijen akımı yakıtın sabit basınçta yakıldığı kabın içinden geçirilir. Kül içeriği yüksek olan kömürler bu yöntemde, tam yanmadıklarından, hata oranı yüksektir.

2.4.2.4. Oksijen Kalorimetre Bombası

Kömürün ısı değerinin oksijen kalorimetre bombasında tayini, kömürün bir bomba içinde, basınç altında oksijenle sabit hacimde yakılması ve oluşan ısıнын ölçülmesi esasına dayanmaktadır.

Bu tür kalorimetrelerin ilki Berthelot [10] tarafından 1881'de geliştirilmiştir. Bu kalorimetrelerin kömürün ısı değerinin ölçülmesindeki hassasiyeti anlaşıncaya, yapılarında ve çalışma şartlarında düzeltme yapılmıştır. Günümüzde en hassas ölçüm bu tip kalorimetreler ile yapılmaktadır. Mahler, Atwater, Emerson ve Parr [10] en başarılı düzenlemeleri gerçekleştirmişlerdir.

Kalorimetre bombası ile ısı değer tayin edilirken cihazdaki tüm su miktarının ve cihazın su ile temas eden metal, cam vs. kısımlarının sıcaklığının arttırılması için gereken ısı miktarının bilinmesi gerekir. Bu amaçla, cihaz, ısı değeri bilinen saf bir hidrokarbonun (benzoik asit, naftalin veya sakkaroz) yakılması ve sıcaklık artışının kaydedilmesi yoluyla kalibre edilir. Saf maddenin yanması sonucu açığa çıkan ısıdan cihazdaki suyun sıcaklığını arttırmak için gereken ısı miktarı çıkartılınca geriye cihazın çeşitli kısımlarının sıcaklığını aynı miktarda arttırmak için gereken ısı miktarı kalır. Cihaza ait sabit değer bu ısı miktarının sıcaklık artışına bölünmesiyle bulunur; bu sabite cihazın su cinsinden değeri denir ve ısı kapasitesi bakımından kalorimetredeki su tarafından ısıtılan çeşitli cihaz kısımlarına eşdeğer suyun gram miktarını gösterir.

Kalorimetre bombası ile gerçekleştirilen ısı değeri tayin işleminde çeşitli hata kaynakları vardır. Bunları şöyle sıralayabiliriz: termometre, ısının kalorimetre bombasından radyasyonla yayılarak kaybolması, tutuşturma malzemesi, yanma sırasında oluşan SO_x ve NO_x lerin bombadaki suda çözünerek H_2SO_4 ve HNO_3 oluşturmaları.

Tutuşturma amacıyla platin, çelik, demir ve nikel-krom alaşımından yapılmış tel kullanımı uygundur. İşlem sonunda yanmadan kalan tel miktarı başlangıçta kullanılan miktardan çıkartılarak yanmış olan telin verdiği ısı hesaplanmaktadır.

Kalorimetre bombasında genellikle quarz veya platinden yapılmış krüzeler kullanılır. Isı değerinin tayin edilmesi istenen kömürün uçucu madde içeriği az ise yanma yavaş gerçekleşir ve yanmanın olduğu kröze

ısıyı çok iyi ilettiği için kalan ısı son parçacıkların yanması için yeterli olmayabilir [3]. Bir de, kül içeriği yüksek kömürlerin yakılması sırasında kömür taneciklerinin bir kısmı eriyen kül içinde kalabilir. Bu hata kaynaklarını ortadan kaldırmak amacıyla çeşitli malzemelerden yapılmış, iletkenlikleri farklı krözeleler denenmiştir. Mott ve Thomas [32] quarz kröze kullanıldığında yanmayan kömür taneciklerinin kaldığını saptamışlar ve quarz krözenin sadece genç kömürler için kullanılması gerektiğini açıklamışlardır. Aynı araştırmacılar krom-nikel alaşımından (% 80 Ni, % 14 Cr ve % 6 Fe) yapılmış krözelerle veya krözenin dibine ince bir tabaka killi toprak koymakla her tür yakıtın tam yanmasının sağlanabileceğini ileri sürmüşlerdir. Bu şekilde yanma hızının düşürülmesi sağlanmış ve külün krözeden dışarı sıçraması önlenmiş olmaktadır. Barker [33] ve arkadaşları kül içeriği yüksek olan kömürlerde sodyum-, potasyum-, magnezyum-ve kalsiyum-oksit miktarlarının fazla olduğunu ve bunların da H_2SO_4 ile fazladan ısı yayınımlarına (63 kJ/kg'a kadar) neden olduğunu açıklamışlardır.

Güç tutuşan ve kül içeriği yüksek olan yakıtlar için başka öneriler de vardır. Roth [34], artı uç (anot) yapımında kullanılan kömürler ve grafit zor tutuştuğu ve zor preslendiği için bunlara birkaç damla parafin yağının damlatılmasını önermiştir. İngiliz normlarına göre ise antrasite 0.01-0.02 g, koka 0.15-0.20 g benzoik asit karıştırılırsa tam yanma sağlanabilmektedir; koklar için parafin yağı da kullanılmaktadır. ASTM standartlarına göre [35] antrasitin, kokun ve kül içeriği yüksek kömürlerin ısı değer tayinleri sırasında potanın içinin tamamen ince bir tabaka tavlanmış asbest ile kaplanmalı, sonra da kömür numunesi bu asbestin üzerine düzgün bir biçimde yayılmalıdır.

Briketlenemeyen katı yakıtlar bir kapsül içine konarak yakılır ;bu amaçla genellikle jelatin kapsüller kullanılır. Jelatin kapsüllerin ısı değerleri zaman zaman kontrol edilmelidir; çünkü ortam sıcaklığına, depolama şartlarına ve ortamın nemliliğine bağlı olarak değişen nemlilikleri ısı değerlerini etkilemektedir. Strumpf [36], çeşitli malzemelerden yapılmış kapsülleri denemiş ve selülozasettan yapılarındakilerin depolama şartlarından en az etkinliğini, dolayısıyla ısı değerlerinin hemen hemen sabit kaldığını saptamıştır.

Güç tutuşan kömürlerin ısı değer tayinleri sırasında oksijen basıncının 30-35 atm'e kadar yükseltilmesi de yarar sağlamaktadır [35,37]. Mott ve Thomas'ın [32] yaptıkları deneyler göstermiştir ki kömürün tam yanması için gereken oksijen miktarı teorik miktarın üç katı kadardır.

Oksijen kalorimetre bombası kullanılarak farklı laboratuvarlarda aynı kömür numunesinin ısı değerinin saptanmasında müsaade edilen fark % 0.5; aynı laboratuvar da tekrarlanan ölçüm için ise % .0.3'tür.

Kalorimetre bombası ile saptanan ısı değerler yanma ürünlerinin (CO_2 ve H_2O gibi) oda sıcaklığına soğutulması ile bulunan değerlerdir. Bu değerlerin pratik bir anlamı yoktur; çünkü bir yakıt yakılırken yanma ürünleri oda sıcaklığına soğutulurken dışarı atılmaz. Pratikte sıcak baca gazları ile kaybolan sadece duyulur ısı değildir; sıcak baca gazlarındaki su buharının buharlaşma ısı da kaybedilir. Su, havada kuru kömürde nem olarak bulunur; karbone bağlı hidrojen de yanma sırasında su oluşturur. Kalorimetre bombasında gerçekleştirilen yanma sırasında nem önce buharlaşır, sonra da sıvı su halinde yoğunlaşır. Yanma sırasında oluşan su buharı da sıvı su halinde yoğunlaşarak yoğunlaşma ısını verir. Halbuki

gerçekte kömür yakılırken her ikisi de su buharı olarak baca gazı ile sistemi terkeder; bu nedenle hem duyulur, hem de gizli ısıları kaybedilir.

Yukarıda açıklanan nedenlerle kalorimetre bombasında yakma yöntemiyle saptanan yanma ısısına "Üst ısı değer" denir. "Alt ısı değer" ise tüm suyun yoğunlaşma ısısının üst ısı değerden çıkartılması yoluyla bulunur. Alt ısı değer gerçeğe daha yakın bir büyüklüktür. Alt ısı değerinin saptanabilmesi için yakıtın hidrojen içeriğinin bilinmesi gerekmektedir.

Üst ve alt ısı değerlerinin "American Society for Testing Materials" tarafından yapılan tanımları şöyledir [38].

Üst Isı Değer (H_u):

Katı ve az uçucu sıvı yakıtlar için bir birim miktardaki yakıtın, sabit hacimde, bir oksijen kalorimetre bombasında ve belirli şartlar altında yakılması sonucu açığa çıkan ısıya "Üst ısı değer" denir. Başlangıç basıncı 20-40 atm, sonuç sıcaklık 68-95°F (293-308 K), ürünler ise kül, sıvı su ve SO_2 , CO_2 ve N_2 gazlarıdır. Bu tanım çok uçucu sıvı yakıtlar ve gaz yakıtlar için geçerli değildir.

Alt Isı Değer (H_l):

Katı ve az uçucu sıvı yakıtlar için üst ısı değerden daha düşük olan bir değer hesaplanmaktadır ki bu değer birim miktardaki yakıtın, sabit atmosferik basınçta ve ürünlerin içerdiği tüm suyun buhar halinde olduğu şartlar için hesaplanmaktadır. Alt ısı değer, üst ısı değerden oluşan her lb (0.453 kg) su için (2.37MJ/kg) çıkartılarak hesaplanır. Havada kuru numune kullanıldığı

takdirde hem nem suyu, hem de yanma sırasında oluşan su miktarları hesaba katılır. Azalma miktarı suyun gizli ısısına (2.44 MJ/kg, 297 K'de) eşdeğer değildir; çünkü düzeltme sabit hacimde ölçölmüş olan üst ısı değerden, sabit basınçtaki değeregeçmek için yapılmaktadır ve doğru değer 2.37 MJ/kg'dır.

"H" ısıyı temsil etmektedir; indisi "s" ve "i" Fransızca kelimeler olan "superieur" (yüksek) ve "inferieur" (alçak) den kaynaklanmaktadır.

Alt ısı değer hesabında hidrojen miktarının saptanması gerektiğı için, aynı cins yakıtlar üst ısı değer kullanılarak kıyaslanır; fakat farklı türden yakıtlar (bitümlü kömür, antrasit, petrol, kok...) kıyaslanırken alt ısı değerlerin kullanılması gerekir; çünkü hidrojen içerikleri çok farklıdır.

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILMIŞ OLAN LİNYİT KÖMÜRLERİNİN OLUŞUM BÖLGELERİNİN TANITIMI [4, 39,40]

Ülkemiz bugün belirlenmiş toplam linyit rezervi 8.3 milyar ton olup, bunun yaklaşık % 79'u görünür, % 15'i muhtemel, % 6'sı ise mümkün rezervlerdir.

Büyüklik bakımından Orta Anadolu Bölgesi 3.7 milyar tonluk rezerv ile Türkiye genelinde birinci sırada yer almaktadır; buna karşın, ısı değerleri en düşük olan linyitlerimiz bu bölgede bulunmaktadır.

Kuzeybatı Anadolu Bölgesi toplam 1.325 milyar ton ve görünür 1.085 milyar tonluk rezervi ile ikinci sırada yer almaktadır. Bu bölgede üretilen kömür, ısı değeri nispeten yüksek olduğu için ülkemiz linyitleri içerisinde çok önemli bir yer tutmaktadır.

Türk linyitlerinin toplam rezervinin % 16'sı görünür, görünür rezervinin ise % 6'sı Kuzey Orta Anadolu Bölgesi'ndedir.

Rezerv büyüklüğü açısından Güneybatı Anadolu Bölgesi dördüncü sırada yer almaktadır. Türkiye toplam rezervinin % 7.9'u görünür rezervinin ise % 9.4'ü bu bölgede bulunmaktadır.

Türkiye toplam rezervinin % 4.46'sı Trakya Bölgesi nde bulunmaktadır. Bölgedeki linyitlerin ortalama ısı değeri yaklaşık olarak 10.46 MJ./ kg'dır.

Rezerv büyüklüğü bakımından sonucu sırada Doğu Anadolu Bölgesi yer almaktadır. Toplam 276 milyon tonluk rezervin % 52'si görünür, % 47'si muhtemel ve % 0.87'si ise mümkün rezerv olarak belirlenmiştir.

Ülkemiz linyit kömürlerine ait küllerin erimesine etki eden değişkenlerin incelenmesine amaçlayan çalışmalarımızda kullanılmış olan linyit kömürü örnekleri Türkiye'nin farklı özelliklere sahip çeşitli yörelerinden kaynaklanmaktadır.

- L- 1 Çayırhan - Ankara
- L- 2 Aşkale - Erzurum
- L- 3 Bağyaka - Muğla
- L- 4 Merkezler- Bolu
- L- 5 Can - Çanakkale
- L- 6 Dodurga - Çorum
- L- 7 Akpınar - İstanbul
- L- 8 Çiftalan - İstanbul
- L- 9 Gediz - Kütahya
- L-10 Ilgın - Konya
- L-11 Mengen - Bolu
- L-12 Mihaliççık-Eskişehir
- L-13 Milas - Muğla
- L-14 Orhaneli - Bursa
- L-15 Seyitömer-Kütahya
- L-16 Soma - Manisa
- L-17 Tepebaşı - Konya
- L-18 Tınaz - Muğla
- L-19 Karakaya - Tekirdağ
- L-20 Tunçbilek-Kütahya
- L-21 Yatağan - Muğla
- L-22 Merzifon - Amasya
- L-23 Sorgun - Yozgat
- L-24 Yeniköy - İstanbul

yörelerdeki kamu veya özel şirketlerce işletilen ocaklardan alınmış olan yinyit kömürü örnekleriyle çalışılmıştır.

Türkiye genelinde toplam rezervi en yüksek olan 5 bölgeden 4'üne ait linyit kömürü numuneleri çalışmamızda yer almıştır. Kullanılan Türk linyitlerine ait örnekler içerisinde toplam rezerv bakımından 300 milyon ton ile Çayırhan-Ankara birinci; 253.1 milyon ton ile Tunçbilek-Kütahya ikinci; 227.2 milyon ton ile Seyit-Ömer-Kütahya üçüncü; 207 milyon ton ile Karakaya-Tekirdağ dördüncü; 180.7 milyon ton ile Soma-Manisa beşinci; 130 milyon ton ile Yatağan -Muğla altıncı sıradadır.

3.1. Çayırhan -Ankara Bölgesi

Ankara'ya 100 km uzaklıktaki Beypazarı'nın yaklaşık 30 km batısında bulunan bu bölgede kömür 80-95 cm'lik bir kalker arakesme ile birbirinden ayrılmış iki damar halindedir. Üst damar 0.55-1.50m kalınlıkta olmasına rağmen, arakesmelerin fazlalığı ve kalınlık değişmesi nedeniyle işletilmez durumdadır; esas işletilen alt damardır ve kalınlığı 0.6-2.0 m arasında değişmektedir. Kömürün yayılım alanı 60 km²'dir. Alt Miosen yaşlı olan bu linyit parlak renklidir. Bölgedeki zuhurlar; Karaköy, Uluköy, Çayırhan, Tepeköy, Hırkaköy ve Mustafadır. Toplam rezerv 300 milyon ton'dur. Çayırhan linyitlerinin 1981 yılı satılabilir üretimi 0.3 milyon ton'dur. Bu bölgede üretilen linyit kömürünün kül ve kükürt içeriğinin fazlalığı kalitesini düşürücü etkenlerdir.

3.2. Aşkale-Erzurum Bölgesi

Aşkale'nin takriben 13 km güneybatısında bulunan bu linyit yatağının temel formasyonunu radyolaritler oluşturur. Sahanın stratigrafik durumu tavandan tabana doğru şöyledir;

- a)- Pliyosen: ince tabakalı marn, gips formasyonu,
- b)- Miosen: kükürtlü linyit (marm, kumtaşı, konglomera) ve kırmızı molas formasyonlarıdır,
- c)- Mesozoyik: Kalker, ultrabazik, metamorfik, volkanit, radyolaritler.

Kükürtlü linyit formasyonunun alt kısımları sarıgri kumtaşı ve konglomeralardan, yukarı kısımları koyu gri ve sıkı marnlardan oluşmuştur. Marnların içinde birkaç linyit damarı vardır. Linyit formasyonunun yaşı henüz kesinlikle belirlenmiş olmamakla beraber, üst Miosen olduğu düşünülmektedir. Kükürtlü işletmesinde 0.55-1.20 m kalınlıkları arasında altı damar vardır. Kömür damarlarında çok sayıda marnlı arataş görülür.

Bu bölgede küçük bir linyit yatağı söz konusu olmakla beraber, Doğu Türkiye'nin yakıt sıkıntısı nedeniyle yöresel açıdan önemlidir. 1.5 milyon ton olan toplam rezervi ile bu çalışmada kullanılmış linyit numuneleri arasında en düşük rezerve sahip olanıdır.

3.3. Bağyaka-Muğla Bölgesi

Bağyaka Muğla'ya 29 km uzaklıktadır. Yerkesik'in batısından Bağyaka'ya kadar çoğu tektonik bakımdan sınırlı bloklar halinde Neojen sedimentleri vardır ve bunlar Turgut, Sekköy ve Yatağan formasyonlarına dahildirler. Ortalama kömür kalınlığı 13m'dir. 17.3 milyon ton'luk toplam rezerve sahiptir.

3.4. Merkezler - Bolu Bölgesi

Bolu'nun 35 km kuzeydoğusunda uzanan bu kömürlü saha, 1.0-2.5 km genişliğinde, 50-60km uzunluğundadır. Havzadaki stratigrafik durum şöyle özetlenebilir:

a)- Paleozoik: Metamorfik formasyonlardan oluşmuş olup, sahanın kuzey ve kuzeydoğusunda görülür,

b)- Kretase: Beyazımsı gri renkli, masif ve sert kalkerlerle temsil edilir; kısmen kristalize olan bu kalkerler 150-300 m kalınlığa sahiptir.

c)- Eosen: İmpresien ve Lütesien yaşlı kalker, marn, killi marn ve killerin değişmesinden oluşmuştur. Kalkerli çökellerin depolanmasından hemen sonra linyit oluşumu başlamış, yeşilimsi, gri-yeşil, kil ve killi marnların teşkil ettiği seride bu oluşum devam etmiştir. Lütesien'e (Orta Eosen) dahil edilen kömürlü formasyonun kalınlığı 90m civarındadır. Kömür sahada üç damar halinde görülür; alttaki iki damarın kalınlıkları 0.4-2.7 m arasında, üst damarınki ise 0.5-1.8m arasındadır. Bölgenin muhtemel toplam rezervi yaklaşık 12 milyon ton kadardır.

3.5. Çan - Çanakkale Bölgesi

Çan ilçesi civarında doğu-kuzeydoğu, batı-güney-batı yönünde uzanan kömürlü bir alan bulunmaktadır. Sahadaki stratigrafi ana hatlarıyla şöyledir;

a)- Substratum: Paleozoik yaşlı fillat, Mezozoik yaşlı arkoz, kalker, spilit ve diyopsitli diyabazlardan oluşmuştur.

b)- Üst Miyosen: Alttta andezit, tüf ve konglomera - lardan meydana gelmiştir; taban efüzitlerin üstünde yer yer linyitli, kalınlığı 400m'ye ulaşabilen kül-tüfit tabakaları tarafından temsil edilir,

c)- Pliosen: Kalınlığı 300m civarında anglomera - lardan ibarettir,

d)- Plio-Pleistosen: Genç andezit filonlarından meydana gelmiştir.

e)- Kuaterner: Oldukça önemli kalınlıklara sahip teras molozları ve alüvyonlar halinde görülür.

Havzayı linyit jeolojisi bakımından üç büyük alan halinde incelemek olasıdır.

a)- Çomaklı, Helvacı ve Yeniçeri yöreleri; Bazı yerlerde kalınlığı 15- 20m'ye ulaşabilen ortalama 2m kalınlığında bir damar bulunmaktadır. Havzanın güneyi çok faylanmış,

b)- Çan-Duraliağa yöresi: Linyitli formasyon 50m kalınlığa sahiptir. Havzanın doğusunda açık olarak işletilen bir damar bulunmaktadır. Batıda bu damar yatay olarak steril formasyonlara geçer,

c)- Bayatlı yöresi: Oldukça önemli bir rezerve sahiptir.

Çan -Duraliağa önemli bir rezerve sahip olup, açık işletme ile üretilebilecek toplam rezervi 115 milyon ton; kapalı işletme ile üretilebilecek toplam rezervi ise 13 milyon tondur.

3.6. Dodurga - Çorum Bölgesi

Dodurga kömür zuhurları, Çorum'un yaklaşık 40km kuzeybatısında, Dodurga-Alpagut ve Totusköy civarındadır. Sahanın stratigrafik dizilimi tavandan tabana doğru şöyledir.

- a)- Ku arterner: Çakıl, kum,
- b)- Pliyosen : Kumlu, çakıllar, killi kumtaşı, kil,
- c)- Miyosen : Marn, kil, linyit, andezit, konglomera
- d)- Lütesiyen :Alpagut konglomerası.

Linyit horizonunun yaşı genç olup Orta ve Üst Mi-yosen'dir. Linyit, siyah, parlak ve kolay kırılabilir-dir. En önemli damar üst damar olup 9.2m kalınlığındadır. Toplam rezervi 22 milyon tondur.

3.7. Gediz-Kütahya Bölgesi

Zuhurlar, Gökler köyünün 2 km, Sazköy'ün 3km kuzey-doğusundadır. Gediz bölgesindeki startigrafi tavandan tabana doğru aşağıdaki şekilde dizilim gösterir.

a)- Pliyosen: Derinliği 60 metreden fazla olan kısmın formasyonları kızıl-kahverengi miltaşı ve dağınık molozlar, tuf tabakaları ve bir bazalt örtüsü şeklindedir. 100m kadar kalker, marn formasyonu, saf limnik (kısmen milli marn, kil, katlı su kalker ve çakıl yumruları, mil) görüntüsündedir.

b)- Miyosen: 700 metreden fazla olan bu kesit klasik formasyon, limnik-flüviyatil (gri, sarımsı, gri, koyu gri marnlı miltaşı, kum ve konglomera, tavanda çoğunlukla gri, yeşilmisi ve kızılımsı mil) şeklindedir ve 15-75 m derinlikte kömür horizonu mevcuttur.

c)- Mesozoyik: Konglomera, kum, kil, kalker, serpantin, radyolarit,

d)- Paleozoyik: Gnays, şistler.

Kömürlü saha 6km uzunluğunda, 3 km genişliğindedir. aralarında kalınlığı 3-6 m arasında değişebilen bir sediman topluluğu bulunan iki damar vardır. Üst damar 1.15-1.50m, alt damar ise 1.0-1.5 m kalınlıktadır. Gediz linyiti sert ve parlaktır. Çalışmamızda kullanılmış olan örnekler arasında en yüksek ısı değerine ve en düşük nem içeriğine sahip olmasına karşın, kükürt içeriği en yüksek olan numunelerdendir. Bu kömür yatağının toplam rezervi 12.5 milyon tondur.

3.8. Ilgın-Konya Bölgesi

Ilgın-Konya arası yaklaşık 60 km'dir. Tabakalı kum, konglomera ve pliyosen marnları içinde yaklaşık 1.5 m kalınlığında humuslu bir tabaka oluşmuş ve içinde yumrulu marnlar ile 0.50m kalınlığında donuk bir linyit tabakası meydana gelmiştir. Yatay yönde değişik kalınlıklara görülmektedir. Zuhur yerel olarak önem taşımaktadır ve toplam rezervi 10 milyon tondur.

3.9. Mengen-Bolu Bölgesi

Bu bölge Bolu'nun 50km kuzeydoğusundadır. Kömür burada üç damar halindedir. Toplam kömür kalınlığı 1.5-3.0m arasında değişmektedir. Bölgede Kuzgölköy, Seyreköy, Göçesu, Hızardere gibi işletmeye uygun olmayan küçük damarlar vardır. Toplam rezervi 20 milyon ton olan ve yayılım alanı 8 km² olan Mengen Linyiti, 1981 yılında 0.123 milyon ton kadar üretilebilmiştir. Jeolojik yaşı Orta Eosen olarak belirlenmiş olan bu linyit siyah renklidir. Çalışmamızda kullanılmış olan linyit örnekleri içerisinde en yüksek kükürt içeriğine sahip olandır. Türk linyitleri içerisinde oldukça yüksek bir ısı değere sahiptir.

3.10. Mihalıççık-Eskişehir Bölgesi

Mihalıççık-Eskişehir'e 100km uzaklıktadır. Kömürün yayılım alanı yaklaşık olarak 29km²'dir. Linyit yatağının özellikleri:

- a)- Kömürün kalınlıkları: en az 1.00m
: en çok 5.60m
ortalama 2.24m

b)- Kömürün derinlikleri : en az 22.10m
: en çok 366.45m
ortalama 187.00m

Bölge 1982 yılı itibariyle 57.40 milyon ton görünür ve 33.40 milyon ton üretilebilir rezerve sahiptir. Kapalı işletme yöntemiyle üretim yapılmaktadır.

3.11. Milas-Muğla Bölgesi

Sekköy zuhuru Ören'e yaklaşık 17km uzaklıktadır. Kömür kapsayan tabakalar doğudaki havza kenarında bir fayla sınırlanmış olup, kuzeyde havza kenarında bulunmaktadır. Sahanın tümü içinde pek az kaymış ve kıvrılmış bir fay tektoniği hüküm sürmüştür. Kömür kapsamlı sahanın güney kenarında yaklaşık 8m kalınlığında damar içinde kömür açık işletme ile üretilmektedir. Kömür tabakaları çoğunlukla ince tabakalı, bol bitki ve odun artıklı yumuşak linyitten oluşmuştur. Bunlar genellikle hafif killi veya kil ve tatlı su molüskleri bakımından zengindir. Bölgenin toplam rezervi 44 milyon tondur.

3.12. Orhaneli-Bursa Bölgesi

Orhaneli yerleşme merkezinin batısına düşen Burmu kömür havzasında Neojen öncesi kayalar şistlerden ve volkanik kayalardan ibarettir. Neojene dahil edilen gökeller Alt-Orta Miyosen yaşlı kaide konglomeralarından sonra gelen kömürlü marn ve tüfit horizonundan oluşmuştur. Daha üstte Pliosen'de meydana gelmiş volkanik kökenli kayalar vardır. Kömürün yaşı Mio-Pliosen'dir. Bu bölgede üretilen kömür sert ve kaliteli bir linyittir. 58.16 milyon ton toplam rezerve sahiptir.

3.13. Seyitömer -Kütahya Bölgesi

Seyitömer yaklaşık 24 km'lik bir yol ile Kütahya'ya bağlıdır. Seyitömer sahası yaklaşık 500 km² büyüklüğünde ve genç Tersiyer'e ait bir havza olup, Tunçbilek ve Soma sahalarının yanısıra Batı Türkiye'nin en önemli linyit zuhurlarını kapsar. Bölgenin stratigrafik oluşumu tavandan tabana doğru şöyledir.

a)- Pliyosen-Miyosen 100 metreden fazla bir derinliğe sahiptir; limnik formasyon, marn, kalker, tüfit ve tuf diyatomit, tatlı su kalker ve içinde honsteyn katkısı,

b)- Miyosen: 12 metreye kadar olabilen bir derinliğe sahiptir. Üst damar horizonu limnik formasyon (açık gri kalker, marn, kil diyatomit), 22 metre derinliğe kadar anadamar horizonu; 100 metreden fazla bir derinliğe kadar limnik fluviyatil formasyon (tabanda çoğunlukla konglomera ve kızıl-gri ile gri kumtaşı, tavana doğru mil taşı ve kil) görülür.

Saha nispeten sakin tabakalanma göstermektedir. Çok sayıda arataş katları ile 22m kalınlığa erişen linyit kapsayan anadamar horizonu, ekonomik bakımdan büyük önem taşır; buna karşın, humuslu üst damar 0.2-1.0 m kalınlığında kömür içermektedir. Seyitömer kömürü yumuşak linyit karakterindedir. Anadamarın en alttaki 5.0-6.0 m'lik kısmı çok küllüdür. Batıya gidildikçe kül ve arataş miktarının arttığı görülmektedir. Seyitömer linyiti 227.2 milyon tonluk toplam rezerve sahiptir.

3.14. Soma-Manisa Bölgesi

Türkiye'nin en önemli kömür yataklarından birine sahip olan Soma, Merkez (Işıklar) , Deniz, Bakırçay ve Önen linyit zuhurlarını içermektedir. Alt Miosen yaşı verilen bu kömür siyah renkli ve parlaktır. Ekonomik açıdan çok değerli olan anadamar 10-15m kalınlığındadır.

180 milyon ton toplam rezerve sahip olan Soma bölgesi linyitli*koklaşma özelliği gösterir. Isıl değer açısından ülke linyitleri içinde önemli bir yeri vardır.

3.15. Tepebaşı - Konya Bölgesi

Tepebaşı bölgesi Konya'dan yaklaşık 200 km uzaklıktadır. Kömür yatağının özellikleri şöyledir.

a)- Kömür kalınlıkları; en az 0.82m
en çok 5.72m
ortalama 3.50m

b)- Kömür derinlikleri; en az 22.55m
en çok 112.55m
ortalama 67.00m

Saha açık ve kapalı olarak işletilmekte ve 6.2 milyon ton'luk toplam rezerve sahiptir.

3.16. Tınaz - Muğla Bölgesi

Tınaz köyü 6 km'lik bir yolla Muğla - Yatağan asfaltına bağlıdır. Tınaz-Muğla arası yaklaşık 20 km'dir. Tınaz'dan yaklaşık 1.0-1.5 km genişliğinde ve 3 km uzunluğunda bir Neojen şeridi, Haramipınar'ın güneyinde güneybatıya uzanmaktadır ve çepeçevre faylarla sınırlanmıştır. Havzada 7.2 ve 15.3 m kalınlığında iki damar bulunmaktadır. Damar kalınlığı kuzeydoğu ve güneybatıya doğru artmaktadır. Saf kömür ancak 3 m kalınlığındadır. Linyit kömür damarının örtüsü kuzeydoğuda 5-8m, güneybatıda 150-170metredir. Kül ve nem içeriği oldukça yüksek olup, 27.23 milyon ton'luk toplam rezerv ve sahiptir.

3.17. Karakaya - Tekirdağ Bölgesi

Havza dolgusu, birkaç bin metre kalınlığında karasal limnik flüvyatil ve somatr denizel karakterli molas tabakalarından meydana gelmiştir. Bölgedeki kömür yatakları, Oligosen yaşlıdır. Kömür damarlarının kalınlıkları 0.50-5.47 m arasında değişmektedir. Bölgenin toplam linyit rezervi 207 milyon ton'dur.

3.18. Tunçbilek - Kütahya Bölgesi

Tunçbilek linyiti Tavşanlı'nın batı ve kuzeyindeki genişçe bir alana 70-90 m kalınlığındaki tek bir damar halinde yayılmış bulunmaktadır.

Havzanın stratigrafik dizilimi tavandan doğru şöyledir:

a)- Pliyosen: Çakıllı kalker serisi 250 metre derinliğe kadar sürmekte, Tüf-marn ve bazalt serisi en azından 300 m derinliğe kadar görülmektedir.

b)- Miyosen: Tatlı su kalkerı serisi 100m; kil marn formasyonu 300 m; kömür horizonu 20 metreye kadar bazalt serisi 100m.

Kömür horizonunun kapsadığı jeolojik damarın 7m kalınlığı bulunmaktadır. Damarda çok sayıda killi marnlı arataşı vardır. Bu bölgede üretilen kömür sert ve parlaktır. Tunçbilek havzasının toplam rezervi 253 milyon ton'dur.

3.19. Yatağan-Muğla Bölgesi

Zuhur Yatağan'a yaklaşık 8 km uzaklıktadır. Eski-hisar Neojen bloku, batı, doğu ve güneyden faylarla sınırlanmıştır.

Kömür üst Miyosen yaşlıdır. Kömür üç yörede mevcuttur: 1)- Eski-hisar'da 2.5 km²lik bir alanda ortalama 11m kalınlıkta bir kömür damarı mevcuttur; 2)-Bağcılar da 3.5 km²'lik bir alanda ortalama 4 m kalınlıkta bir kömür damarı vardır; 3)-Taşkesik'de ise 4 km²'lik bir alanda ortalama 1 m kalınlıkta bir kömür damarı bulunur. Bu bölgenin kömürü hafif killi, yumuşak linyitten ibarettir. Kömür yatağında ince arataş tabakaları mevcuttur. Yatağın büyük bir kısmının açık işletmeye alınması mümkündür. Bölgenin toplam rezervi 130 milyon tondur.

3.20. Merzifon - Amasya Bölgesi

Merzifon ilçesi Çeltek Köyü'nün 1 km kuzeyindeki Samsun-Amaysa yolu üzerinde bulunan bu bölgedeki Alt-Orta Eosen yaşlı çeltek linyit havzasın gösterdiği kay-yağ yapısı şöyledir.

a)-Tavan: Armutlu Serisi: Birkaç yüz metre andezit, tufit, fliş, yukarı Çeltek Serisi: yaklaşık 80m kalınlıkta kumtaşı ve şistli marn.

Aşağı Çeltek Serisi: yaklaşık 120-140m kalınlıkta kumtaşı, konglomera, kalkerli marn ve killi şistler,

b)- Taban: Mesozoyik kalkerler.

Halen Eski ve Yeni Çeltek çevresinde işletilmekte olan linyit damarı 1.5-2.5m kalınlığında ve kıvrımsızdır. Bu yörede üretilen linyit kömürü kaba parçalı, sıkı, parlak ve yüksek kalitelidir. Ekonomik bakımdan önemli olan bu bölgede çeşitli etüdler yapılmak suretiyle muhtemel rezervin 2.5 milyon ton, mümkün rezervin ise 1.5 milyon ton olduğu belirlenmiştir. Bölgedeki zuhurlar Kelleci Hanı, Diphacı köy, Aşağı ve Yukarı Şamba köyleridir. Bu bölgede üretilen linyit kömürü içeriğinin diğer bölgelere oranla az ve ısı değeri yüksek oluşu nedeniyle ülkemiz linyitleri içinde önemli bir yere sahiptir.

3.21. Sorgun-Yozgat Bölgesi

Sorgun, Yozgat'a yaklaşık 38 km mesafededir. Yaklaşık 100 km² büyüklüğündeki Sorgun Tersiyer havzası tavandan-tabana doğru aşağıdaki stratigrafik dizilimi göstermektedir.

- a)- Pliyosen: Karasal oluşumlardan ibarettir,
- b)- Orta ve üst Eosen: Kumtaşı ve marnlardan oluşmuştur.
- c)- Alt Eosen: Kömür damarlarını kapsar.
- d)- Mesozoyik : Kalker ve marnlar.

Kömür kalınlığının en fazla olduğu alan sahanın doğu kesiminde 0.5 km² büyüklüğündedir, daha güneydeki kalınlıklar 0.5-0.9 metreden ibarettir. Bölgede iki damar bulunmaktadır. 4.5-13.0m kalınlığında bir arataş ile birbirinden ayrılan bu damarlardan alttaki 2 m, üstteki ise 1m kalınlığındadır. Bölge 20 milyon ton'luk toplam rezerve sahiptir. Kül ve nem içerikleri oldukça düşük olduğu gibi çalışmamızda kullandığımız linyit örnekleri arasında en yüksek ısı değere sahip olan kömürlerdir.

3.22. Yeniköy-İstanbul Bölgesi

Bu kömür yatağı Karaburun-Terkos yoluna 4 km mesafededir. Yöredeki stratigrafik istifleme şöyledir.

- a)- Pleyistosen: Moloz terasları,
- b)- Alt Pliyosen: Kalker ve kalkerli marn tüf horizonu, kumtaşı ve marn horizonu,
- c)- Oligosen: Linyit kömür zuhularının çoğunun kalınlığı 0.3-2.0 m arasında değişmektedir.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Kullanılan Linyit Kömürü Numunelerine Uygulanan Analizler

Deneysel çalışmalar süresince kullanılmış olan ve ülkemizin 24 değişik yöresinden kaynaklanan tuvenan linyit numunelerine nem [41] , uçucu madde [42], kül [43] ve ısı değer [44] tayinleri yapılmış, bulunan değerler kuru ve kuru-külsüz temelde olmak üzere Tablo 4.1 de gösterilmiştir.

Linyit numunelerinin saptanmış olan nem içerikleri % 1.32-35.25; kuru temeldeki kül içerikleri % 7.61-43.29 uçucu madde içerikleri % 24.95-55.02, üst ısı değerleri ise 15.63-30.37 MJ/kg arasında değişmektedir. Görüldüğü gibi, bu çalışmada kullanılmış olan kömür numunelerinin kısa analiz sonuçları geniş aralıklarda değişmektedir.

4.2. Linyit Numunelerinin Isıl Değerleri İle Kısa Analizleri Arasındaki İlişkiler

Aynı yaştaki kömürlerin ısı değerleri ile kısa analiz sonuçları arasında iyi bir ilişki olması beklenebilir; çünkü bir kömürün ısı değeri yaşına ve içerdiği anorganik madde miktarına bağlıdır.

Bu çalışmada yer alan 24 linyit kömürünün oksijen kalorimetre bombasında saptanmış olan üst ısı değerleri ile kuru temeldeki kül içerikleri arasındaki ilişki Şekil 4.1'de görülmektedir. Linyit numunelerinin üst ısı

TABLO: 4.1. K  m  r Numunelerinin Kısa Analiz Sonu  ları

Numune kodu	Nem	Kuru Temel				Kuru-Külsüz Temel				
		Kül (%)	S.K. (%)	U.M. (%)	Ü.I.D. (MJ/kg)	A.I.D. (MJ/kg)	S.K. (%)	U.M. (%)	Ü.I.D. (MJ/kg)	A.I.D. (MJ/kg)
L-1	8.97	33.96	27.72	38.32	15.63	14.81	41.97	58.03	23.67	22.42
L-2	4.05	43.29	31.76	24.95	18.10	17.39	56.00	44.00	31.92	30.67
L-3	24.43	33.80	18.24	47.96	16.47	15.65	27.55	72.45	24.88	23.64
L-4	10.03	11.96	43.48	44.56	27.02	25.92	49.39	50.61	30.69	29.44
L-5	11.31	12.92	45.31	41.77	25.00	23.92	52.03	47.97	28.71	27.47
L-6	17.92	17.62	41.40	40.98	23.74	22.92	50.25	49.75	28.82	27.82
L-7	25.32	12.92	32.06	55.02	23.92	22.84	36.82	63.18	27.47	26.23
L-8	28.02	11.14	34.83	54.03	23.16	22.06	39.20	60.80	26.06	24.82
L-9	1.32	14.22	47.47	38.31	29.98	28.91	55.34	44.66	34.95	33.70
L-10	29.29	29.50	22.93	47.57	19.05	18.18	32.52	67.48	27.02	25.79
L-11	6.58	7.61	40.50	51.89	26.78	25.64	43.85	56.15	28.99	27.75
L-12	23.67	36.04	26.54	37.42	17.43	16.64	41.49	58.51	27.25	26.02
L-13	28.04	36.70	8.73	54.57	16.28	15.49	13.79	86.21	25.72	24.47
L-14	26.84	8.58	39.37	52.05	24.08	22.94	43.07	56.93	26.34	25.10
L-15	29.19	20.86	27.50	51.64	19.85	18.87	34.75	65.25	25.08	23.84
L-16	14.16	14.27	41.76	43.97	23.83	22.77	48.71	51.29	27.80	26.56
L-17	16.80	20.87	32.12	47.01	20.12	19.13	40.59	59.41	25.43	24.18
L-18	29.35	23.06	23.76	53.18	19.69	18.73	30.88	69.12	25.59	24.34
L-19	13.47	12.99	43.79	43.22	23.09	22.01	50.33	49.67	26.54	25.30
L-20	11.18	30.22	37.93	31.85	21.51	20.64	54.36	45.64	30.82	29.58
L-21	35.25	25.61	20.21	54.18	17.45	16.52	27.17	72.83	23.46	22.21
L-22	7.46	27.77	40.03	32.20	22.43	21.53	55.42	44.58	31.05	29.81
L-23	8.11	9.04	53.34	37.62	30.37	29.24	58.64	41.36	33.39	32.15
L-24	26.40	21.48	32.23	46.29	20.35	19.38	41.05	58.95	25.92	24.68

değerleri içerdikleri kül miktarı ile ters orantılı olarak artmaktadır. Regresyon analizi sonucunda saptanmış olan eğri denklemi şu şekildedir (H_s =Üst ısı değer).

$$H_s = 32.62 - 0.71 \cdot (Kül) + 0.008 \cdot (Kül)^2 \quad (4.1)$$

Linyit numunelerinin (4.1) no'lu denklemden yararlanılarak hesaplanmış olan ısı değerleri, ölçülmüş olan ısı değerleri ile kıyaslandığında ortalama hatanın % 7.56, maksimum hatanın ise % 19.47 olduğu saptanmıştır. Regresyon katsayısı 0.85 olarak hesaplanmıştır.

Linyit kömürlerinin üst ısı değerlerinin, kuru temelde hesaplanmış olan uçucu madde ve kül içeriklerinin toplamı ile değişimi de incelenmiştir. Şekil 4.2'de görülen regresyon eğrisinin denklemi şöyledir:

$$H_s = 76.56 - 1.30 \cdot (U.M.+Kül) + 7.03 \cdot 10^{-3} \cdot (U.M.+Kül)^2 \quad (4.2)$$

(4.2) no'lu denklemden yararlanılarak hesaplanmış olan üst ısı değerler için ortalama hata % 6.34, maksimum hata ise % 21.20 dir. Regresyon katsayısının 0.91 olduğu saptanmıştır. Üst ısı değerinin hesaplanmasında kömürün kül içeriğine ilaveten uçucu madde içeriğinden de yararlanmak, ortalama hatanın % 7.56'dan % 6.34'e düşmesini sağlamıştır. Regresyon katsayısı ise 0.85'ten 0.91'e çıkmıştır.

Üst ısı değerinin kömürün kuru temeldeki uçucu madde içeriğinden yararlanılarak hesaplanması denendiğinde ortalama hatanın % 14 gibi yüksek bir değere ulaştığı saptanmıştır. Hata oranının böyle yüksek bir değere

ulaşmasının nedeni, muhtemelen, uçucu madde içerikleri saptanırken linyit numunelerinin karbonat içeriklerinin göz önüne alınmamış olmasıdır. Bilindiği gibi, uçucu madde tayini sırasında kömürün içerdiği karbonatların parçalanması sonucu çıkan CO_2 ağırlık kaybına neden olmakta ve uçucu madde içeriği olduğundan fazla olarak saptanmaktadır. Bu nedenle, karbonat içeriği fazla olan kömürlerin analiz sonucu saptanmış olan uçucu madde değerlerinde düzeltme yapılmalıdır.

Üst ısı değerinin kömürün kuru-külsüz temeldeki uçucu madde içeriği ile oldukça iyi bir ilişki içinde olduğu saptanmıştır. Şekil 4.3'te görülen ve regresyon analizi sonucu çizilmiş olan eğrinin denklemi şöyledir:

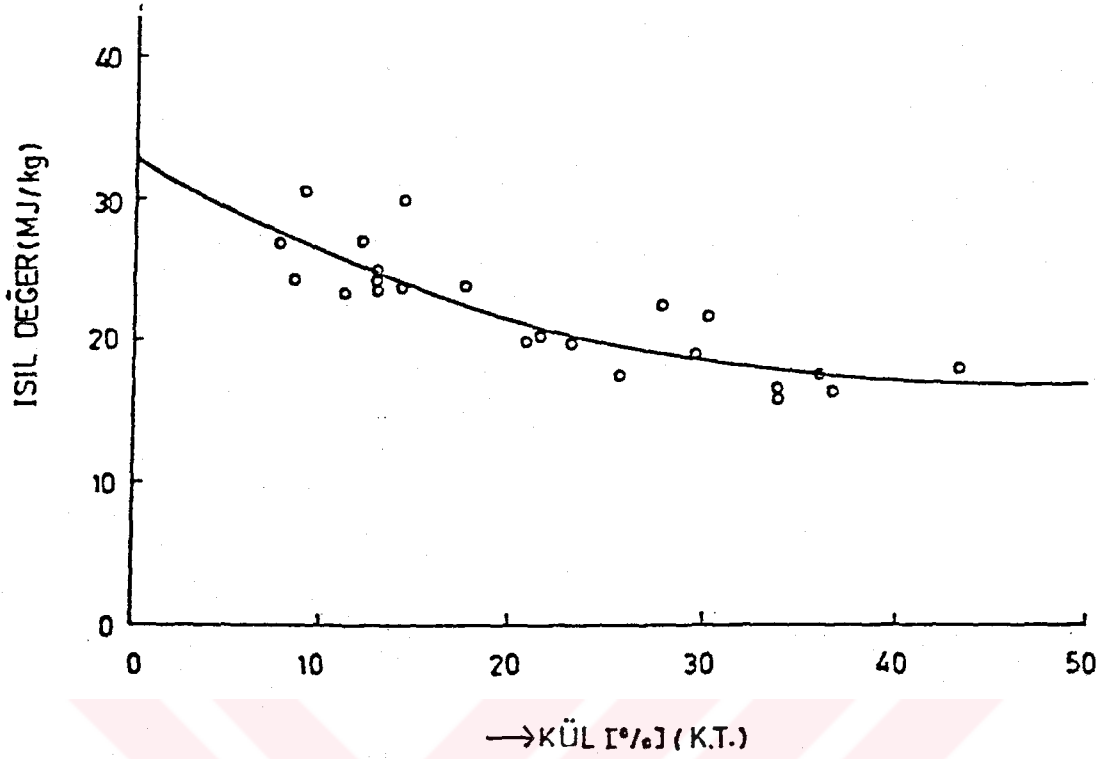
$$H_g = 69.68 - 1.23 \cdot (U.M.) + 0.0084 \cdot (U.M.)^2 \quad (4.3)$$

(4.3) no'lu denklemden yararlanılarak hesaplanmış olan üst ısı değerleri, ölçüm sonuçları ile kıyaslandığında ortalama hatanın % 3.91, maksimum hatanın ise % 11.10 olduğu saptanmıştır. Regresyon katsayısı 0.87 olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi, kömürün uçucu madde içeriğinin kuru-külsüz temelde hesaplanarak üst ısı değeri ile ilişkisinin araştırılması ortalama hatanın % 14'ten % 3.91'e düşmesini sağlamıştır.

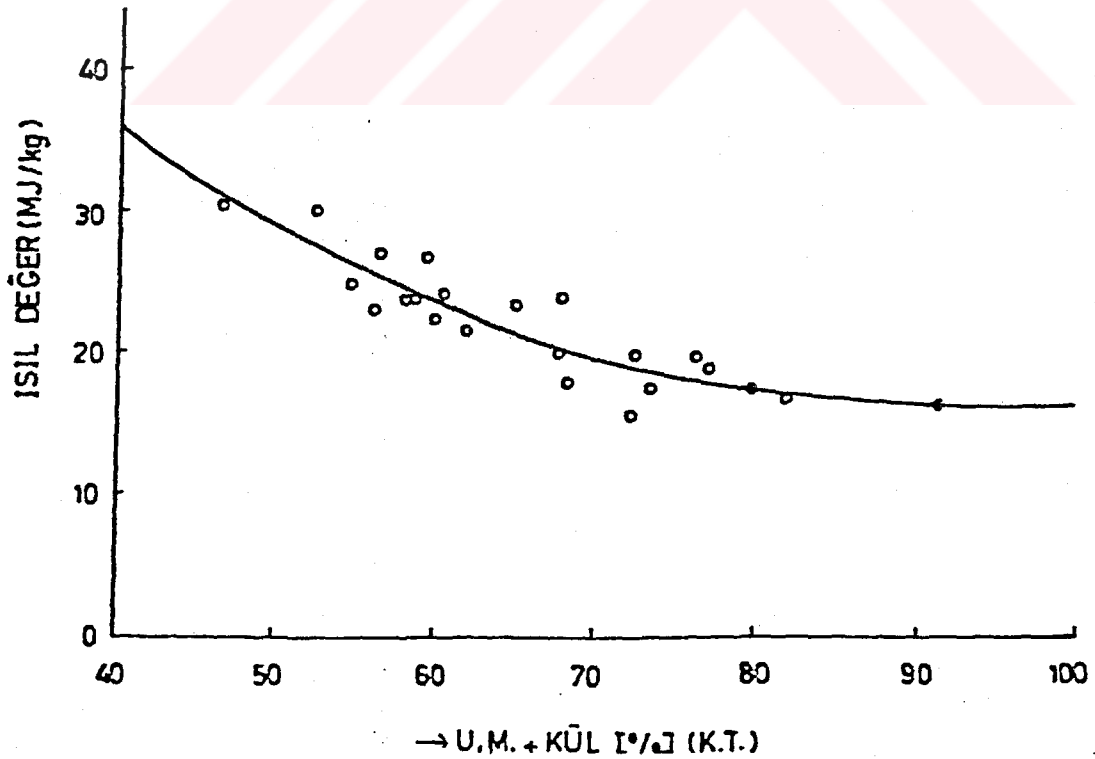
Linyit numunelerinin üst ısı değerlerinin, kül ve nem içeriklerinin toplamı ile olan ilişkisi şekil 4.4'te görülmektedir. Regresyon analizi sonucu saptanmış olan doğrunun denklemi aşağıdaki gibidir.

$$H_g = 32.87 - 0.3075 \cdot (Kül + Nem) \quad (4.4)$$

(4.4) no'lu doğru denkleminde hesaplanmış olan üst ısı değerleri ölçüm sonuçları ile kıyaslandığında ortalama hatanın % 5.93 olduğu belirlenmiştir. Regresyon katsayısı ise 0.92 olarak hesaplanmıştır.



ŞEKİL: 4.1. Linyit Numunelerinin Üst Isıl Değerlerinin Kül İçerikleri İle Değişimi
(K.T.= Kuru Temel)



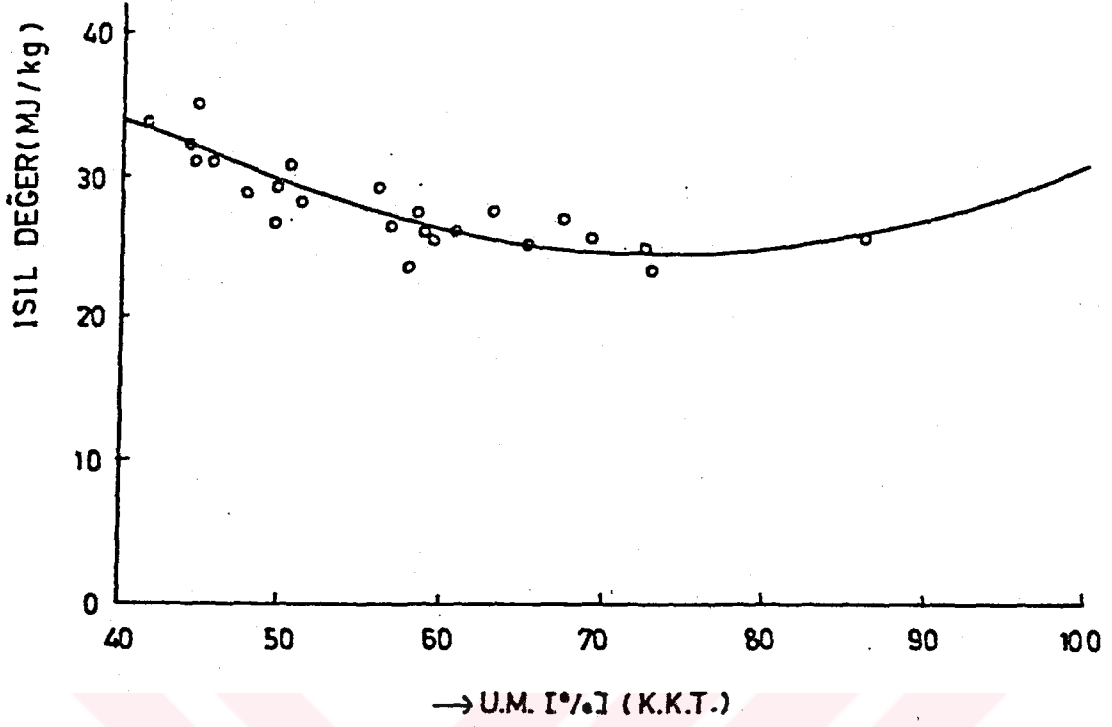
ŞEKİL: 4.2. Linyit Numunelerinin Üst Isıl Değerlerinin Uçucu Madde ve Kül İçeriklerinin Toplamı İle Değişimi.

Türk linyitlerinin ısı değerlerinin kısa analiz sonuçları yardımıyla hesaplanabilirliklerini araştırdığımız bu çalışmamızda türetmiş olduğumuz denklemlerden hesaplananlar ölçüm sonucu saptanmış olan ısı değerler ile kıyaslandıklarında getirdikleri hatalar Tablo 4.2'de belirtilmiştir. Görüldüğü gibi, türetilmiş ola formüllerden hesaplanan üst ısı değerlerin getirdiği ortalama hatalar % 3.78-7.56 arasında değişmektedir. Kömürün ısı değerinin ölçülerek saptanması sırasında söz konusu olan hata kaynaklarının çeşitliliği düşünüldüğünde kısa analiz sonuçlarına dayanan hesaplamalardan kaynaklanan % 4 civarındaki ortalama hatanın önemli boyutlarda olmadığı sonucuna varılabilir.

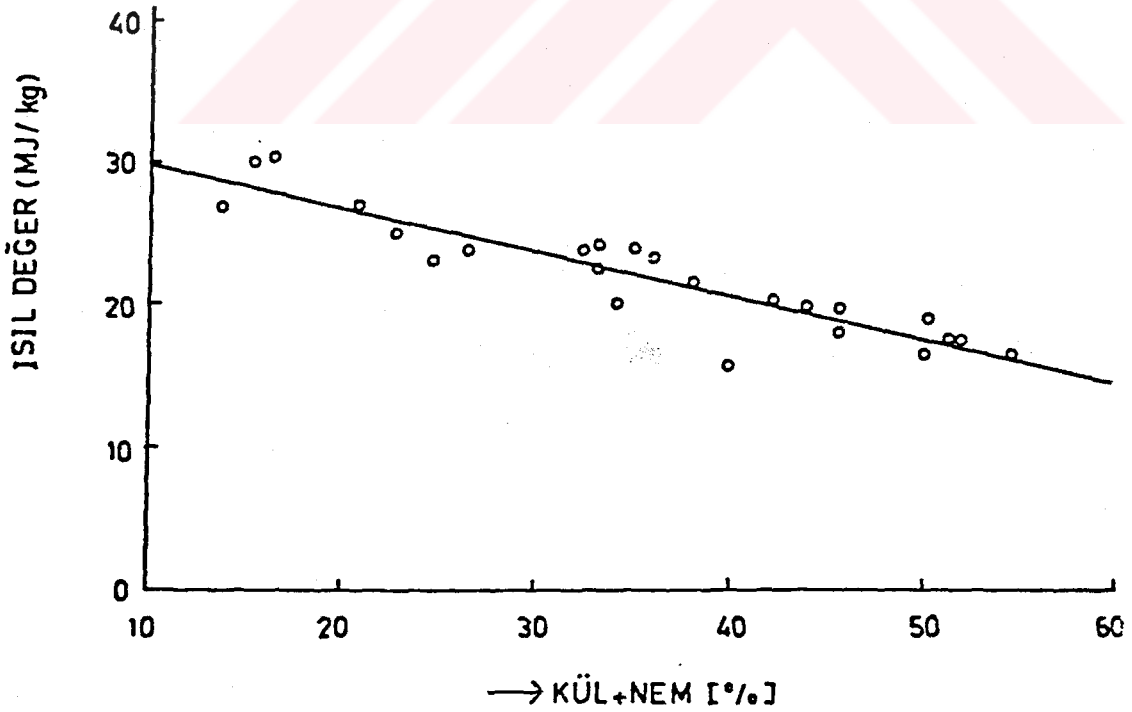
Urkan ve Arıkol [45] da türettikleri bir formül ile 27 Türk linyitinin üst ısı değerlerini % 4.1'lik ortalama ve % 14.2'lik maksimum hata ile hesaplanmışlardır.

$$H_g (\text{MJ/kg}) = (39.821 \cdot X^2 - 80.861 \cdot X + 58.378) \cdot [1.0 - 0.01 \cdot (K_{\text{Ül}} + N_{\text{em}})] \quad (4.5)$$

$$X = (U.M.) / (U.M. + S.K.) \quad (4.6)$$



ŞEKİL: 4.3. Linyit Numunelerinin Üst Isıl Değerlerinin Kuru-Külsüz Temeldeki Uçucu Madde İçerikleri İle Değişimi



ŞEKİL: 4.4. Linyit Numunelerinin Üst Isıl Değerlerinin Kül ve Nem İçeriklerinin Toplamı İle Değişimi.

TABLO: 4.2. Linyit Numunelerinin Üst Isıl Değerlerini Kısa Analiz Sonuçlarından Yararlanarak Hesaplamak Amacıyla Türetilmiş Olan Denklemler ve Getirdikleri Hatalar.

$H_s = - 14.326 + 0.451 \cdot (U.M.) + 0.0084 \cdot (S.K.)^2$	Regresyon katsayısı: 0.87, Ortalama hata(%)=3.91.
	Maksimum hata(%)=12.48
$H_s = 28.135 - 0.175 \cdot (S.K.) + 7.777 \cdot 10^{-5} \cdot (S.K.)^3$	Regresyon katsayısı: 0.88 Ortalama hata(%)= 3.78
	Maksimum hata(%)=12.05
$H_s = - 53.267 + 1.230 \cdot (S.K.) + 0.0084 \cdot (U.M.)^2$	Regresyon katsayısı : 0.87 Ortalama hata(%) 3.91
	Maksimum hata(%) = 12.47
$H_s = - 227.651 + 3.408 \cdot (S.K.) + 0.0438 \cdot (U.M.)^2 - 1.860 \cdot 10^{-4} \cdot (U.M.)^3$	Regresyon katsayısı: 0.88
	Ortalama hata(%)=3.87; Maksimum hata(%)=12.11
$H_s = - 11.213 + 0.702 \cdot (S.K.) + 4.238 \cdot 10^{-5} \cdot (U.M.)^3$	Regresyon katsayısı: 0.87 Ortalama hata(%)=4.01
	Maksimum hata(%)=12.78
$H_s = 0.208 + 0.710 \cdot (U.M.) - 0.0047 \cdot (U.M.)^2 - 0.0073 \cdot (S.K.)^2 + 1.859 \cdot 10^{-4} \cdot (S.K.)^3$	
	Regresyon katsayısı: 0.88 Ortalama hata(%)= 3.84 Maksimum hata(%)=11.88
$H_s = 32.62 - 0.71 \cdot (Kül) + 0.008 \cdot (Kül)^2$	Regresyon katsayısı: 0.85 Ortalama Hata(%)= 7.56;
	Maksimum hata(%)= 19.47
$H_s = 76.56 - 1.30 \cdot (U.M.+Kül) + 7.03 \cdot 10^{-3} \cdot (U.M.+Kül)^2$	Regresyon katsayısı: 0.91 Ortalama hata(%)= 6.34
	Maksimum hata(%)= 21.20
$H_s^* = 69.68 - 1.23 \cdot (U.M.) + 0.0084 \cdot (U.M.)^2$	Regresyon katsayısı: 0.87 Ortalama hata(%)= 3.91
	Maksimum hata(%)= 11.10
$H_s^{**} = 32.87 - 0.3075 \cdot (Kül+Nem)$	Regresyon katsayısı: 0.92 Ortalama hata(%)= 5.93, Maksimum hata(%)=31.83

* Uçucu madde kuru-külsüz temelde

**Kül ve nem içerikleri orijinal kömürde

4.3. Türetilmiş Olan Denklemlerin Literatürdeki Verilere Uygulanması

Türk linyitleri kullanılarak gerçekleştirilmiş başka araştırmalardan [46 ,47] derlenmiş olan 26 linyit kömürüne ait kısa analiz sonuçları ile üst ısı değerleri Tablo 4.3'te görülmektedir.

Tablo 4.3'ten anlaşılacağı üzere, Türk linyitlerinin ısı değerlerinin kısa analiz sonuçlarından yararlanılarak hesaplanmasına yönelik olarak bu çalışmada türetilmiş olan formüller özellikleri oldukça geniş bir aralıkta değişen linyitlere uygulanmıştır.

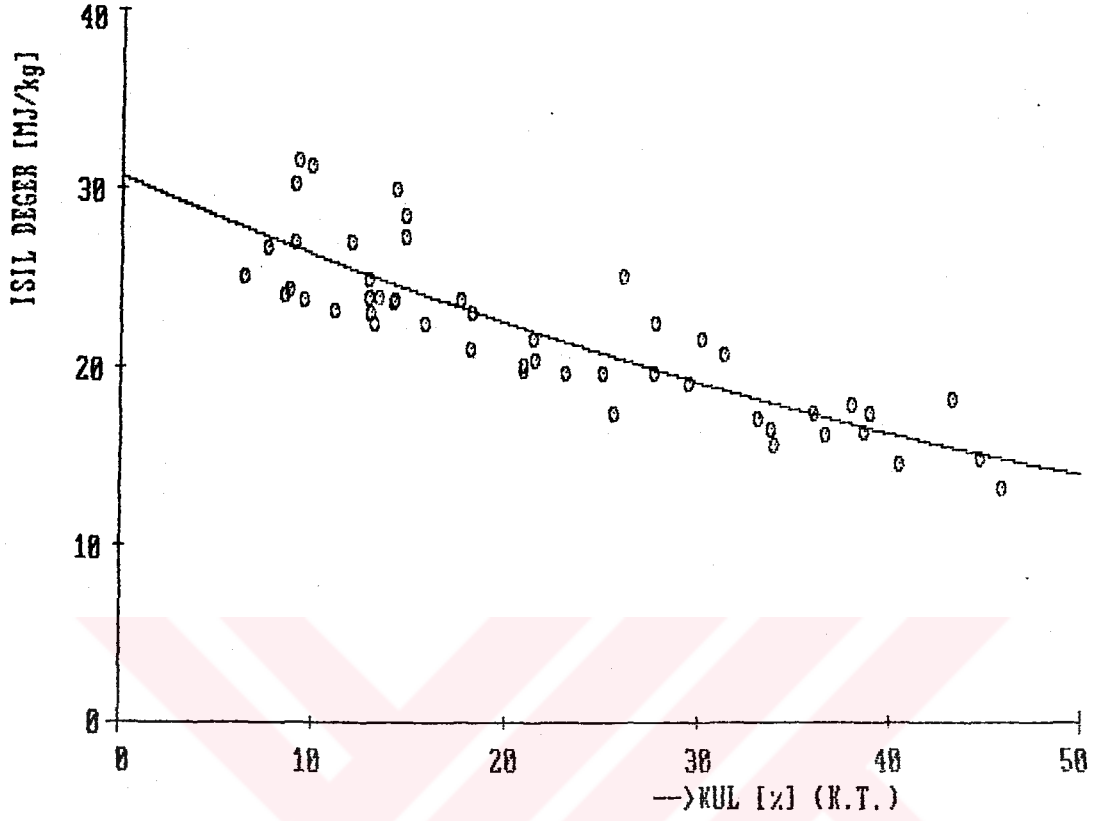
Bu çalışmada yer alan 24 (Tablo 4.1) ve kısa analiz sonuçları literatürden alınmış olan (Tablo 4.3) 26 Türk linyitinin ölçme sonucu saptanmış olan üst ısı değerleri ile kuru temeldeki kül içerikleri arasındaki ilişki Şekil 4.5'te görülmektedir. Bu çalışma çerçevesinde kısa analizleri yapılmış olan linyit kömürü numunelerinin kuru temeldeki kül içerikleri ile üst ısı değerleri arasında var olduğunu saptamış olduğumuz ilişki, kısa analiz sonuçları literatürden alınmış olan diğer Türk linyitleri için de geçerlidir. Şekil 4.5'te görülen ve regresyon analizi sonucu saptanmış olan eğrinin denklemi şu şekildedir:

$$H_s = 30.35 - 0.43 \cdot (Kül) + 0.002 \cdot (Kül)^2 \quad (4.7)$$

50 Türk linyitinin (4.7) no'lu denklemden yararlanılarak hesaplanmış olan ısı değerleri ölçülmüş olan ısı değerleri ile kıyaslandığında ortalama hatanın % 8.16, maksimum hatanın ise % 18.67 olduğu saptanmıştır. Regresyon katsayısı ise 0.85 'dir. Bu çalışmada yer alan 24 linyit için saptanmış olan regresyon katsayısı da 0.85 olarak hesaplanmıştır (Bölüm 4.2).

TABLO: 4.3. Diğer Araştırmalarda Veri Alan Türk Linyitlerine Ait Kısa Analiz Sonuçları
ile Üst Isıl Değerler [45,46].

NUMUNE KODU	NEM [%]	K U R U T E M E L				K U R U K Ü L S Ü Z T E M E L			
		KÜL [%]	U.M. [%]	S.K. [%]	Ü.I.D. MJ/kg	U.M. [%]	S.K. [%]	Ü.I.D. MJ/kg	
L- 25	0.30	9.90	31.00	59.10	31.40	34.41	65.59	34.85	
L- 26	0.10	9.20	32.70	58.10	31.60	36.01	63.99	34.80	
L- 27	4.80	14.80	30.80	54.40	28.60	36.15	63.85	33.57	
L- 28	5.30	26.10	30.50	43.40	25.10	41.27	58.73	33.96	
L- 29	2.50	14.80	38.70	46.50	27.40	45.42	54.58	32.16	
L- 30	16.90	9.10	41.20	49.70	27.00	45.32	54.68	29.70	
L- 31	18.80	38.10	31.40	30.50	17.80	50.73	49.27	28.76	
L- 32	17.20	39.00	30.40	30.60	17.40	49.84	50.16	28.52	
L- 33	14.70	18.20	37.70	44.10	23.10	46.09	53.91	28.24	
L- 34	34.00	14.20	47.90	37.90	23.70	55.83	44.17	27.62	
L- 35	11.90	13.40	42.80	43.80	24.00	49.42	50.58	27.71	
L- 36	15.30	6.50	46.00	47.50	25.20	49.20	50.80	26.95	
L- 37	15.00	8.80	44.90	46.30	24.40	49.23	50.77	26.75	
L- 38	8.50	25.00	42.70	32.30	19.70	56.93	43.07	26.27	
L- 39	39.90	15.80	42.30	41.90	22.50	50.24	49.76	26.72	
L- 40	10.50	13.20	50.00	36.80	22.50	57.60	42.40	25.92	
L- 41	35.10	9.60	49.90	40.50	23.80	55.20	44.80	26.33	
L- 42	33.70	18.10	46.90	35.00	21.00	57.26	42.74	25.64	
L- 43	10.80	45.90	29.10	25.00	13.30	53.79	46.21	24.58	
L- 44	9.90	40.50	31.00	28.50	14.60	52.10	47.90	24.54	
L- 45	20.80	31.40	30.70	37.90	20.70	44.75	55.25	30.17	
L- 46	15.10	27.70	37.80	34.50	19.60	52.28	47.72	27.11	
L- 47	21.40	38.70	32.40	28.90	16.40	52.85	47.15	26.75	
L- 48	31.00	21.40	41.20	37.40	21.60	52.42	47.58	27.48	
L- 49	26.80	33.10	33.60	33.30	17.10	50.22	49.78	25.56	
L- 50	22.10	44.70	32.20	23.10	14.80	58.23	41.77	26.76	

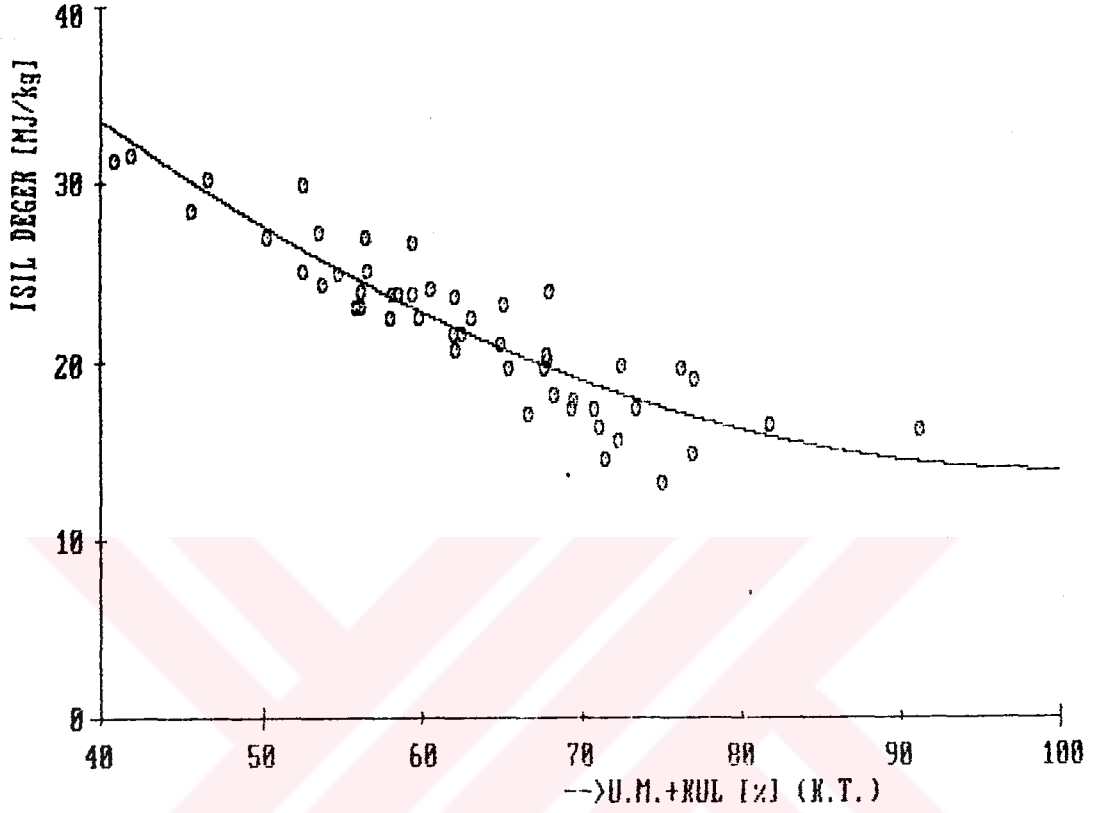


ŞEKİL: 4.5. 50 Türk Linyitinin Üst Isıl Değerlerinin KÜL İçerikleri İle Değişimi.

50 Türk linyitinin üst ısı değerlerinin, kuru temelde hesaplanmış olan uçucu madde ve kül içeriklerinin toplamı ile değişimini gösteren grafik Şekil 4.6'da görülmektedir; regresyon eğrisinin denklemi şöyledir.

$$H_s = 68.58 - 1.103 \cdot (KÜL + U.M.) + 0.0056 \cdot (KÜL + U.M.)^2 \quad (4.8)$$

(4.8) no'lu denklemden yararlanılarak hesaplanmış olan üst ısı değerler için ortalama hata % 7.30, maksimum hata ise % 30.60'dır; ancak, linyitlerden % 75'inin hesaplanmış olan üst ısı değerleri ölçülmüş olanlarla kıyaslandıklarında içerdikleri hata % 10'un altındadır. Regresyon katsayısı ise 0.89 olarak hesaplanmıştır.

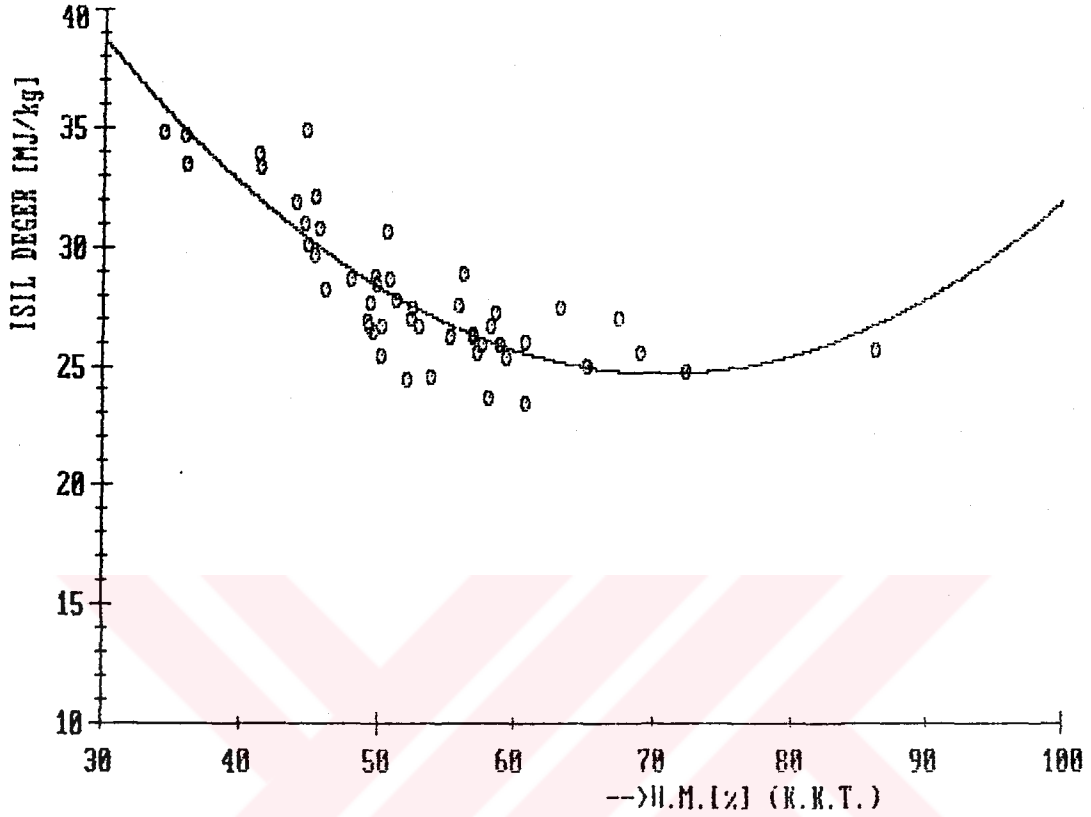


ŞEKİL: 4.6. 50 Türk Linyitinin Üst Isıl Değerlerinin Uçucu Madde ve Kül İçeriklerinin Toplamı İle Değişimi

50 Türk linyitinin orijinal ve kuru temellerdeki uçucu madde içerikleri ile üst ısı değerleri arasında önemli bir ilişki saptanamamıştır; regresyon katsayıları 0.22 gibi düşük değerlerde kalmıştır.

Buna karşın , linyitlerin kuru-külsüz temelde hesaplanmış olan uçucu madde içerikleri ile üst ısı değerleri arasında iyi bir ilişki olduğu görülmüştür. (Şekil 4.7), Şekil 4.7'de görülen eğrinin denklemi şu şekildedir:

$$H_s = 66.96 - 1.20.(U.M.) + 0.0085 \times (U.M.)^2 \quad (4.9)$$

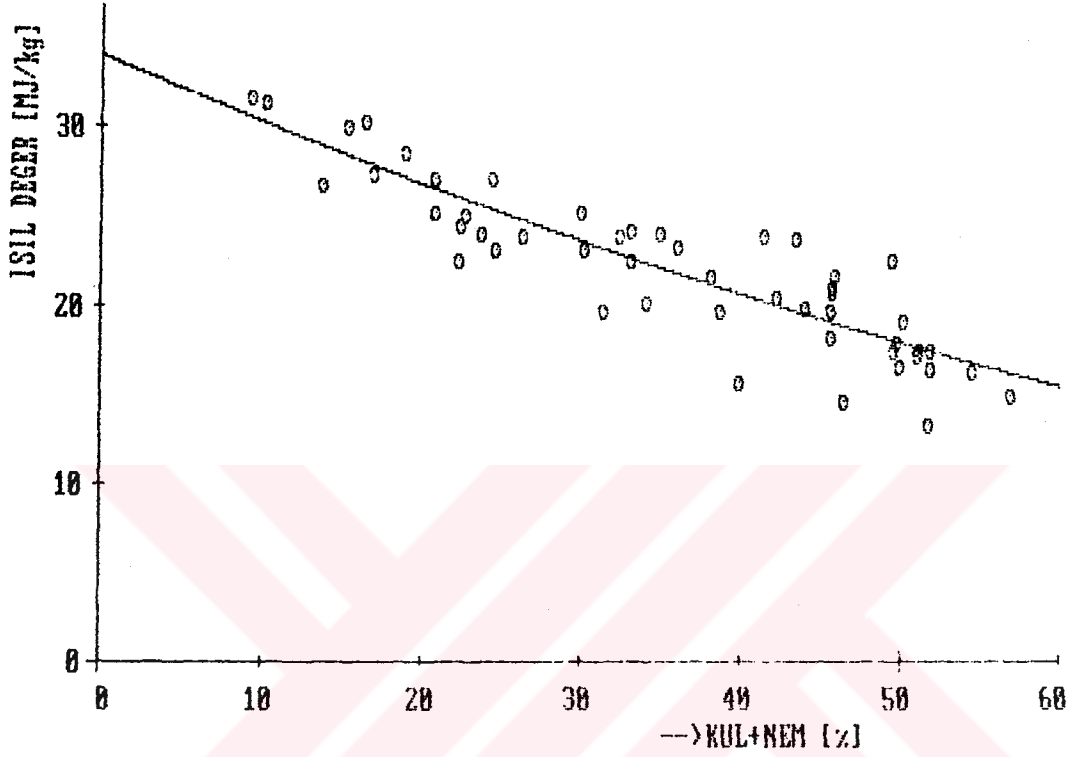


ŞEKİL: 4.7. 50 Türk Linyitinin Üst Isıl Değerlerinin Kuru-Külsüz Temeldeki Uçucu Madde İçerikleri İle Değişimi

Linyit numunelerinin (4.9) no'lu denklemden yararlanılarak hesaplanmış olan üst ısı değerleri, ölçülmüş olan üst ısı değerleri ile kıyaslandığında ortalama hatanın % 4.3, maksimum hatanın ise % 12.83 olduğu saptanmıştır. Regresyon katsayısı ise 0.86'dır.

50 Türk linyitinin üst ısı değerlerinin, kül ve nem içeriklerinin toplamı ile olan ilişkisi Şekil 4.8'de görüldüğü gibidir. Kömürlerin nem ve kül içerikleri arttıkça ısı değerleri azalmaktadır. Şekil 4.8'de görülen eğrinin regresyon analizi sonucu saptanmış olan denklemi aşağıdaki gibidir.

$$H_s = 34.05 - 0.39 \times (\text{Kül} + \text{Nem}) + 0.0013 \times (\text{Kül} + \text{Nem})^2 \quad (4.10)$$



ŞEKİL: 4.8. 50 Türk Linyitinin Üst Isıl Değerlerinin Kül ve Nem İçeriklerinin Toplamı İle Değişimi.

(4.10) no'lu denklemden yararlanılarak hesaplanmış olan üst ısıl değerler, deneysel olarak saptanmış olanlarla kıyaslandığında ortalama hatanın % 7.70, maksimum hatanın ise % 30.97 olduğu görülmüştür; ancak, maksimum hatanın büyük olmasına karşın, linyitlerin yaklaşık % 80' i için hata % 10 'un altındadır. Regresyon katsayısı ise 0.89 gibi yüksek bir değerdir.

50 Türk linyitinin üst ısı değerlerinin kısa analiz sonuçlarından hesaplanmasında kullanılan ve bu çalışmada türetilmiş olan denklemlerden hesaplanan değerlerin, ölçüm sonuçları esas alındığında, içerdikleri hata miktarları Tablo 4.4'te görülmektedir.

Kısa analizleri bu çalışma çerçevesinde gerçekleştirilmiş olan 24 linyit numunesinin ısı değerlerinin türetilmiş olan denklemlerden hesaplanmasıyla ilgili toplu sonuçlar Tablo 4.2; bunlara ilaveten, kısa analiz sonuçları literatürden alınmış olan 26 Türk linyitine ait verilerin de kullanılması sonucu saptanan toplu sonuçlar ise Tablo 4.4'te görülmektedir.

Tablo 4.2 ile Tablo 4.4 kıyaslandığında şu sonuçlara varılmaktadır:

1)- Kısa analizleri aynı laboratuvar da ve aynı kişi tarafından gerçekleştirilen linyit numunelerinin üst ısı değerleri, türetilmiş olan denklemlerle, %3.78 ile % 7.56 arasında değişen ortalama hatayla hesaplanabilmektedir.

2)- Kısa analizleri 3 farklı laboratuvar da ve farklı kişilerce gerçekleştirilmiş olan linyit numunelerinin üst ısı değerleri türetilmiş olan denklemlerle, % 4.31 ile % 8.16 arasında değişen ortalama hatayla saptanabilmiştir.

3)- Kömür numune sayısının arttırılması regresyon katsayılarını olumlu yönde etkilemiştir.

4)- Linyit kömürü sayısının arttırılması maksimum hata oranlarının artmasına neden olmuştur. Yüksek hata oranları veren birkaç linyit kömürünün varlığı ortalama hata oranlarında da yükselme görülmesine yol açmıştır.

TABLO: 4.4. 50 Türk Linyitinin Türetilmiş Olan Denklemler İle Hesaplanan Isıl Değerlerinin Getirdiği Hatalar

$H_g = 6.178 + 0.184 \times (U.M.) + 0.0057 \cdot (S.K.)^2$	Regresyon katsayısı: 0.95	Ortalama hata(%)=4.63	Maksimum hata(%)=13.54
$H_g = 12.725 + 0.1711 \times (S.K) + 4.89 \times 10^{-5} \cdot (S.K)^3$	Regresyon katsayısı: 0.89	Ortalama hata(%)=7.49	Maksimum hata(%)=33.58
$H_g = 2.683 + 0.416 \times (S.K) + 0.0023 \times (U.M)^2$	Regresyon katsayısı: 0.93	Ortalama hata (%)= 5.66	Maksimum hata(%)=19.15
$H_g = 6.651 + 0.432 \times (S.K) - 0.0063 \times (U.M)^2 + 1.38 \times 10^{-4} \cdot (U.M)^3$	Regresyon katsayısı: 0.94	Ortalama hata(%)=5.37,	Maksimum hata(%)=16.49
$H_g = 3.654 + 0.421 \times (S.K) + 3.760 \times 10^{-5} \cdot (U.M.)^3$	Regresyon katsayısı: 0.93	Ortalama hata(%)=5.53,	Maksimum hata(%)=17.45
$H_g = 17.95 - 0.446 \times (U.M) + 0.0077 \times (U.M)^2 + 0.0065 \times (S.K)^2 - 1.073 \times 10^{-5} \times (S.K.)^3$	Regresyon katsayısı: 0.95	Ortalama hata(%)=4.31,	Maksimum hata(%)=15.71
$H_g = 30.35 - 0.43 \times (Kül) + 0.002 \times (Kül)^2$	Regresyon katsayısı: 0.85	Ortalama hata(%)=8.16	Maksimum hata(%)=18.67
$H_g = 68.58 - 1.103 \times (Kül + U.M.) + 0.0056 \times (Kül + U.M.)^2$	Regresyon katsayısı: 0.89	Ortalama hata(%)=7.30	Maksimum hata(%)=30.60
$H_g^* = 66.96 - 1.20 \times (U.M.) + 0.0085 \times (U.M.)^2$	Regresyon katsayısı: 0.86	Ortalama hata(%)= 4.3	Maksimum hata(%)=12.83
$H_g^{**} = 34.05 - 0.39 \times (Kül + Nem) + 0.0013 \times (Kül + Nem)^2$	Regresyon katsayısı: 0.89	Ortalama hata(%)= 7.70,	Maksimum hata(%)=30.97

* Uçucu madde kuru-külsüz temelde

** Kül ve nem içerikleri orijinal kömürde

5)- Bu çalışmada türetilmiş olan denklemler, farklı laboratuvarlarda gerçekleştirilmiş olan kısa analiz sonuçlarından yararlanılarak da kullanılabilir.

Farklı laboratuvarlarda, farklı kişilerce ve değişik yöntemlerle saptanan kısa analiz sonuçları önemli farklılıklar gösterebilmektedir. Kömür hazırlama yöntemleriyle başlayan farklılıklar, değişik standartlardan yararlanılmasıyla artar.

Türk linyitlerinin ısı değerlerinin, kısa analiz sonuçlarından yararlanılarak hesaplanması amacıyla bu çalışmada türetilmiş olan denklemlerin çoğu yüksek regresyon katsayılarına sahiptir ve ısı değerlerin iyi bir yaklaşıklıkla hesaplanmasında kullanılabilirler.

4.4. Literatürde Yer Alan Bazı Formüllerin Türk Linyitlerine Uygulanması

Kömürlerin ısı değerlerinin kısa analiz sonuçlarından yararlanılarak saptanmasında en sık kullanılan formül Goutal'a [24] aittir.

$$H = 82 \cdot (S.K.) + a \cdot (U.M.) \quad (4.11)$$

Bu denklemdeki "a" kömürün kuru-külsüz temelde hesaplanan uçucu madde içeriğinin bir fonksiyonudur. Goutal "a" yı (4.12) no'lu denklem ile hesaplanabilen "V" ye bağlanmıştır.

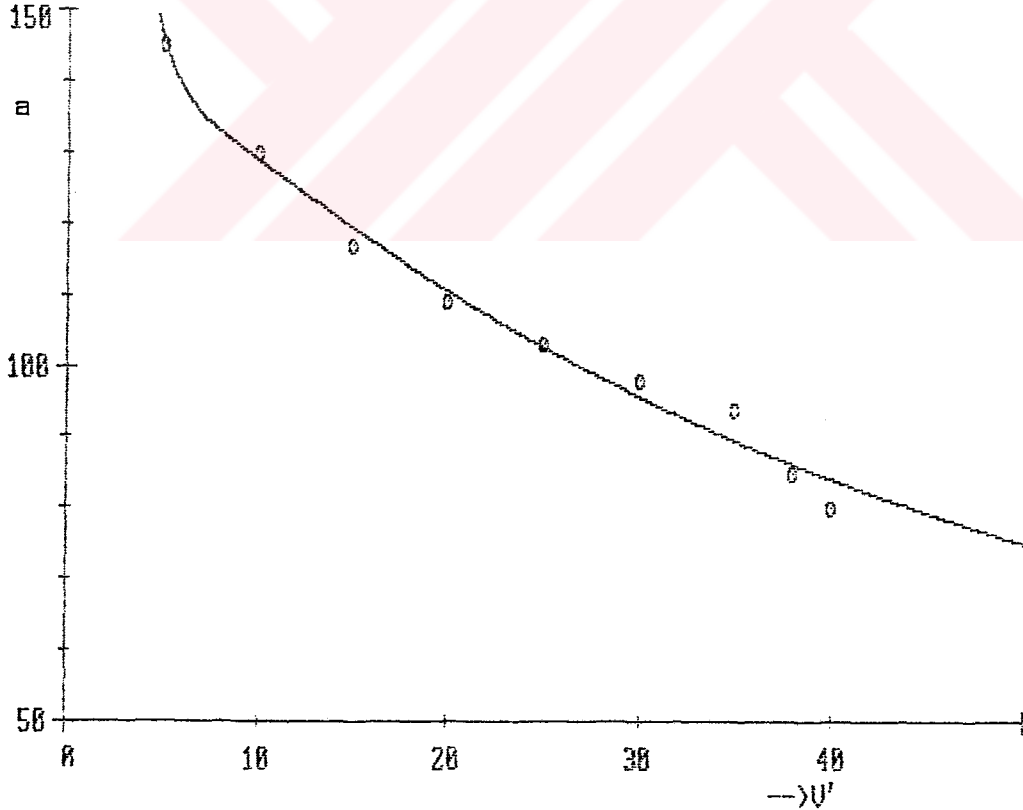
$$V' = \frac{100 \times (U.M.)}{(S.K.) + (U.M.)} \quad (4.12)$$

Goutal'ın verdiği ve "a" ile V' arasındaki ilişkiyi gösteren sayısal değerlerden hazırlandığımız grafik ve regresyon eğrisi şekil 4.9'da görülmektedir. (4.12) no'lu denklem yardımıyla 50 Türk linyetine ait "V'" değerleri hesaplanarak, şekil 4.9'da görülen eğrinin regresyon analizi sonucu saptanmış olan (4.13) no'lu denkleminde :

$$a = -166.46 - 5924. \frac{1}{V'} + 9252. \frac{1}{(V')^2} + 2518. \frac{1}{\sqrt{V'}}$$

(4.13)

yerine konmuş ve Goutal formülünün uygulanabilmesi için gereken "a" değerleri saptanmıştır. Goutal formülü yardımıyla hesaplanan üst ısı değerler, ölçüldükten sonra **kuru-külsüz temelde**, ortalama hatanın % 13.95, maksimum hatanın ise % 31.02 olduğu görülmüştür.



ŞEKİL: 4.9. Goutal 'a' Göre "a" ile "V'" Arasındaki İlişki

Linyitlerden yaklaşık % 70'inin ısı değeri Goutal denklemi ile hesaplanmasında hatanın % 10'un üzerinde olduğu gözlenmiştir.

Goutal'ın formülünün Türk linyitlerinin ısı değerlerinin hesaplanmasına uygun olduğu söylenemez.

Nakamura'ya ait formülün [10] de Türk linyitlerinin ısı değerlerinin kısa analizleri yardımıyla hesaplanabilmesi için kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır. Nakamura'nın formülündeki "a"nın uçucu maddenin bir fonksiyonu olduğu belirtilmiştir; ancak 50 Türk linyiti için hesaplanan "a" değerlerinin kömürlerin uçucu madde içeriklerinin fonksiyonu olmadığını saptamış bulunuyoruz.

Urkan ve Arıkol [45] tarafından Türk linyitleri için türetilmiş ve (4.5) no'lu denklemle ifade edilmiş olan formül, kısa analiz sonuçları Tablo 4.1 ve Tablo 4.3'te görülen 50 Türk linyitine uygulanmış ve ortalama hatanın % 6.23, maksimum hatanın ise % 28.99 olduğu görülmüştür; ancak söz konusu olan formül oldukça karmaşık olduğundan kullanımı pratik değildir.

Görüldüğü gibi, bu çalışmada türetilmiş olan formüller, literatürde yer alanlardan daha iyi bir yaklaşımla Türk linyitlerinin ısı değerlerinin kısa analiz sonuçlarından yararlanılarak hesaplanabilmesine imkan vermektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türk linyitlerinin ısı değerlerinin, kısa analiz sonuçlarından yararlanılarak hesaplanabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmanın genel sonuçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1)- Linyit kömürlerinin ısı değerleri ile kuru temeldeki kül içerikleri arasında yakın bir ilişki mevcuttur.

2)- Linyit kömürlerinin ısı değerlerinin hesaplanmasında, kuru temeldeki kül içeriğine ilaveten uçucu madde içeriğinden de yararlanmak regresyon katsayısında artışa neden olmuştur.

3)- Linyit kömürlerinin ısı değerleri ile orijinal temeldeki uçucu madde içerikleri arasında önemli bir ilişki saptanamamış olmasına karşın, kuru-külsüz temeldeki uçucu madde içeriği ile ısı değer arasında sıkı bir ilişki olduğu gözlenmiştir.

4)- Türk linyitlerinin ısı değerleri ile, kül ve nem içeriklerinin toplamı arasındaki bağıntı oldukça kuvvetlidir.

5)- Kısa analizleri aynı laboratuvar da ve aynı kişi tarafından gerçekleştirilen Türk linyit numunelerinin üst ısı değerleri, türetilmiş olan denklemlerle, %3.78 ile % 7.56 arasında değişen ortalama hatayla hesaplanabilmektedir.

6)- Kısa analizleri 3 farklı laboratuvarda ve farklı kişilerce gerçekleştirilmiş olan linyit numunelerinin ısı değerleri, türetilmiş olan denklemlerle, % 4.31 ile % 8.16 arasında değişen ortalama hatayla hesaplanabilmektedir.

7)- Bu çalışmada türetilmiş olan denklemler, farklı laboratuvarlarda gerçekleştirilmiş olan kısa analiz sonuçlarından yararlanılarak da kullanılabilir.

8)- Türk linyitlerinin ısı değerlerinin, kısa analiz sonuçlarından yararlanılarak hesaplanması amacıyla bu çalışmada türetilmiş olan denklemlerin çoğu yüksek regresyon katsayılarına sahiptir ve ısı değerlerin iyi bir yaklaşıklıkla hesaplanmasında kullanılabilir.

9)- Bu çalışmada türetilmiş olan formüller, literatürde yer alanlardan daha iyi bir yaklaşımla Türk linyitlerinin ısı değerlerinin kısa analiz sonuçlarından hesaplanabilmesine imkan vermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] MACRAE, J.C., An Introduction to the Study of Fuel, Elsevier Publishing Company, Newyork, 1966.
- [2] PITT, G.J., MILLWARD, G.R., Coal and Modern Coal Processing: An Indroduction, Academic Press, London, 1979.
- [3] LASKE, H., Untersuchungsverfahren zur Charakterisierung Fester Brennstoffe, Veb Deutsche Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1961.
- [4] Türkiye Kömür Envanteri, MTA Yayınları, No.171, Ankara, 1978.
- [5] Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Kömür El Rehberi, 1987.
- [6] PATTEISKY, K., TEICHMULLER, M., Rev. Ind. Min. Numéro Special, pp.121-137, 1957.
- [7] Given , P.H., Analytical Methods for Coal and Coal Products. (C.Karr, ed.), J.R., Academic Press, London, 1978.
- [8] JARRIER, P., Chaluer et Ind., Vol. 10, pp.107-112, 1929; Fuel, Vol.8, pp.486-491, 1929 (Kaynak 10).
- [9] VERON, M., Chaluer et Ind., Vol.10, pp. 433-438, 1929 (Kaynak 10).
- [10] LOWRY, H.H., Chemistry of Coal Utilization, Vol.1, John Wiley and Sons. Inc. Newyork, 1963.
- [11] STRACHE, H., LANT, R., Kohlenchemie, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig ,1924 (Kaynak 10).

- [12] STEUER, W., Brennstoff-Chem., Band 7, pp.344-347, 1926 (Kaynak 10).
- [13] VONDRACEK, R., Brennstoff-Chem., Band 8, pp.22-23, 1927, (Kaynak 10).
- [14] D'HUART, K., Die WÄRME, Band 53, pp. 313-317, 1930 (Kaynak 10).
- [15] SCHUSTER, F., GLÜCKAUF, Band 67, pp. 232-235, 1931; Brennstoff-Chem., Band 15, pp.45-46, 1934 (Kaynak 10).
- [16] GRUMMELL, E.S., DAVIES, I.A., Fuel, Vol. 12, pp. 199-203, 1933 (Kaynak 10).
- [17] GUMZ, W., Feuerungstech., Band 26, pp. 322-323, 1938 (Kaynak 10).
- [18] SÜMEĞİ, L., Macyar Mernök Epiteszegylet Közlanve Band 73, pp. 345-346, 1939 (Kaynak 10).
- [19] MOTT, R.A., SPOONER, C.E., Fuel, Vol. 19, pp.226-231 pp.242-251, 1940 (Kaynak 10).
- [20] SEYLER, C.A., Proc. S.Wales Inst. Engrs., Vol.53, 1938.
- [21] BOIE, W., Energie Technick, Band 3, pp. 309-1953.
- [22] RAASK, E., Mineral Impurities in Coal Combustion, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, 1985.
- [23] MORGAN, E.S., ROUGHTON, J.E., Journal of the Institute of Fuel, Vol.48, March, 1975.
- [24] GOUTAL, M., Compt. rend., Vol. 135, pp.477-479, 1902; J.Soc. Chem. Ind., Vol.21, pp. 1267, 1902 (Kaynak 10).
- [25] TAYLOR, R.A.A., PATTERSON, W.S., J.Soc.Chem.Ind., Vol. 48, pp.105-108., 1929 (Kaynak 10)
- [26] SCHUERER, KESTNER, M., Bull. Soc. Ind. Mulhouse, Vol. 54, pp.506-513, 1888; J.Soc. Chem. Ind., Vol. 7, pp.868-869, 1888 (Kaynak 10).
- [27] PAAR, S.W., J.Am. Chem. Soc., Vol. 22, pp. 646-652, 1900; Vol.29, pp.1606-1622, 1907 (Kaynak 10).

- [28] THOMSON, W.J., Soc. Chem. Ind., Vol. 5, pp.581-584, 1886, (Kaynak 10).
- [29] FISCHER, F., Dinglers Polytech. J., Vol. 258, pp.330; J.Soc. Chem. Ind., Vol.5, pp.159, 1886(Kaynak 10).
- [30] CARPENTER, R.C., Trans, Am. Soc. Mech.Engrs. Vol. 16. pp.1040-1056, 1895.(Kaynak 10).
- [31] DARLING, C.R., J.Soc. Chem. Ind., Vol.21, pp.927-928, 1902 (Kaynak 10).
- [32] MOTT, R. A., THOMAS, W.C., Fuel, Vol.33,pp.,448. 1954, (Kaynak 3).
- [33] BARKER, J.E., MOTT, R.A., THOMAS, W.C., Fuel,Vol. 34, pp. 283, 1955 (Kaynak 3).
- [34] ROTH, W.A., Brennstoff-Chemie, Band 11, pp.46, 1930, (Kaynak 3).
- [35] ASTM, D. 271-48,1954; DIN, 51708, 1950; BSs. 1016-42 (Kaynak 3).
- [36] STRUMPF, K.E., Brennstoff-Chemie, Band 34, pp.341, 1937 (Kanak 3).
- [37] MÜLLER, NEUGLÜCK, H.H., Glückauf, Band, 73, pp.345, 1937, (Kaynak 3).
- [38] ASTM Standards, Pt. III, pp.585, 1939(Kaynak 3).
- [39] NAKOMAN, E., Kömür, MTA Yayınları Eğitim Serisi, No.8, Ankara, 1971.
- [40] Türkiye Linyit Envanteri, Maden ve Tetkik Arama Enstitüsü Yayınlarından No.196, Ankara, 1986.
- [41] TSE, Taş Kömürlerinde Toplam Rutubet Tayini, TS 960, 1974.
- [42] Annual Book of ASTM Standards, Part 26, D.3175-77, Volatile Matterin the Analysis Sample of Coal and Coke, 1977.
- [43] TSE, Turb ve Linyitlerde Kül Tayini, TS 1042, 1974.
- [44] Annual Book of ASTM Standarts, Part 26, D 2015-66, Gross Calorific Value of Solid Fuel by the Adiabatic Bomb Calorimeter, 1977.

- [45] URKAN, M.K., ARIKOV, M., Fuel, Vol.68, April, 1989.
- [46] AKÇURA, F., GERGER, M., MTA Raporu, Aralık, Ankara pp. 1-77, 1982.



ÖZGEÇMİŞ

1964 yılında İstanbul'da doğan İlknur İSKENDER İlk öğrenimini Fevziçakmak İlkokulu'nda, Orta öğrenimini Bostancı Ortaokulu'nda ve Lise öğrenimini ise Erenköy Kız Lisesi'nde tamamladı. 1982 yılında girdiği İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden 1986 yılında mezun oldu. 1987 yılında İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi'nde Lisans Üstü öğrenimine başladı; halen lisans üstü öğrenimini sürdürmektedir.