



FARKLI LİNYİTLERİN KISA VE ELEMENTEL ANALİZ VERİLERİNE DAYANARAK ÜST ISIL DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI

Aydan AKSOĞAN KORKMAZ

Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Hekimhan Mehmet Emin Sungur MYO, Maden Teknolojisi Programı,
Malatya, TÜRKİYE
aydan.aksogan@ozal.edu.tr

(Geliş/Received: 27.01.2021; Kabul/Accepted in Revised Form: 29.12.2021)

ÖZ: Katı bir yakıtın ısı değeri, birim ağırlıktaki yakıtın tamamen yanması sonucu açığa çıkan ısı biriminin sayısıdır. Bir kömürün ısı değeri, türüne ve organik yapısına karışmış olan yanmayan maddelerin miktarına bağlıdır. Isıl değer, kömür türü yanında, kömür kül ve nem oranı tarafından da belirlenmektedir. Kömürün üst ısı değeri kalorimetre ile, kömürün bir kalorimetre bombası içinde, basınç altında oksijen ile sabit hacimde yakılması ve oluşan ısının ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Literatürde, kısa ve elementel analizlere dayanarak, üst ısı değeri hesaplaması yapabilmek için çeşitli denklemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada 10 farklı linyit örneğinin ısı değeri, hem deneysel olarak belirlenmiş hem de analiz verileri yardımıyla farklı denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir kömür için, deneysel ve hesapla elde edilen üst ısı değerleri karşılaştırılmıştır. En iyi regresyon katsayısı değerleri (R^2), kısa analiz ve elementel analiz modelleri için sırasıyla 0.7543 ve 0.5927 olarak belirlenmiştir. Modellerden elde edilen üst ısı değerlerin, deneysel olarak hesaplananlarla uyum içinde olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Linyit, Üst ısı değeri, Kısa analiz, Elementel analiz

Calculation of Higher Heating Values of Different Lignites Based on Proximate and Ultimate Analysis Data

ABSTRACT: The calorific value of solid fuel is the number of units of heat released as a result of the complete burning of the unit weight fuel. The calorific value of coal depends on its type and the amount of non-combustible substances mixed into its organic structure. The calorific value is determined not only by the type of coal but also by the coal ash and humidity. The higher heating value of coal is based on the principle of burning the coal in a calorimeter bomb under pressure with a constant volume of oxygen and measuring the heat generated by the calorimeter. In the literature, based on short and elemental analyzes, various equations have been developed to calculate the higher heating value. In this study, the calorific value of 10 different lignite samples was determined both experimentally and calculated using different equations with the help of analysis data. For each coal, the higher heating values obtained by experimental and calculation were compared. The best regression coefficient results (R^2) were determined as 0.7543 and 0.5927 for the models based on the proximate and ultimate analyses, respectively. It was seen that the higher heating values obtained from the models were not in agreement with the experimentally calculated values.

Keywords: Lignite, Higher heating value, Proximate analysis, Elemental analysis

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Her ne kadar geleneksel bir fosil yakıt olsa da kömür; elektrik üretiminde, çimento sanayisinde ve demir cevherinin eritilmesi için koka dönüşmesi gibi endüstriyel alanlarda hayati bir rol oynamaktadır. Kömürün ısı değeri, hem doğrudan kullanımında hem de diğer yararlı yakıt türlerine dönüştürülmesinde büyük önem taşımaktadır (Feng ve diğ., 2015). Kömürde kimyasal olarak depolanmış enerjinin bir göstergesi olarak ısı (kalorifik) değeri, bir yakıt olarak değerlendirilmesinde önemli bir parametredir (Wen ve diğ., 2017).

Kömürün ısı değeri, karbon ve oksijene bağlı olmayan hidrojen içeriği ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Ayrıca bu değer, kömürün kül, nem, uçucu madde ve sabit karbon içeriklerinden de etkilenmektedir. Kül, kömür yanıcı madde miktarını düşürdüğünden; nem ise, hem yanıcı madde miktarını düşürmesi hem de buharlaşma ısı kaybından dolayı, kömür ısı değerini düşürmektedir (Kemal ve Arslan, 2010).

Kömür yandığı zaman, içerdiği karbon ve hidrojen bileşiklerinin oksitlenmesi sonucu ısı açığa çıkmaktadır. Kalorifik değeri, kömürün birim ağırlığı tamamen yandığında ortaya çıkan ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır. Herhangi bir termik santralde, kömürün kalitesini değerlendirmek ve kalorifik değerini tespit etmek amacıyla kısa ve elementel analiz verilerinden faydalanılabilir (Majumder ve diğ., 2008). Bir kömürün ısı değeri, türüne ve organik yapısına karışmış olan yanmayan maddelerin miktarına bağlı olmaktadır.

Bir kömürün ısı değeri, genellikle üst ısı değeri olarak ifade edilmektedir. Deneysel olarak kömürün ısı değerinin kalorimetre ile tayini, kömürün bir kalorimetre bombası içinde, basınç altında oksijen ile sabit hacimde yakılması ve oluşan ısının ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Kalorimetre bombasında yanma sırasında nem önce buharlaşmakta, sonra da sıvı su halinde yoğunlaşmakta ve yoğunlaşma ısını vermektedir. Bu nedenlerle, kalorimetre bombasında yakma yöntemi ile saptanan yanma ısı üst ısı değeri ifade etmektedir. Alt ısı değeri ise, tüm suyun yoğunlaşma ısısının üst ısı değerinden çıkarılması yoluyla bulunmaktadır (Speight, 2005; Kural, 1998; Leonard ve Hardinge, 1991; Setyawati ve diğ., 2015).

Bu yöntem, karmaşık ekipman ve eğitimli bir personel gerektirdiğinden maliyetlidir. Diğer taraftan nem, uçucu madde, kül ve sabit karbon içerikleri bir kalorimetre bombasından nispeten daha ucuz olan ve basit bir kül fırını kullanılarak kolayca belirlenebilmektedir. Ayrıca, kısa analiz sonuçları gözlemlenen verilerin doğruluğunun genel bir kontrolü olarak da kullanılabilir (Erol ve diğ., 2010). Bu nedenle, kısa analiz verilerine dayanarak kömürün kalorifik değerinin doğru olarak tahmin edilmesi amacıyla çeşitli araştırma grupları tarafından farklı eşitlikler denenmiştir (Akkaya, 2016; Majumder ve diğ., 2008; Parikh ve diğ., 2005; Garcia ve diğ., 2014a; Boylu ve Karaağaçoğlu, 2018; Yin, 2011).

Kısa analiz verilerinden olduğu gibi, elementel analiz verileriyle de üst ısı değeri hesaplanması için korelasyonlar geliştirilmiştir (Callejon-Ferre ve diğ., 2011; Cihanniwala and Parikh, 2002; Garcia ve diğ., 2014b; Kathiravale ve diğ., 2003; Nzihou ve diğ., 2014; Thipkhumthod ve diğ., 2005; Wen ve diğ., 2017).

Üst ısı değerinin (ÜİD) hesaplanması amacıyla geliştirilen korelasyonlar ayrıca kömür yakma, gazlaştırma ve piroliz sürecinin performans modelleme uygulamalarında da yararlı olabilir. Yakıtın temel bileşiminden ÜİD'yi tahmin etmek, ısı sistemleri üzerinde performans modellemesi ve hesaplamalarının temel adımlarından biridir (Feng ve diğ., 2015). Bu nedenle, herhangi bir korelasyonun tahmin doğruluğu ve çok yönlülüğü oldukça önemli olmaktadır.

Bu çalışmada, 10 farklı Türk linyiti (Arguvan, Aşkale, Çayırılı, Elbistan, Ermenek, Gölbaşı, Hazro, Ilgın, Kangal, Sorgun) için mevcut korelasyonlardan bazıları gözden geçirilmiştir. Öncelikle, kömürlerin kısa (nem, kül, uçucu madde, sabit karbon) ve elementel (C, H, N, S, O) analizleri yapılmıştır. Daha sonra, mevcut korelasyonların tahmin doğruluğunu ve çok yönlülüğünü test etmek için, üst ısı değerleri deneysel olarak bir kalorimetre bombasında belirlenmiştir. Deneysel olarak hesaplanan bu üst ısı değerleri, mevcut korelasyonlara göre hesaplananlar ile karşılaştırılmıştır. Hesaplanan değerler ile deneysel değerler grafiğe geçirildiğinde, R² değerlerinin oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir.

MEVCUT MODELLERİN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ (REVIEW OF EXISTING MODELS)

Literatürde, kömürün üst ısıl değerlerinin tahmin edilmesi için, kısa ve elementel analiz verilerine dayanan birçok korelasyon geliştirilmiştir. Kısa analiz ve elementel analiz verilerine dayanan bazı referans korelasyonlar sırasıyla Çizelge 1 ve Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Üst ısıl değerinin tahmininde kullanılan kısa analiz verilerine bağlı bazı korelasyonlar*Table 1. Some correlations depending on the proximate analysis data used in the estimation of the high heating value*

No.	Eşitlik	Birim	Referans
E1	<i>Chelgani ve Makaremi</i> $\dot{U}ID = 35,391 - 0,47 M - 0,364 A - 0,028 VM$	MJ/kg	Boylu ve Karaağaçlıoğlu ²⁰¹⁸
E2	<i>Cordero 1</i> $\dot{U}ID = 0,3543 FC + 0,1708 VM$	MJ/kg	Ahmaruzzaman ²⁰⁰⁸
E3	<i>Kathiravale ve diğ.</i> $\dot{U}ID = 0,3080 VM + 0,4536 FC - 4,5421$	MJ/kg	Wen ve diğ. ²⁰¹⁷
E4	<i>Kieseler ve diğ.</i> $\dot{U}ID = 0,4108 FC + 0,1934 VM - 0,0211 A$	MJ/kg	Akkaya ²⁰¹⁶
E5	<i>Küçükbayrak ve diğ.</i> $\dot{U}ID = 76,56 - 1,3 (VM+A) + 7,03 \times 10^{-3} (VM+A)^2$	MJ/kg	Garcia ve diğ. ²⁰¹⁴ Majumder ve diğ. ²⁰⁰⁸
E6	<i>Majumder</i> $\dot{U}ID = - 0,03 A - 0,11 M + 0,33 VM + 0,35 FC$	MJ/kg	Garcia ve diğ. ²⁰¹⁴ Majumder ve diğ. ²⁰⁰⁸
E7	<i>Parikh</i> $\dot{U}ID = 0,3536 FC + 0,1559 VM - 0,0078 A$	MJ/kg	Boylu ve Karaağaçlıoğlu ²⁰¹⁸

HHV: Üst ısıl değer, M: Nem, A: Kül, VM: Uçucu madde, FC: Sabit karbon

Çizelge 2. Üst ısıl değerinin tahmininde kullanılan elementel analiz verilerine bağlı bazı korelasyonlar*Table 2. Some correlations depending on the ultimate analysis data used in the estimation of the high heating value*

No.	Eşitlik	Birim	Referans
E8	<i>Chelgani ve Makaremi</i> $\dot{U}ID = - 0,408 + 1,243 H + 0,348 C - 0,1 N - 0,111 O + 0,112 S$	MJ/kg	Boylu ve Karaağaçlıoğlu ²⁰¹⁸
E9	<i>D’Huart</i> $\dot{U}ID = 0,3391 C + 1,4337 H + 0,0931 S - 0,1273 O$	MJ/kg	Channiwala ve Parikh ²⁰⁰²
E10	<i>Dulong</i> $\dot{U}ID = 4,18 \times (78,4 C + 241,3 H + 22,1 S)$	kJ/kg	Nzihou ve diğ. ²⁰¹⁴
E11	<i>Gumz</i> $\dot{U}ID = 0,3403 C + 1,2432 H + 0,0628 N + 0,1909 S - 0,0984 O$	MJ/kg	Channiwala ve Parikh ²⁰⁰²
E12	<i>Matin ve Chelgani</i> $\dot{U}ID = - 4,542 + 0,431 C + 0,283 S + 0,367 H + 0,645 N$	MJ/kg	Boylu ve Karaağaçlıoğlu ²⁰¹⁸
E13	<i>Mott ve Spooner</i> $\dot{U}ID = 0,336 C + 1,418 H - 0,0145 O + 0,0941 S$	MJ/kg	Kathiravale ve diğ. ²⁰⁰³
E14	<i>Vandralek</i> $\dot{U}ID = 4,18 \times (85 C + 270 H + 26 \times (S - O))$	kJ/kg	Nzihou ve diğ. ²⁰¹⁴

HHV: Üst ısıl değer, H: Hidrojen, C: Karbon, N: Azot, S: Kükürt, O: Oksijen

Bu korelasyonların karşılaştırılması ve geçerliliği ile ilgili çalışmalar birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Kömürün ısıl değerini hesaplayan en eski ve en popüler korelasyonlardan biri, ilk olarak 1800’lerin sonunda ortaya çıkan ve kömürün elementel analizinden elde edilen verilere dayanan Dulong korelasyonudur (Yin, 2011).

Channiwala ve Parikh (2002), katı, sıvı ve gaz yakıtların elementel analizinden ÜİD'nin hesaplanması için birleşik bir korelasyon önermişlerdir. Buldukları korelasyon, ortalama% 1,45'lik bir mutlak hata ve% 0,00'lik bir yanlılık hatası sunmuş ve böylece onun çok yönlülüğünü belirlemiştir.

Parikh ve diğ. (2005), kömür, linyit, her tür biyokütle malzemesi ve kömürden kalıntı türevi yakıtlara kadar tüm katı karbonlu malzemeler için, mevcut korelasyonun türetilmesiyle yeni bir korelasyon önermişlerdir. ÜİD'nin ölçülen değerine göre bu korelasyonun ortalama mutlak hatasını % 3,74 ve yanlılık hatasını % 0,12 olarak belirlemiştir. Bu, benzer türdeki önceki korelasyonlardan çok daha düşüktür.

Ahmaruzzaman (2008), kömür, plastic ve biyokütle çarlarının, kısa analiz verileri yardımıyla ÜİD'lerinin belirlenmesi için bir çalışma gerçekleştirmiştir. En iyi sonuçları, R² değerini 0,965 ve ortalama mutlak ve yanlılık hatasını sırasıyla % 3,07 ve % 0,41 olarak belirlemiştir. Modelden elde edilen ısıl değerlerin, deneysel olarak elde edilen değerlerle uyum içinde olduğu sonucuna varmıştır.

Majumder ve diğ. (2008), kısa analiz korelasyonlarının uygulanabilirliğini Hint kömürleri üzerinde değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada geliştirilen korelasyonların ya karmaşık olduğu ya da kömürlerin nem ve kül içerikleri gibi önemli değişkenlerin etkisinin göz ardı edildiğini görmüşlerdir. Bu nedenle, kömürün ÜİD'sini tahmin etmek için kısa analiz verilerine dayalı tüm ana değişkenleri kapsayan basit bir korelasyon geliştirmişlerdir. Deneysel veriler ile tahmin edilen veriler arasındaki ortalama mutlak hatayı % 1,49 olarak bulmuşlardır. Hatanın oldukça düşük olmasından dolayı, önerdikleri denklemin geçerliliğini belirlemiştir.

Boylu ve Karağaçlıoğlu (2018), kısa analiz korelasyonlarından bazılarını kullanarak, kül, uçucu madde, sabit karbon ve maserallerin ÜİD'yi nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda, kül-ısı değer ilişkisinin yüksek yaklaşımla kurulabileceğini ve kül içeriği artışına bağlı olarak ÜİD'de lineer bir azalma olduğunu belirlemiştir.

Çizelge 1 ve 2'de kömür, atık ve biyokütle gibi malzemelerin enerji içeriğini tahmin etmek için kullanılan pratik modellerden bazıları verilmiştir. Bu çalışmada, sunulan bu model denklemler, linyit kömürünün üst ısıl değerini tahmin etmek için en uygun yaklaşımı bulmak amacıyla analiz edilmiştir.

MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada Arguvan (Malatya), Aşkale (Erzurum), Çayırılı (Erzincan), Elbistan (Kahramanmaraş), Ermenek (Karaman), Gölbaşı (Adıyaman), Hazro (Diyarbakır), Ilgın (Konya), Kangal (Sivas) ve Sorgun (Yozgat) linyitleri kullanılmıştır.

Laboratuvara getirilen linyit örnekleri, havada kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra, konileme-dörtleme yöntemiyle azaltılmış ve Jones Riffle örnek bölücüyle yaklaşık 2'şer kg'lık kısımlara ayırdıktan sonra deneylerde kullanılmak üzere kapalı naylon poşetlere konulmuştur. Tüm analizler ve deneyler havada kuru bazda gerçekleştirilmiştir.

Karakterizasyon çalışmaları için linyit örnekleri, laboratuvar tip tek istinat kollu çeneli kırıcıyla 30 mm altına kırıldıktan sonra Fritsch marka çekiçli kırıcı ile 3 mm altına kırılmış, yatay döndürmeli çelik bilyalı değirmen ve Retsch marka halkalı değirmen ile öğütülerek 38 µm boyutunun altına indirilmiştir.

Tüm örneklerin yüzey nemi ASTM D1412'ye göre, oda sıcaklığında sabit tartıma gelene kadar bekletilerek hesaplanmıştır. Bünye rutubeti içeriği ASTM D3173'e göre, 0,25 mm'nin altına öğütülmüş havada kuru kömür numunesinin, sıcaklığı iyi kontrol edilebilen ve içinde kuru hava sirkülasyonu olan bir etüvde 104-110°C'de, 1 saat süreyle bekletildikten sonra, uğradığı ağırlık kaybından yararlanılarak saptanmıştır.

Kül analizi ASTM D3174' e göre, 0,25 mm'nin altına öğütülmüş 1 g'lık kömür numunesinin, yavaş yavaş 700-750°C'ye çıkarılan hava sirkülasyonlu bir fırında ısıtılarak, ağırlığı sabit kalana kadar ($\pm 0,001$ g) bekletilmesiyle yapılmıştır. Kül miktarı, kalan kütlenin tartılması sonucu saptanmıştır.

Uçucu madde içeriği ASTM D3175'e göre, 1g'lık kömür numunesinin kapaklı bir platin krozede, dikey bir boru fırında 950 \pm 20°C'de 7 dakika tutulduktan sonra uğradığı ağırlık kaybından saptanmıştır.

Kömür örneklerinin sabit karbon içerikleri ise; nem, kül ve uçucu madde içerikleri toplamının 100'den çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Linyit örneklerine ait kısa analiz sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir.

C, H, N ve S içerikleri elementel analiz yönteminde kullanılan LECO marka CHNS-932 cihazıyla, üst

ısı değerleri ise İKA C1 marka kalorimetre bombasıyla belirlenmiştir. Linyit örneklerine ait elementel analiz sonuçları Çizelge 4’de verilmiştir.

Ayrıca üst değerler, kısa analiz ve elementel analiz sonuçlarından Çizelge 1 ve Çizelge 2’deki korelasyonlar kullanılarak hesaplama yoluyla da belirlenmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde, en yüksek ısı değere (26,09 MJ/kg) sahip olan linyitin Çayırılı, en düşük ısı değere (10,78 MJ/kg) sahip olan linyitin ise Elbistan linyiti olduğu görülmüştür.

Çizelge 3. Linyitlerin kısa analiz sonuçları

Table 3. Proximate analysis results of lignites

Linyit	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu madde (%)	Sabit C (fark ile) (%)	Üst ısı değeri (MJ/kg)
Arguvan	7,96	37,77	37,66	16,61	11,79
Aşkale	5,60	31,08	25,38	37,94	21,58
Çayırılı	7,16	19,32	38,50	35,02	26,09
Elbistan	7,07	39,65	35,80	17,48	10,78
Ermenek	6,20	23,15	39,75	30,90	17,58
Gölbaşı	14,15	25,30	39,61	20,94	17,35
Hazro	4,66	34,00	30,28	31,06	20,35
İlgın	8,00	20,30	42,62	29,08	12,90
Kangal	5,83	45,66	30,91	17,60	11,97
Sorgun	5,12	39,54	17,20	38,14	21,62

Çizelge 4. Linyitlerin elementel analiz sonuçları*Table 4. Ultimate analysis results of lignites*

Linyit	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (fark ile) (%)
Arguvan	36,80	3,54	0,86	3,88	54,92
Aşkale	42,42	3,67	0,97	3,57	49,37
Çayırılı	69,26	3,98	1,36	1,42	23,98
Elbistan	18,51	2,47	0,30	2,74	75,98
Ermenek	39,49	5,32	0,90	3,94	50,35
Gölbaşı	23,94	2,16	0,74	2,39	70,77
Hazro	40,79	3,95	0,99	3,10	51,17
Ilgın	40,45	2,96	0,68	4,52	51,39
Kangal	32,81	3,80	0,96	2,95	59,48
Sorgun	58,70	3,54	0,87	1,98	34,91

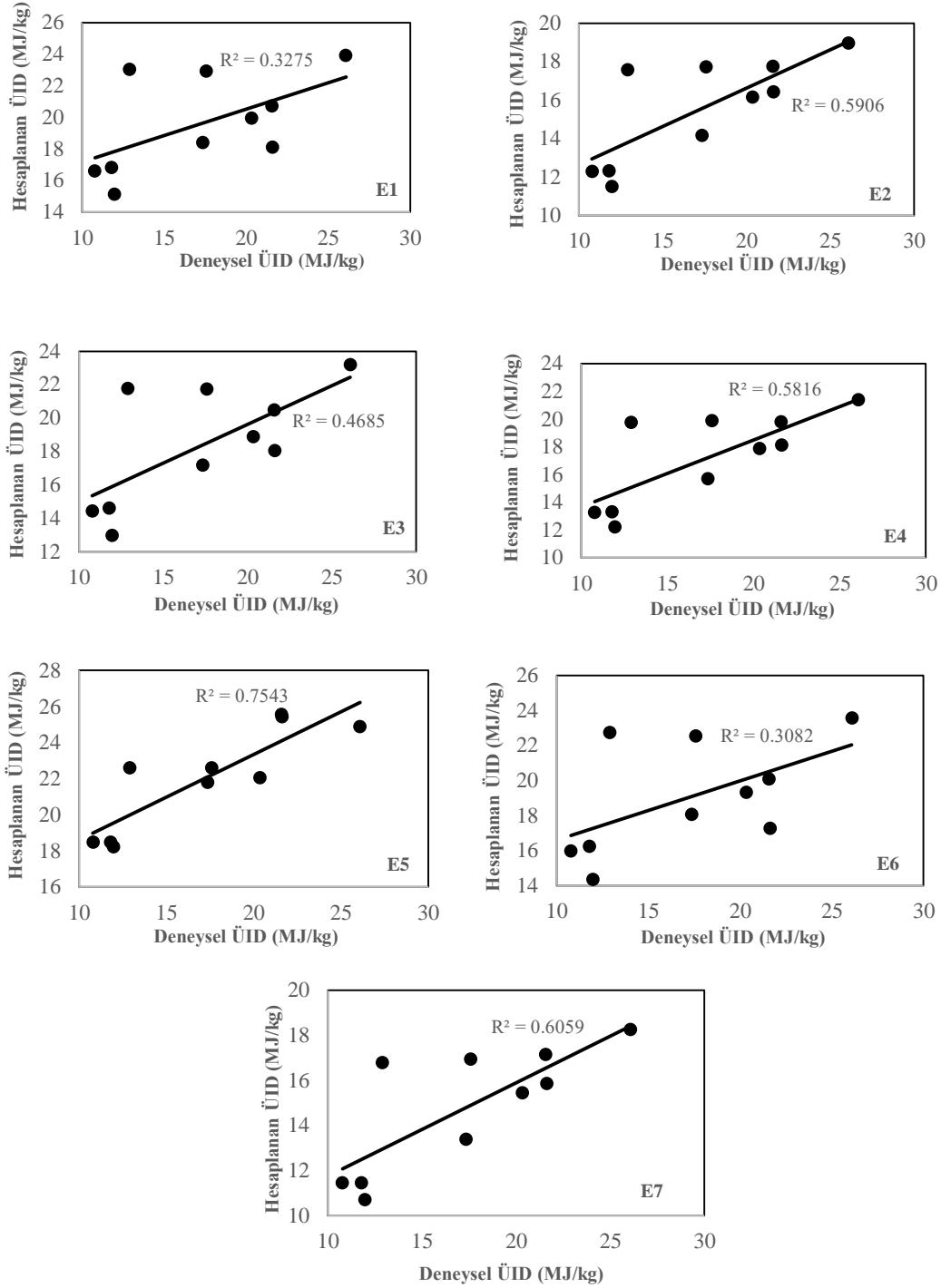
ÜST ISIL DEĞER HESAPLAMALARI (HIGHER HEATING VALUE CALCULATIONS)**Kısa Analiz Verilerine Göre Hesaplama (Calculations According to Proximate Analysis Data)**

Kısa analiz verileri kullanılarak, Çizelge 1'deki 7 farklı korelasyonla (E1-E7) linyit kömürlerinin üst ısıl değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 5). Çizelge 5'de her bir kömür için, deney ile bulunan üst ısıl değere en yakın çıkan hesaplama koyu renk ile gösterilmiştir. Kısa analiz verilerine göre yapılan ısıl değer hesaplamalarında Majumder'e ait 6 nolu eşitliğin ($\dot{U}ID = - 0,03 A - 0,11 M + 0,33 VM + 0,35 FC$) hiçbir kömür için yakın bir değer vermediği belirlenmiştir ($R^2 = 0,3082$).

Hesapla bulunan ve deneysel olarak tespit edilen üst ısıl değerler arasındaki ilişkiler Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde, eşitliklerin R^2 değerlerinin farklı (0,3082-0,7543) aralıklarda olduğu belirlenmiştir. Kullanılan 7 eşitlik içerisinde R^2 değerinin en yüksek olduğu eşitliğin, Küçükbayrak ve diğ.'ne ait olan 5 numaralı eşitlik olduğu görülmüştür ($\dot{U}ID = 76,56 - 1,3 (VM+A) + 7,03 \times 10^{-3} (VM+A)^2$).

Çizelge 5. Kısa analiz verilerinden hesaplanan üst ısıl değerleri (MJ/kg)*Table 5. Higher heating values calculated from proximate analysis data (MJ/kg)*

Linyit	Eşitliklerle hesaplanan							Deney ile bulunan
	1	2	3	4	5	6	7	
Arguvan	16,85	12,32	14,59	13,31	18,50	16,23	11,45	11,79
Aşkale	20,74	17,78	20,48	19,84	25,57	20,11	17,13	21,58
Çayırılı	23,92	18,98	23,20	21,42	24,90	23,59	18,23	26,09
Elbistan	16,63	12,31	14,41	13,27	18,49	15,96	11,45	10,78
Ermenek	22,94	17,74	21,72	19,89	22,60	22,56	16,94	17,58
Gölbaşı	18,42	14,18	17,16	15,73	21,80	18,08	13,38	17,35
Hazro	19,98	16,18	18,87	17,90	22,04	19,33	15,44	20,35
İlgın	23,05	17,58	21,78	19,76	22,60	22,75	16,77	12,90
Kangal	15,17	11,52	12,96	12,24	18,24	14,35	10,69	11,97
Sorgun	18,11	16,45	18,06	18,16	25,43	17,28	15,86	21,62



Şekil 1. DeneySEL ve hesaplanan üst ısıL değerler arasındaki ilişki (Kısa analiz)

Figure 1. Relationship between experimental and calculated higher heating values (Proximate analysis)

Elementel Analiz Verilerine Göre (According to Ultimate Analysis Data)

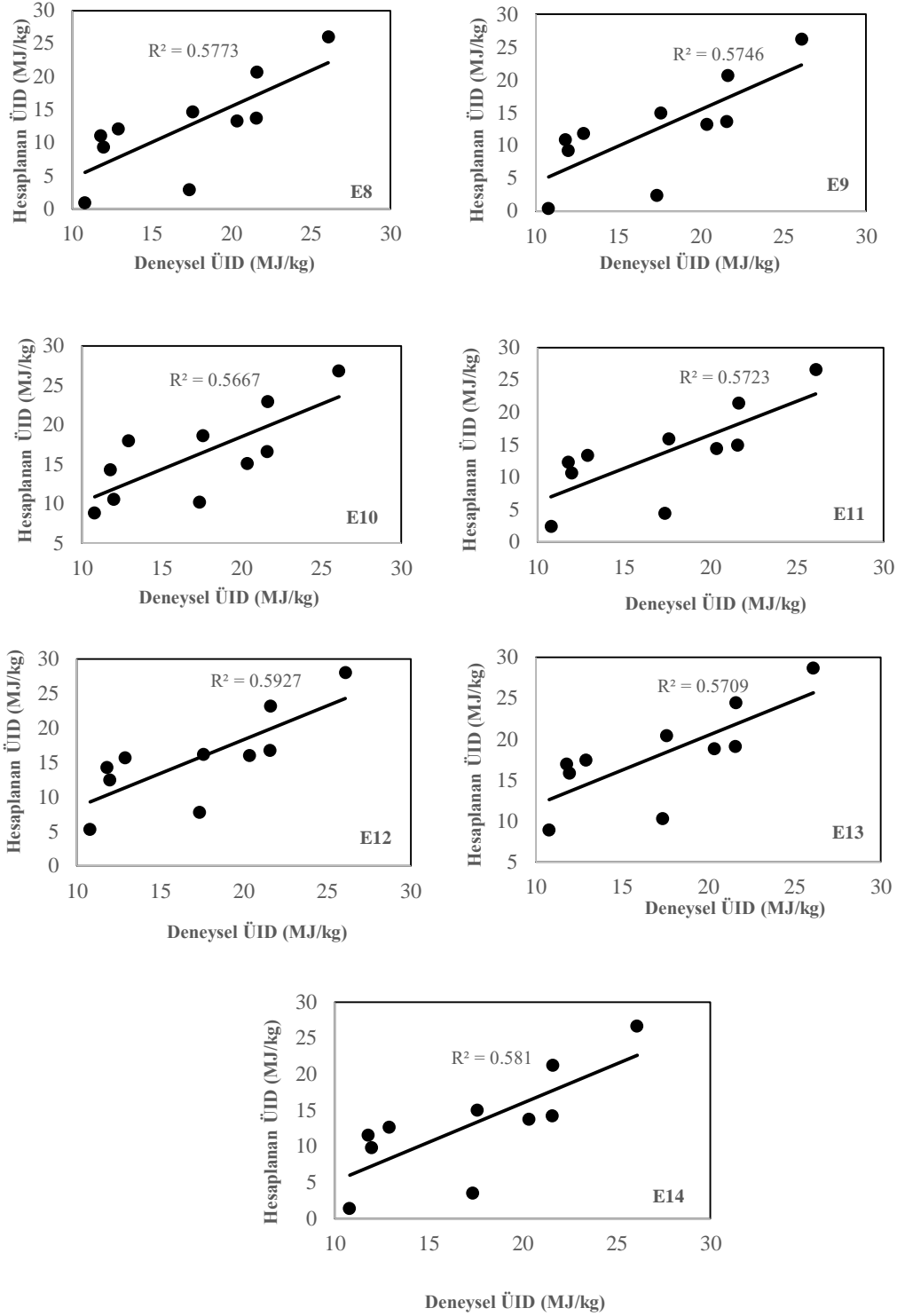
Elementel analiz verileri kullanılarak, Çizelge 2'deki 7 farklı korelasyonla (E8-E14) linyit kömürlerinin üst ısıL değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 6). Çizelge 6'da her bir kömür için, deney ile bulunan üst ısıL değere en yakın çıkan hesaplama koyu renk ile gösterilmiştir. Kısa analiz verilerine göre yapılan ısıL değer hesaplamalarında D'Huart'a ait 9 nolu eşitliğin ($\text{ÜİD} = 0,3391 C + 1,4337 H + 0,0931 S - 0,1273 O$) hiçbir kömür için yakın bir değer vermediği belirlenmiştir ($R^2 = 0,5746$).

Hesapla bulunan ve deneysel olarak tespit edilen üst ısıl değerler arasındaki ilişkiler Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde, eşitliklerin R^2 değerlerinin aynı (0,5667-0,5927) aralıklarda olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6. Elementel analiz verilerinden hesaplanan üst ısıl değerleri (MJ/kg)

Table 6. Higher heating values calculated from ultimate analysis data (MJ/kg)

Linyit	Eşitliklerle hesaplanan							Deney ile bulunan
	8	9	10	11	12	13	14	
Arguvan	11,05	10,92	14,35	12,31	14,27	16,95	11,52	11,79
Aşkale	13,74	13,69	16,62	14,88	16,72	19,08	14,24	21,58
Çayırılı	26,00	26,27	26,84	26,51	28,05	28,70	26,65	26,09
Elbistan	0,95	0,40	8,81	2,44	5,31	8,88	1,40	10,78
Ermenek	14,71	14,98	18,67	15,91	16,13	20,45	14,99	17,58
Gölbaşı	2,95	2,43	10,24	4,37	7,72	10,31	3,51	17,35
Hazro	13,27	13,27	15,08	14,41	16,00	18,86	13,73	20,35
İlgin	12,08	11,84	18,00	13,29	15,70	17,47	12,62	12,90
Kangal	9,37	9,28	10,57	10,66	12,45	15,83	9,80	11,97
Sorgun	20,68	20,72	22,99	21,37	23,18	24,42	21,27	21,62



Şekil 2. DeneySEL ve hesaplanan üst ısıL değERLER ARASINDAKİ İLİŞKİ (Elementel analiz)

Figure 2. Relationship between experimental and calculated higher heating values (Ultimate analysis)

SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Bu çalışmada 10 farklı linyit kömürünün kısa (nem, kül, uçucu madde, sabit karbon) ve elementel (C, H, N, S) analizleri yapılmıştır. Üst ısıl değerleri, bir kalorimetre bombası yardımıyla belirlenmiştir. Ayrıca kısa ve elementel analiz verilerinden üst ısıl değeri hesaplamayı sağlayan 14 farklı korelasyon kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Deneysel olarak ve hesapla bulunan üst ısıl değerler arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Kullanılan 14 korelasyondan R² değerinin en yüksek olduğu (0,7543) eşitliğin, Küçükbayrak ve diğ.'ne ait olan kısa analiz verilerine dayalı eşitlik olduğu görülmüştür (ÜİD = 76,56 – 1,3 (VM+A) + 7,03x10⁻³ (VM+A)²).

Yapılan bu çalışmanın sonucunda R² değerlerinin oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Kullanılan kömür örneklerinin kısa ve elementel analizlerinden üst ısıl değerlerinin gerçeğe yakın bir şekilde hesaplanamayacağı sonucuna varılmıştır. Konuyla ilgili farklı linyitler ve/veya farklı korelasyonların denenmesinin faydalı olabileceği düşünülmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Ahmaruzzaman, M., 2008, "Proximate analyses and predicting HHV of chars obtained from cocracking of petroleum vacuum residue with coal, plastics and biomass", *Bioresource Technology*, Cilt 99, ss. 5043-5050.
- Akkaya, E., 2016, "ANFIS based prediction model for biomass heating value using proximate analysis components", *Fuel*, Cilt 180, ss. 687-693.
- Boylu, F., Karaağaçlıoğlu, İ.E., 2018, "Kömür Bileşenlerinin Kalorifik Değer Üzerindeki Etkisi Üzerine Değerlendirme", *Yerbilimleri*, Cilt 39, Sayı 3, ss. 221-236.
- Callejón-Ferre, A.J., Velázquez-Martí, B., López-Martínez, J.A., Manzano-Agugliaro, F., 2011, "Greenhouse crop residues: Energy potential and models for the prediction of their higher heating value", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Cilt 15, ss. 948-955.
- Channiwala, S.A., Parikh, P.P., 2002, "A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels", *Fuel*, Cilt 81, ss. 1051-1063.
- Erol, M., Haykiri-Acma, H., Küçükbayrak, S., 2010, "Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data", *Renewable Energy*, Cilt 35, ss. 170-173.
- Feng, Q., Zhang, J., Zhang, X., Wen, S., 2015, "Proximate analysis based prediction of gross calorific value of coals: A comparison of support vector machine, alternating conditional expectation and artificial neural network", *Fuel Processing Technology*, Cilt 129, ss. 120-129.
- García, R., Pizarro, C., Lavín, A.G., Bueno, J.L., 2014a, "Spanish biofuels heating value estimation. Part I: Ultimate analysis data", *Fuel*, Cilt 117, ss. 1130-1138.
- García, R., Pizarro, C., Lavín, A.G., Bueno, J.L., 2014b, "Spanish biofuels heating value estimation. Part II: Proximate analysis data", *Fuel*, Cilt 117, ss. 1139-1147.
- Kathiravale, S., Yunus, M.N.M., Sopian, K., Samsuddin, A.H., Rahman, R.A., 2003, "Modeling the heating value of Municipal Solid Waste", *Fuel*, Cilt 82, ss. 1119-1125.
- Kemal, M., Arslan, V., 2010, *Kömür Teknolojisi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 394.
- Kural, O., 1998, *Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri*, Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş., İstanbul, 785.
- Leonard, J.W., Hardinge, B.C., 1991, *Coal Preparation (5th Edition)*, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc., Colorado, 1131.
- Majumder, A.K., Jain, R., Banerjee, P., Barnwal, J.P., 2008, "Development of a new proximate analysis based correlation to predict calorific value of coal", *Fuel*, Cilt 87, ss. 3077-3081.
- Nzihou, J.F., Hamidou, S., Bouda, M., Koulidiati, J., Segda, B.G., 2014, "Using Dulong and Vandralek Formulas to Estimate the Calorific Heating Value of a Household Waste Model", *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Cilt 5, Sayı 1, ss. 1878-1883.
- Parikh, J., Channiwala, S.A., Ghosal, G.K., 2005, "A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels", *Fuel*, Cilt 84, ss. 487-494.

- Setyawati, W., Damanhuri, E., Lestari, P., Dewi, K., 2015, "Correlation equation to predict HHV of tropical peat based on its ultimate analyses", *Procedia Engineering*, Cilt 125, ss. 298-303.
- Speight, J.G., 2005, *Handbook of Coal Analysis*, Wiley-Interscience, USA, 222.
- Thipkhunthod, P., Meeyoo, V., Rangsunvigit, P., Kitiyanan, B., Siemanond, K., Rirksomboon, T., 2005, "Predicting the heating value of sewage sludges in Thailand from proximate and ultimate analyses", *Fuel*, Cilt 84, ss. 849-857.
- Wen, X., Jian, S., Wang, J., 2017, "Prediction models of calorific value of coal based on wavelet neural Networks", *Fuel*, Cilt 199, ss. 512-522.
- Yin, C-Y., 2011, "Prediction of higher heating values of biomass from proximate and ultimate analyses", *Fuel*, Cilt 90, ss. 1128-1132.