

Kömür Bileşenlerinin Kalorifik Değer Üzerindeki Etkisi Üzerine Değerlendirme

Evaluation of Coal Components-Coal Calorific Value Relationship

FERİDUN BOYLU*¹, İBRAHİM ETHEM KARAAĞAÇLIOĞLU¹

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, Maslak, Sarıyer, İstanbul, Türkiye

Geliş (received) : 14 Ağustos (August) 2018

Kabul (accepted) : 22 Kasım (November) 2018

ÖZ

Kömür kalitesi genellikle, kül içeriği ile ifade edilmektedir. Kömür ısı değerinin büyük oranda kül yapıcı madde içeriği tarafından kontrol edildiği bilinmektedir. Ancak, kömür kül içeriğinin yanı sıra, kısa kömür ve elementel analiz bileşenleri ve ilave olarak kömür petrografisinin de kömür ısı değeri üzerindeki etkisi önemlidir. Sonuç olarak her ne kadar kül içeriğinin kömür kalitesi üzerinde etkisi büyük olsa da, aslında kömür kalitesinin, kül içeriği, ısı değeri ve kömürü meydana getiren orijinal bitkinin kökeni yani kömür petrografisinin bir kombinasyonu olarak ortaya çıktığı bir gerçektir. Öyle ki, kömür yıkama işlemleri sonrasında, elde edilen atığın (şistin) değerlendirilmesi sadece kül içeriği ile yapıldığında, zenginleştirmenin etkinliği ile ilgili ciddi değerlendirilme yanlışlığı söz konusu olmaktadır. Buna ilave olarak, online kömür analizi için programlar yazılırken dahi, kalorifik değer-kül içeriği ilişkisi, çoğu uygulamalarda global olarak değerlendirilmekte ve bu da ölçüm doğruluğunu etkilemektedir. Kül-kalorifik değer ilişkisi ve kömür yıkama tesis atıklarının kalitesinin değerlendirilmesi üzerine yapılan yanlış ve eksik tanımlamalarla ilgili örnekler daha da çoğaltılabilir. Bu sebeple, kömür ve kömürün yapısal özellikleri, kül yapıcı madde ve kül içeriği ilişkisinin çok daha detaylı bir şekilde örneklendirildiği çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, kömür bileşenleri-kömür ısı değeri ve kül yapıcı madde-kül içeriği ilişkisi, bazı Türk kömür örnekleri üzerinde değerlendirilerek tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kömür, kül içeriği, kısa kömür analizi, elementel analiz, üst ısı değeri modeli.

ABSTRACT

Coal quality is generally defined based on the ash contents. It is well known that the calorific value of coal is negatively affected by the increase on ash contents. However, the attitude of calorific value is not only dependent on ash content, it is also controlled by proximate and ultimate coal analysis components such as moisture, volatile matter, fixed carbon, total carbon, hydrogen, nitrogen and sulfur content. In addition, coal petrography is also worth to be counted as a factor controlling the calorific values of coal. In this study the relationships between the factors of proximate and ultimate analysis components and calorific value of coals have been discussed through some known coal examples from Turkey.

Keywords: Coal, ash content, proximate analysis, ultimate analysis, gross calorific value model.

* F. Boylu

e-posta: boylu@itu.edu.tr

GENEL BİLGİLER

Kömür Bileşenleri

Kömür yapı itibarıyla heterojen yapıda olup, organik ve inorganik madde ve nemden oluşan kompozisyona sahip, yanabilen ve yandığında ısı veren bir kayaktır (Ateşok, 2004).

Kömürün organik yapısını karbon oluşturmakta, inorganik maddelerin başlıcaları kil, kuvars, kalsit ve kükürt olmak üzere, gerek kömürün oluşumu sırasında, kömürün orijinal kısmı olan bitkisel yapısından gelen, gerekse de kömürün oluştuğu bataklık ortamdaki reaksiyonlar sonucu oluşan veya kömür oluşumu sırasında doğa etkileri ile dışarıdan gelip kömür yataklanması içerisinde giren mineral maddelerden oluşmaktadır (Şekil 1).

Kömür analizleri genelde kısa kömür analizleri (proximate analiz) ve elementel analiz (ultimate analiz) olmak üzere iki farklı şekilde yapılır/tanımlanır.

Kısa kömür analizleri genellikle; nem, kül, uçucu madde, kükürt (toplam ve yanabilir), sabit karbon ve ısı değeri özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılırken, elementel analiz; kükürt, N, C, O gibi, katı ya da gaz halindeki bileşiklerin belirlenmesine yönelik yapılmaktadır.

Kısa analiz bileşenleri değerlendirilirse;

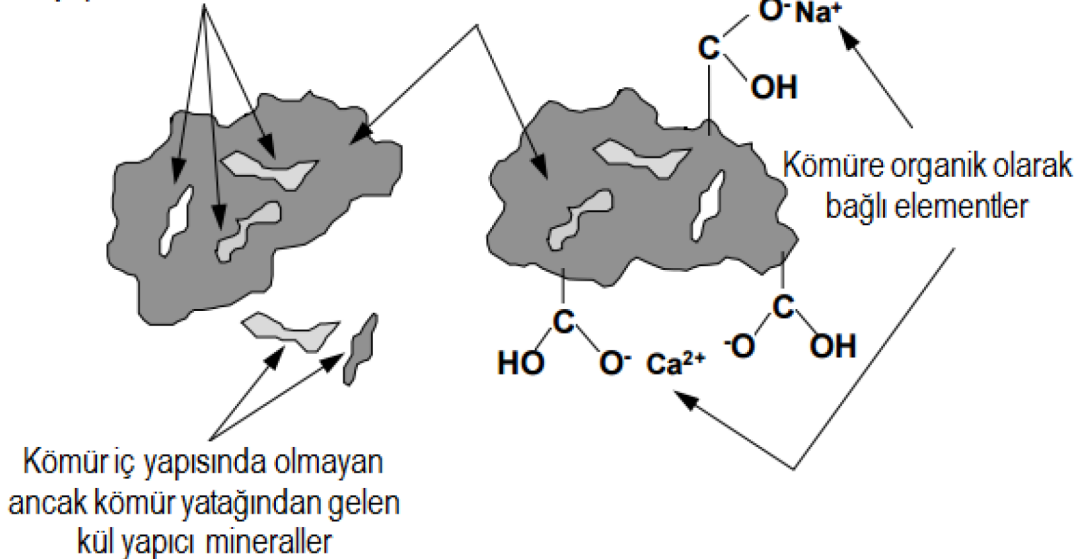
Sabit karbon: yanma ünitesinde, kömür yapısından uçucu madde çıktıktan sonra geriye kalan katı yakıttır. Büyük oranda karbon ve yanma sırasında emisyonuna dönüşmemiş olan hidrojen, oksijen, sülfür ve azot gibi bileşikler içerir. Sabit karbon ısı değeri kabaca tahmin edilmesine yardımcı olur.

Uçucu madde: metan, hidrokarbonlar, hidrojen ve karbon monoksit ve kömürün içerisindeki CO₂ ve azot gibi yanmayan gazlardan oluşur. Dolayısıyla, uçucu madde gazlı yakıtların varlığını gösteren bir indekstir. Tipik olarak kömür rankına bağlı olarak 5-50 arasında bulunur. Yanma sırasında, doğrusal orantılı olarak alev boyutunu yükseltir ve tutuşmaya kolaylık sağlar. Minimum fırın yüksekliğinin belirlenmesinde etkilidir. İkincil hava ihtiyacı ve dağıtımını unsurlarını doğrudan etkiler.

Kül miktarı: Kömürün yapısında bulunan yanmayan kısmı oluşturur. Handling ve yakma kapasitesini düşürür. Yanma etkinliğini ve boiler kullanımını olumsuz etkiler. Yanma sırasında ve sonrasında klinker ve cüruf oluşumuna sebebiyet verir.

Nem: Kömürün ısı değerini düşürür. Yakma sırasında, buharlaşması ve buharın aşırı ısıtılması sebebiyle ısı kayıpları artırır. Radyasyon ısı transferine yardımcı olur.

Kömür iç yapısında yer alan kül yapıcı mineral maddeler



Şekil 1. Kömürle birlikte bulunan Minerallerin ve diğer inorganik bileşenlerin gösterimi (Benson, 1993).
Figure 1. Illustration of Coal and Ash Forming Minerals and Other Inorganic Constituents (Benson, 1993).

Kükürt içeriği: Klinker oluşturma ve cüruf oluşturma eğilimini arttırır. Baca ve hava ısıtıcıları ve ekonomizer gibi diğer ekipmanların korozyonuna sebebiyet verir. Akıcı gaz çıkış sıcaklığını sınırlandırır.

Elementel analiz bileşenleri karbon, hidrojen, oksijen, sülfür vs gibi elementel kimyasal bileşenleri içerir. Yakma için gerekli olan hava miktarının, yanma gazlarının hacmi ve kompozisyonunun belirlenmesinde önemli rol oynar.

Elementel analiz bileşenleri ve kısa analiz bileşenleri arasındaki ilişki Çizelge 1’de verilmiştir.

Gerek kısa gerekse elementel kömür analizleri, toplam nem (Kuru baz) , yüzey nemi (havada kuru baz) ve külün olmadığı (kuru külsüz baz) şartlara göre ya da orijinal kömüre göre (toplam nem ve külü içerecek şekilde) ifade edilmektedir.

Kömür bileşenleri ve yukarıda anlatılan kuru, havada kuru ve kuru külsüz baz ifadelerinin daha belirgin tanımlaması Şekil 2. de verilmiştir.

Kömür bileşenlerinin Isıl değer üzerindeki etkisi

Kül-Isıl değer ilişkisi

Kül, kömür yapısında inorganik maddeyi oluşturmakta ve yanabilir özellikte olmadığı için kömürün ısıl değerini düşürmektedir.

Nem-Isıl değer ilişkisi

Nem, kömür yapısının ana bileşenlerinden olup, genellikle yüzey nemi ve bünye nemi olarak ifade edilmektedir. Nem, yanabilir özellikte olmadığı ve kömürün yanması sırasında buharlaştırma işlemi için enerji gerektirdiğinden, kömürün ısıl değerini düşürmektedir. Pratik uygulamalarda her bir % nem, % 1 kül içeriği gibi kabul edilmektedir.

Kısa analiz bileşenleri-Isıl değer ilişkisi

Majumder ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada kömürün kısa analizlerinin üst ısıl değerinin büyüklüğü üzerindeki etkisini özetlemişlerdir. Majumder ve ark. yaptığı çalışmada yer aldığı şekilde, kayda değer bazı modeller aşağıda verilmiştir;

Küçükbayrak vd. (1991) (kuru baza göre);

$$GCV = 76.56 - 1.3 (V_M + A) + 0.00703(V_M + A)^2 \quad (1)$$

$$GCV = 76.56 - 1.3 (V_M + A) + 0.00703(V_M + A)^2$$

Demirbaş (1997) (Orijinal baza göre);

$$GCV = 0.196F_C + 14.119 \quad (2)$$

$$GCV = 0.196F_C + 14.119$$

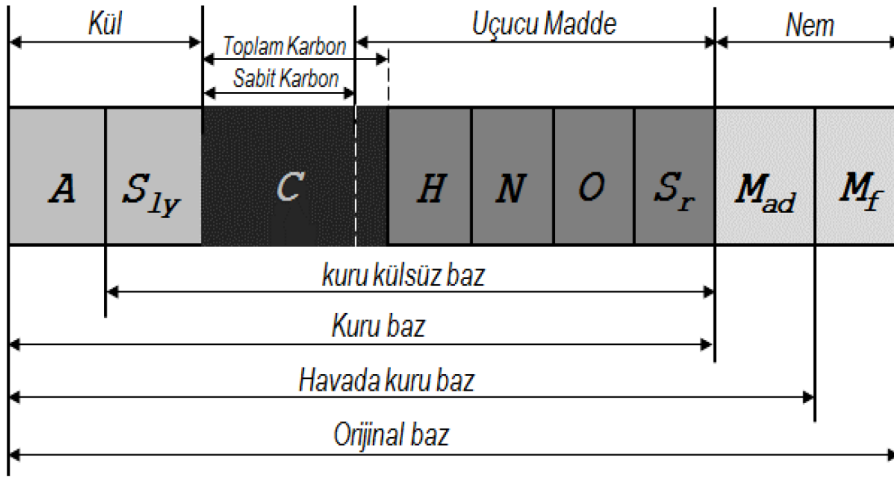
Parikh ve diğ. (2005), (kuru baza göre)

$$GCV = 0.353F_C + 0.1559V_M - 0.0078A \quad (3)$$

Çizelge 1. Elementel analiz bileşenleri ve kısa analiz bileşenleri arasındaki ilişki.
Table 1. Relationship between ultimate and proximate analyses constituents.

Bileşen	Model
C, %	$0.97C+0.7(V_M-0.1A)-M(0.6-0.01M)$
H, %	$0.036C+0.086(V_M-0.1A)-0.0035M^2(1.0.02M)$
N ₂ , %	$2.10-0.020 V_M$
C	Sabit Karbon, %
A	Kül, %
V _M	Uçucu Madde, %
M	Nem, %

Not: Yukarıdaki yaklaşım % 15’den fazla nem içeren kömürler için geçerlidir.



Şekil 2. Kömür Bileşenleri ve kömür Analizlerin Farklı Bazlarda Değerlendirilmesi (Wen ve diğ., 2017).
Figure 2. Evaluation of Relationship Between Coal Constituents and Coal Analyses (Wen ve diğ., 2017).

Majumder ve diğ. (2008) (orjinal baza göre)

$$GCV = -0.03A - 0.11M + 0.33V_M + 0.35F_C \quad (4)$$

$$GCV = -0.03A - 0.11M + 0.33V_M + 0.35F_C$$

Buna benzer birçok model çalışmaları, Wen ve diğerlerinin (2017) yaptığı çalışmada daha detaylı olarak bulunabilir. Wen'in çalışmasından alınan ve regresyon katsayısı yüksek olan bazı modeller Çizelge 2'de verilmektedir.

Elementel analiz - ısı değer ilişkisi

Bununla birlikte, Kömürün elementel analizlerinde yer alan bileşiklerin de üst ısı değerinin büyüklüğünde etkili olduğu ifade edilmektedir. Wen ve diğ.(2017), yaptıkları çalışmada, bugüne kadar yapılmış olan elementel analiz bileşenleri-üst ısı değer modellerini özetlemiştir. Bu çalışmadan alınan ve regresyon katsayısı yüksek olan bazı modeller Çizelge 3'de verilmektedir.

Kömür Maseralleri - ısı değer ilişkisi

Kömür yapı itibarıyla organik ve inorganik madde ve sudan meydana gelen bir kayadır. Bundan milyonlarca yıl önce yaşamış olan ve ölüp bataklık alanda biriken bitkisel kısımların başkalaşımına (metamorfizma) uğramasıyla meydana gelmektedirler. Kömürün yapısına bakıldığında kömürü meydana getiren bitkisel kısmın kaynağı (ağaç kökü, dalı, yaprağı, spor ve reçineler vs.) dolayısıyla kömür yapısında gözle

görünür (maseraller) ve gözle görünemeyen (litotipler) bantlı yapılar oluşur.

Kömürün kısa ve elementel analiz bileşenleri yanı sıra, kömürün petrografik yapısındaki bu maseral ve litotip bileşenleri de kömürleşme derecesine bağlı olarak değişim göstermekte ve kömürlerin ısı değerlerini etkilemektedir. Sarma ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada, vitrinit, liptinit ve inertinit miktarlarının ısı değer üzerindeki etkisini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmaya göre, vitrinit ve liptinit oranı arttıkça kömür ısı değerinin arttığı ifade edilmiştir (Şekil 3).

DEĞERLENDİRME ve TARTIŞMA

Değerlendirmede Kullanılan Numuneler ve Özellikleri

Kömür Bileşenleri-üst ısı değer ilişkisinin incelendiği bu çalışma kapsamında, İTÜ Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü Arşivinde bulunan (büyük bir çoğunluğu yazarın kendi çalışmaları sonucunda elde edilmiştir) bazı kömür özelliklerinden yararlanılmış olup, değerlendirmeye alınan kömürler ve özellikleri Çizelge 4. de verilmektedir.

Bazı kömür örneklerine ait farklı kül ve kalorifik değer içeriklerine sahip kömürler detaylı zenginleştirme işlemleri sonucu üretilmiştir. Kömürlerin kısa analizleri İTÜ Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği laboratuvarlarında yapılmıştır.

Çizelge 2. Kısa kömür analizi bileşenleri-üst ısı değer ilişkisine ait bazı modeller. Not: Isıl değerler üst ısı değeri ifade etmektedir.

Figure 2. Some models established based on the relationship between proximate analysis constituents and gross calorific value.

Araştırmacı ^{Yıl}	Model	R ²
Kathiravale ve diğ. ²⁰⁰³	$GCV = 0.3080V_M + 0.4536F_C - 4.5421$	0.90
Thipkhumthod ve diğ. ²⁰⁰⁵	$GCV = 0.4329[(V)_M + F_C] - 7.3695$	1.00
Majumder ve diğ. ²⁰⁰⁸	$GCV = -0.0898M + 0.2695V_M + 0.3909F_C - 0.0082A$	0.97
Erol ve diğ. ²⁰¹⁰	$GCV = 0.4013F_C + 0.0008F_C^2 + 0.0065V_M^2 + 0.034A^2 - 1.8925$	1.00
Yin ²⁰¹¹	$GCV = 0.2076V_M + 0.4188F_C$	1.00
Mohammedet ve diğ. ²⁰¹⁴	$GCV = 0.4777 * F_C + 0.3459 * V_M + 0.10401 * A - 8.5078$	1.00

Not: Isıl değerler üst ısı değeri ifade etmektedir.

Çizelge 3. Elementel kömür analizi bileşenleri-üst ısı değer ilişkisine ait bazı modeller.

Figure 3. Some models established based on the relationship between ultimate analysis constituents and gross calorific value.

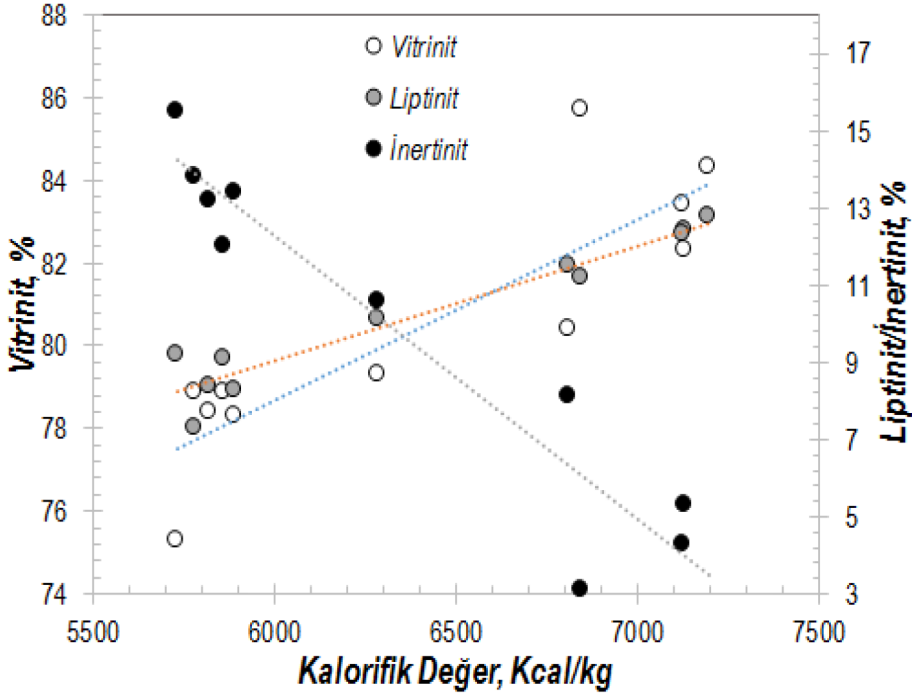
Araştırmacı ^{Yıl}	Model	R ²
Toscana ve diğ. ²⁰⁰⁹	$GCV = 0.3542(C + 2H)$	0.924
Callejón-Ferre ve diğ. ²⁰¹¹	$GCV = 0.4346 C + 0.1069 H - 1.8669$	0.996
	$GCV = 0.4255 C + 0.1107 H - 0.4943 N - 1.9018$	0.999
	$GCV = 0.0037 C^2 + 10.7128$	0.995
	$GCV = 0.4351 C - \frac{3.8748}{H} - 0.5639$	0.917
	$GCV = 0.3583 [C - \frac{3 O}{8}] + 0.0605 [O/4]$	0.936
Yin ²⁰¹¹	$GCV = 0.4216 C - 0.1126 H$	0.998
Chelgani ve Makarem ²⁰¹³	$GCV = -1.2079 + 0.9909 H + 0.3658 C + 0.03201 N - 0.1068 O + 0.1297 S$	0.996
Ghugare ve diğ. ²⁰¹⁴	$GCV = 0.4312 C - \frac{0.2187 O}{10.7128 + 0.0037 C^2} + \frac{-0.0049 C \cdot H + 0.9167}{7.7302 H - 0.0192 CO} + \frac{15.5016}{7.9623 + 14.3751 N} - \frac{38.4206}{22.8214 + 0.4276 S}$	0.995
Roberto ve diğ. ²⁰¹⁴	$GCV = 0.4211 C - 0.090 O + 0.1800 S - 0.8081$	0.993
	$GCV = -0.0008 C^2 + 0.5179 C - 3.4488$	0.990
Setyewati ve diğ. ²⁰¹⁵	$GCV = 35.2572 + 0.6221 H + 0.0682 N - 0.2320 S - 0.4681 O - 0.3722 A$	0.912
Matin ve Chehreh ²⁰¹⁶	$GCV = -3.5393 + 0.2475 H + 0.4254 C + 0.7001 N + 0.2724 S$	0.979

Not: Isıl değerler üst ısı değeri ifade etmektedir.

Kül-Üst ısı değer ilişkisinin irdelenmesi

Değerlendirmenin bu kısmında, kül-ısı değer (üst) ilişkisi incelenmiş ve her bir kömür numunesi örneği için kül-üst ısı değer ilişkisi Zonguldak, Trakya, Ankara, Kütahya ve Soma bölgesi kömürleri için Şekil 4-8'de örneklendirilmiştir.

Görüldüğü üzere diğer bileşenlerin etkileri sabit tutulduğunda, genelde kül yapıcı madde, kömür üst ısı değerini doğrudan etkilemekte ve kül-ısı değer arasında lineer doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Kül-kalorifik değer korelasyonları çok yüksek değerlerde çıkmıştır.



Şekil 3. Kömürün Petrografik yapısının Isıl değer üzerindeki Etkisi (Sarma ve diğ., 2012).
Figure 3. The Effect of Coal Petrography on Calorific Value of Coals (Sarma ve diğ., 2012).

Farklı boyut gruplarında kül-ısı değer ilişkisinin irdelenmesi

Kömür külü-üst ısıl değer arasında, kömür boyut grubuna bağlı olmaksızın, genelde lineer bir ilişki olduğu yukarıda açıklanmıştır. Ancak, kömürün yapısındaki inorganik maddeler, kömür boyutlandırmasına bağlı olarak, farklı boyut gruplarında toplanabilmektedir. Bu durum, inorganik maddenin ufalanma karakteristiklerinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte yukarıda ifade edilen davranış, kömür yapısı içerisinde serbest halde olmayan, bünye külü olarak nitelendirilen inorganik madde varlığından kaynaklanabilmektedir. Bu tür bir değerlendirmeye ait örneklendirme ise Büyükdüz, Deniz LG ve SLİ kömürleri üzerinde yapılmış ve Şekil 9-11'de gösterilmiştir.

Şekil 9'da gösterilen Büyükdüz kömürü örneğinde, farklı boyut gruplarında yapılan zenginleştirme sonucunda elde edilen ürünler üzerinde yapılan kül-kalorifik değer tayini sonrasında kurulan ilişki değerlendirilecek olursa, hemen hemen tüm boyut grupları için kül-kalorifik değer ilişkisinin benzer olduğu gözlemlenmektedir.

Deniz kömürü değerlendirildiğinde ise (Şekil 10) düşük kül içerikli fraksiyonlarda tüm boyut grupları için

kül-kalorifik değer ilişkisinin benzer olduğu ancak, özellikle yüksek kül içerikli fraksiyonlarda bu benzerliğin bozulduğu anlaşılmaktadır. Kömürün organik kısmı kömürleşme ile ilişkili olduğundan, her boyut grubu için organik bileşenlerin benzer özellik gösterdiği, ancak, kömür yapısında bulunan inorganik madde türünün boyut grubuna bağlı olarak farklı boyut fraksiyonlarında toplandığı söylenebilir.

SLİ kömürü üzerinde kül-ısı değer ilişkisi incelenecek olursa (Şekil 11) gerek düşük kül içerikli gerekse yüksek kül içerikli ürünlerin kül-ısı değer ilişkisinin birbirinden farklı olduğu saptanmıştır. Bu durum, gerek kül yapıcı maddenin farklı boyut gruplarında ayrı ayrı toplanmasından kaynaklanmakta, gerekse kömürün organik kısmının farklı yapılardan (Maseraller) oluştuğunu göstermektedir. Bu durumun iyice anlaşılabilmesi için, organik kısmın analizinin detaylı olarak yapılması gerekmektedir.

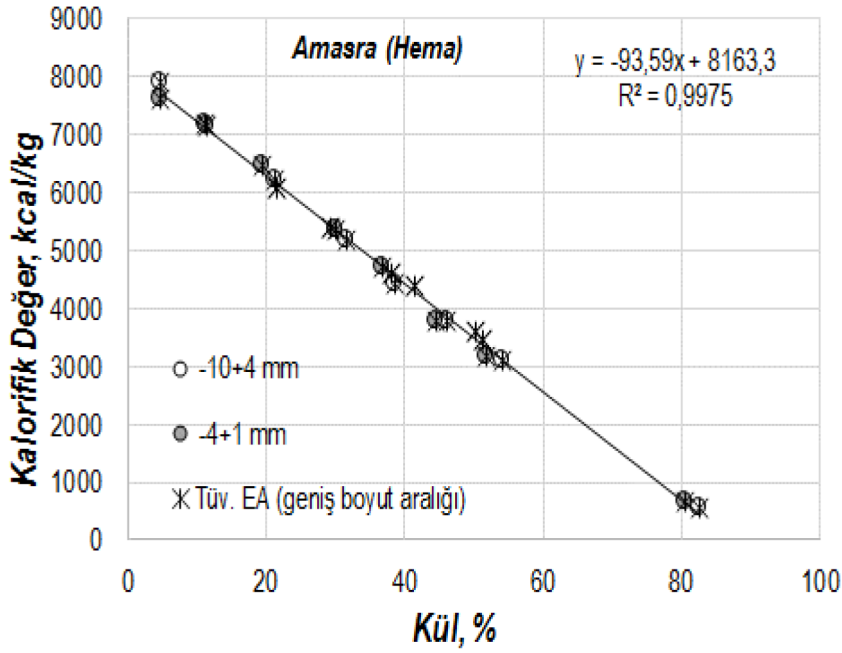
DeneySEL çalışmalarda değerlendirmeye alınan tüm kömür örnekleri üzerinde gerçekleştirilen kül-kalorifik değer ilişkisi Şekil 12'de verilmiştir.

Şekil 12'den görüleceği üzere değerlendirmeye alınan tüm kömür örneklerinin bireysel olarak kül-kalorifik değer ilişkisinin yüksek regresyonda oldu-

Çizelge 4 Tüvenan kömür numunelerinin standart kömür analizleri (Kuru baz).
Figure 4. Proximate analysis of some Turkish ROM Coals (dry base).

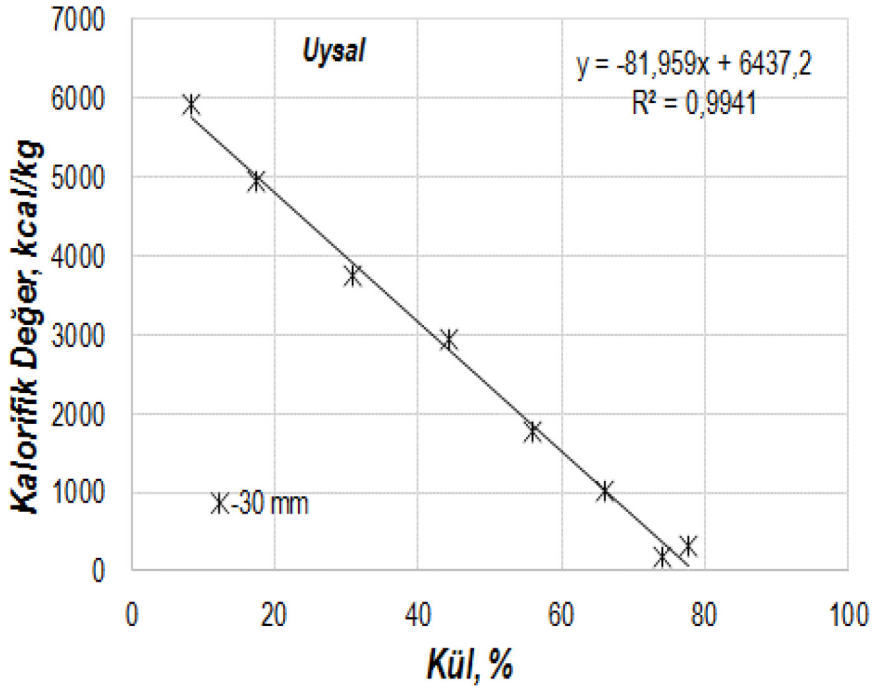
Numuneler	M (%)	K (%)	UM (%)	SK (%)	S (%)	KD
Seyitömer Linyit İşl. (SLİ)	31.1	53.7	26.70	19.60	0.85	1703
Çan Linyit İşletmesi (ÇLİ)	22.6	27.6	40.76	31.64	5.63	4225
Soma -10 mm (Eski Gürmin)	15.6	32.5	43.70	9.98	0.83	3638
Soma +10 mm (Eski Gürmin)	9.3	53.2	39.70	7.10	0.18	1390
Eynez Yeraltı (EYA)	12.3	32.9	38.70	28.40	0.71	3630
Büyükdüz (BYDZ)	9.1	44.4	28.60	27.00	1.03	3082
Yörgüç (YRÇ)	17.6	47.8	28.30	24.20	2.27	2007
Dragline BHY3	9.8	53.7	29.11	17.20	0.7	2655
48C Pano	12.9	39.4	32.24	28.36	1.46	3716
Ömerler Yer Altı (ÖYA)	11.2	48.7	30.1	21.20	0.89	2336
Deniş Lavvara Giden (DLG)	18.1	20.3	43.31	36.39	1.2	3780
Deniş Termiğe Giden DTG	23.7	28.4	42.60	29.00	1.51	3788
Tunçbilek-BYJ	9.6	39.0	48.20	12.80	1.65	3944
Soma İmbat (IMB)	8.0	49.0	29.50	21.50	0.21	1534
Soma İmbat Doğu Pano (IMBD)	8.4	37.1	33.74	29.16	0.54	3062
Işıklar (IşKL)	17.2	40.2	48.30	11.50	0.27	2730
Eynez Açık Ocak (EAO)	11.8	26.9	38.80	34.30	0.47	3927
Soma Sarıkaya (SRKY)	15.8	42.7	30.90	26.40	0.44	2544
Muğla Eskihisar (ESKH)	15.5	26.2	39.96	33.84	1.65	2687
Tınaz (TNZ)	11.8	44.9	44.56	10.54	1.83	1537
İkizköy (İKZ)	15.6	26.8	50.00	23.20	2.91	2010
Belentepe (BTP)	13.4	45.3	51.70	3.00	3.89	3407
Hüsamlar (HUS)	16.2	36.3	46.83	16.87	3.64	3539
Bursa Orhaneli (OHN)	12.6	25.4	39.80	34.80	3.25	3975
Bursa Keles (KLS)	26.8	19.4	36.66	43.94	2.85	3267
Amasra (AMSR)	3.93	38.	28.25	32.2	-	4591
Tekirdağ Malkara (UYS)	-	54.1	29.5	16.43	1.49	2345
Ankara Çayırhan Park1	-	-	-	-	-	-
Ankara Çayırhan Park2	-	-	-	-	-	-

K, UM, SK ve ısıł deđerleri kuru baza göre hesaplanmıřtır. (K: Kül, UM : Uçucu Madde, SK: Sabit Karbon)



Şekil 4. Amasra Bölgesi Kömürü Kül-Kalori Değer İlişkisi.

Figure 4. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Amasra Coal.

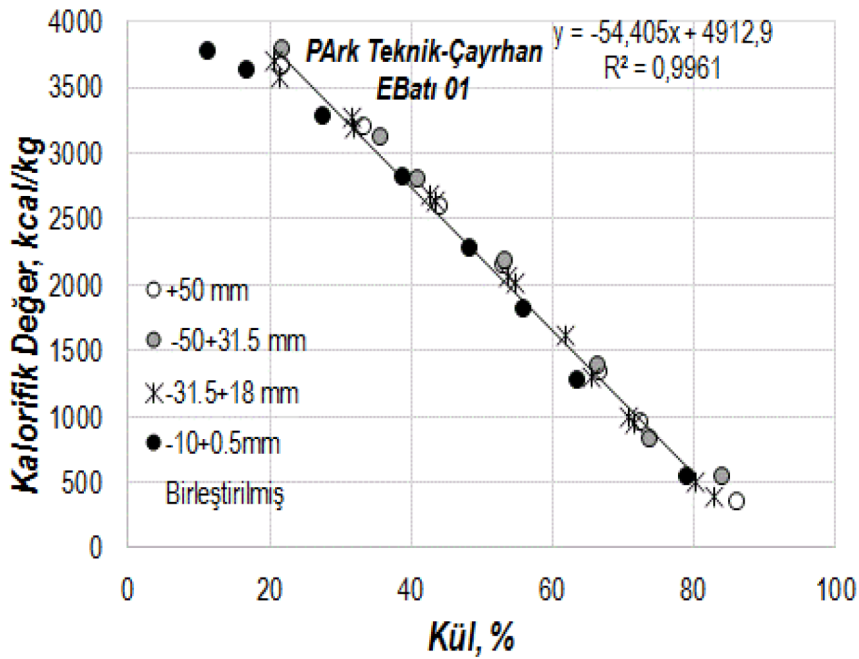


Şekil 5. Trakya Bölgesi Kömürü Kül-Kalori Değer İlişkisi.

Figure 5. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Thracian Coals.

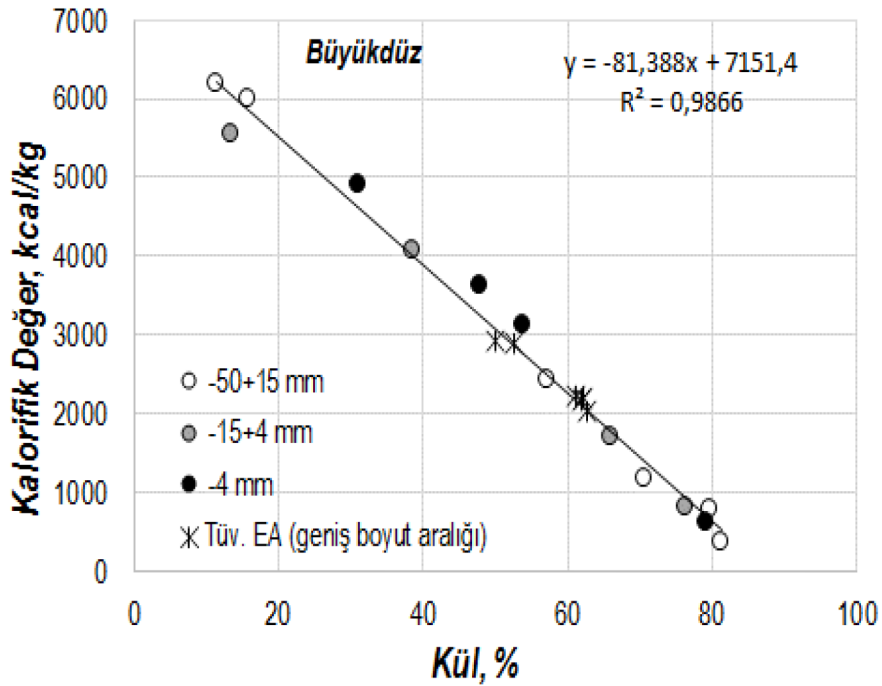
đu, ancak kömürler arasında ortak bir kül-kalorifik değer ilişkisinin kurulmasının mümkün olmadığı gözükmektedir. Değerlendirmeye alınan kömür örnekleri yüksek ranklı (Amasra bitümlü), yarı bitümlü

(Kütahya ve Soma bölgesi kömürleri) ve düşük ranklı kömürleri-linyitleri içermektedir. Her bir kömür örneğinin içerdiği inorganik madde türü gerek oluşum açısından gerekse mineral madde türü açısından



Şekil 6. Ankara Bölgesi Kömürü Kül-Kalori Değeri İlişkisi.

Figure 6. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Ankara (Çayırhan) Coals.

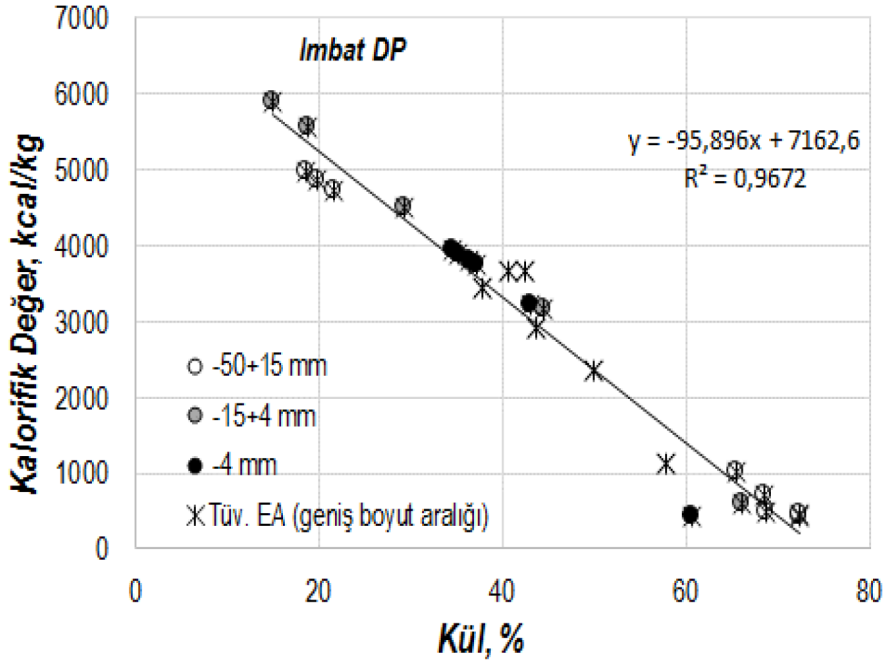


Şekil 7. Kütahya Bölgesi Kömürü Kül-Kalori Değeri İlişkisi.

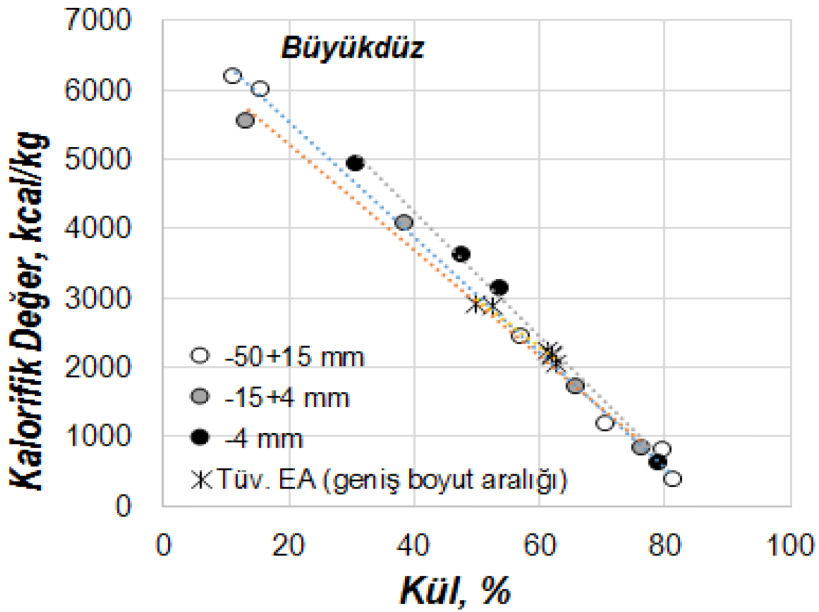
Figure 7. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Kütahya Coals.

farklılık göstermektedir. Dolayısıyla, gerek yüksek kül, gerekse düşük kül içerikli kömür ürünleri arasında kalorifik değer açısından büyük farklar oluşmuştur.

Yüksek kül içerikli ürünlerdeki ısıl değer değişimi mineral madde türü ve mineral madde oluşumu (bün-ye külü ya da serbest kül) arasındaki farklılıklardan



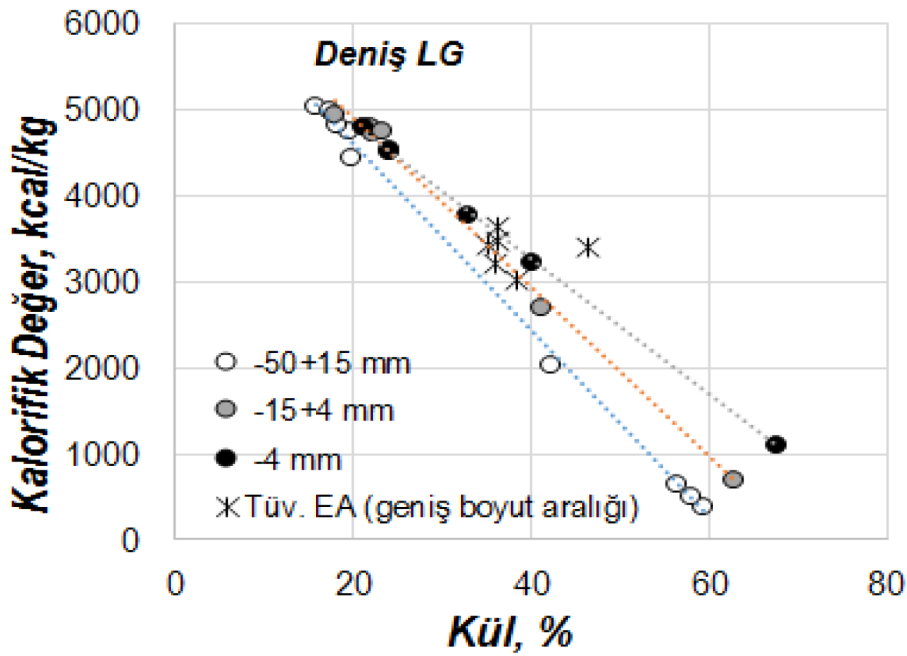
Şekil 8. Soma Bölgesi Kömürü Kül-Kalori Değeri İlişkisi.
Figure 8. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Soma Coals.



Şekil 9. Büyükdüz Kömürü Boyuta göre Kül-Kalori Değeri İlişkisi.
Figure 9. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Büyükdüz Coal.

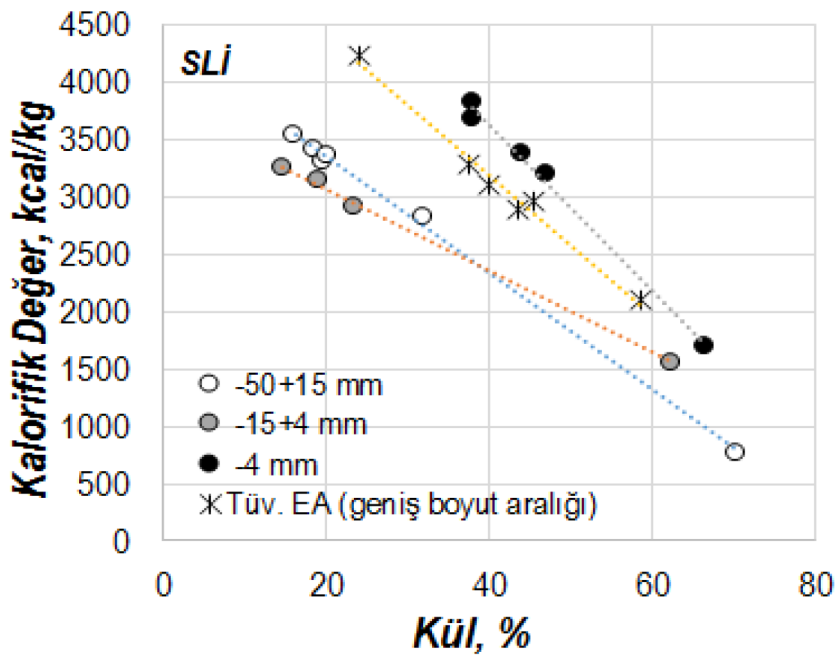
kaynaklanmaktadır. Özellikle, kızdırma kaybı yüksek olan kalsit, ankerit vs gibi kalsiyum karbonatlı kül yapıcı maddeleri içeren ürünlerde, düşük kül içeriği gözlenmesine rağmen, karşılık gelen kalorifik değerlerin düşük olduğu görülmüştür.

Öyle ki, atılabilir şist kalitesi için kalorifik değer <500 kcal/kg olarak düşünülürse 500 kcal/kg den daha düşük ısıl değerlikli şistlerin kül içerikleri % 65-83 arasında değişim göstermiştir. Yani diğer bir deyişle, atılabilir kalitede şist üretimi için kül değerlerinin



şekil 10. Deniş (LG) Kömürü Boyuta göre Kl-Kalori Değer İlişkisi.

Figure 10. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Deniş (Washery feed) Coal.

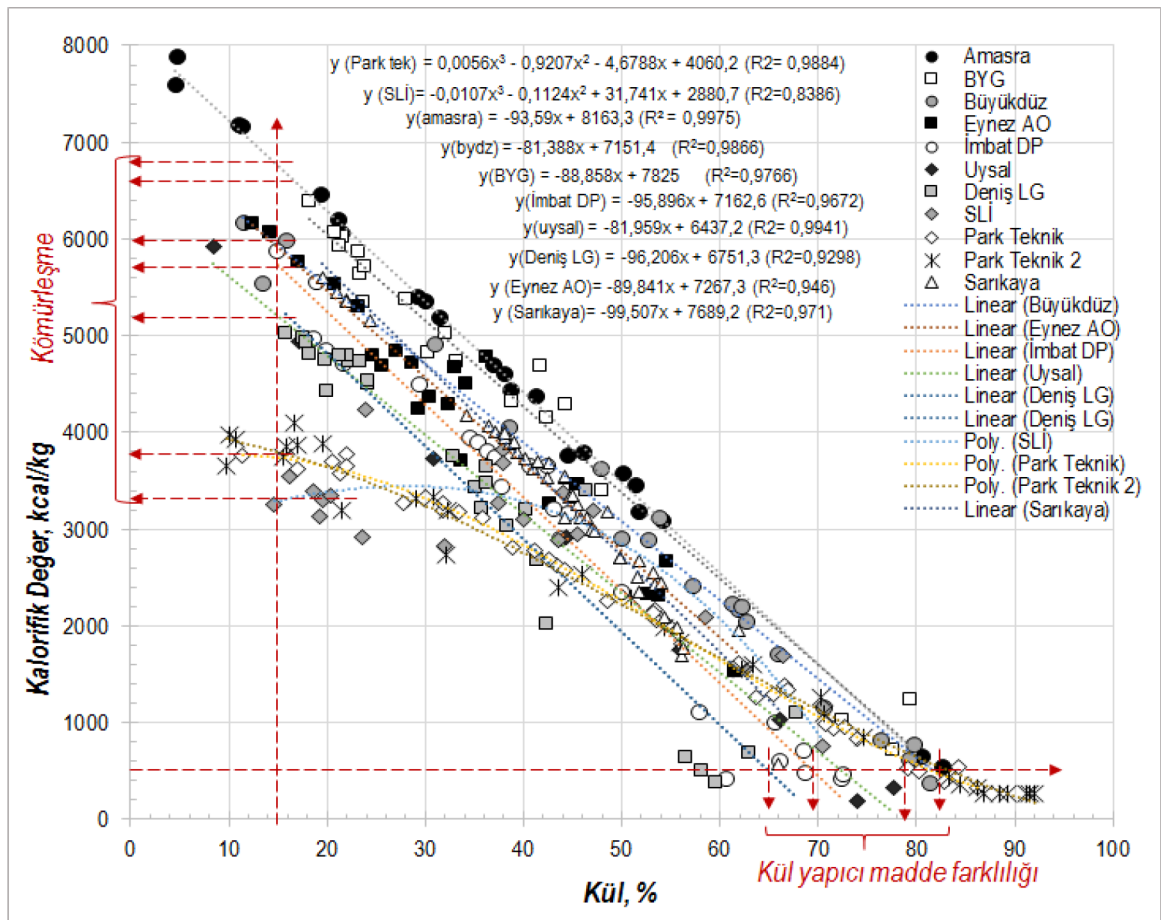


şekil 11. Seyitömer Kömürü Boyuta göre Kl-Kalori Değer İlişkisi.

Figure 11. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Seyitömer Coal.

Kütahya bölgesi kömürleri uygulamasında % 83, Soma bölgesi kömürleri uygulamasında % 65 civarında olması beklenmektedir. Değerlendirmede kullanılan 4 farklı kömür külünün kimyasal analizi izelge 5'te verilmektedir.

Düşük kül içerikli kömür ürünlerinin kl-kalorifik değer ilişkisi incelenecek olursa, SLİ, Uysal (Trakya bölgesi) ve Deniş LG (Soma bölgesi), Park teknik (Çayırhan Bölgesi) kömürleri gibi düşük ranklı kömürlerin aynı kül değerleri için daha düşük ısıl değerlikli



Şekil 12. Farklı Türk Kömürlerine ait Kül-Kalori Değer İlişkisi .

Figure 12. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Coals from Different Coal Deposits in Turkey.

Çizelge 5. Toplu grafikte verilen Kömür örneklerinden bazılarına ait Kimyasal analiz Sonuçları

Figure 5. Chemical analysis results of some Turkish Coals at summarized and detailed graphics given above.

Bileşen, %	Deniş LG	İmbat DP	BYKDZ	SLİ
SiO ₂	24.54	48.37	54.66	62.63
Al ₂ O ₃	11.67	14.17	15.46	18.42
Fe ₂ O ₃	4.16	2.29	10.40	7.62
MgO	2.00	1.60	5.37	3.36
CaO	43.65	24.20	1.93	1.84
Na ₂ O	0.18	1.25	0.16	0.80
K ₂ O	0.61	1.28	1.79	1.93
TiO ₂	0.41	0.42	0.72	0.73
P ₂ O ₅	0.13	0.20	0.14	0.11
MnO	0.05	0.03	0.18	0.04
Cr ₂ O ₃	0.012	0.008	0.080	0.067

ürünler sunduğu görülmüştür. Bu durum tamamıyla kömürleşme derecesiyle ilgilidir.

Kömürleşme derecesi kısa ve elementel analizlerde yer alan sabit karbon, uçucu madde, nem, oksijen, hidrojen, azot ve sülfür içerikleri gibi bileşenler tarafından kontrol edilmektedir.

Dolayısıyla, kısa kömür ve elementel analiz bileşenlerinin etkisi bir sonraki bölümde tartışılmıştır.

Bazı Türk kömürleri üzerinde, Kısa Analiz kömür bileşenleri-ısıl değer ilişkisinin irdelenmesi

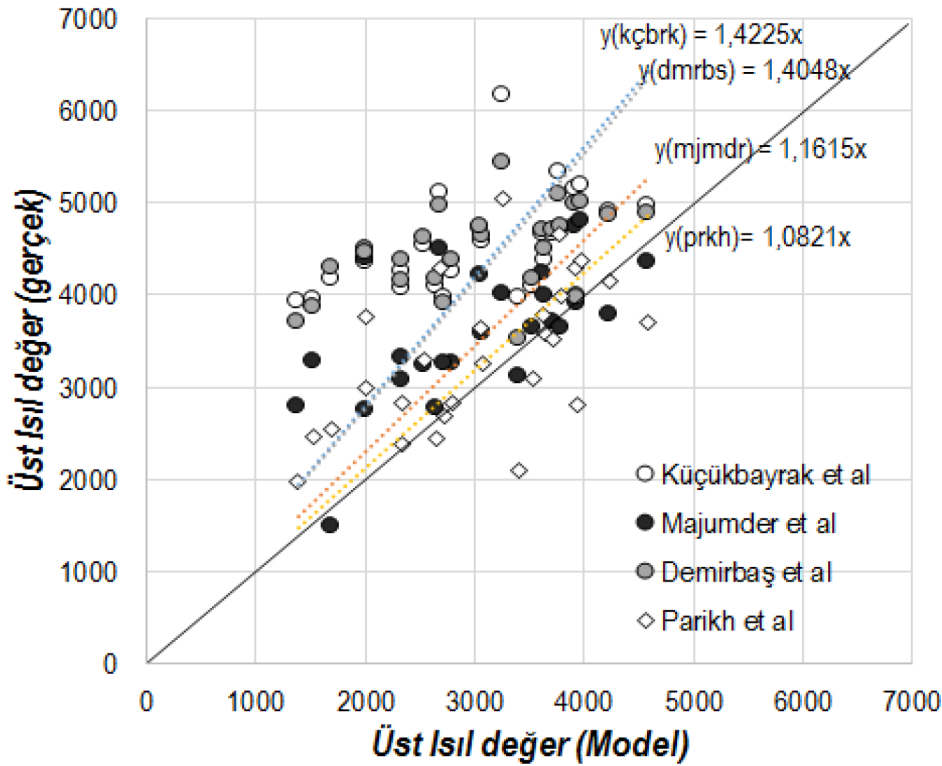
Kısa Kömür analiz bileşenleri-ısıl değer ilişkisinin değerlendirilmesi 15'den fazla Türk kömürü kullanılarak, karşılaştırmalı olarak, Şekil 13' de yapılmıştır.

Şekil 13'den gözleneceği üzere literatürde yer alan ve birçok araştırmacı tarafından kurulmuş olan kısa kömür analiz bileşenleri-ısıl değer ilişkilerinden, yüksek regresyonlu olanları seçilmiş ve uygulanmış olmasına rağmen, modellerin ancak, kaba bir yaklaşım

gösterebildikleri, en iyi yaklaşım gösteren modelin Parikh ve arkadaşları (2005) tarafından sunulan model olduğu anlaşılmıştır. Ancak bu modelde dahi, hata payı % 8 civarında çıkmıştır. Bu modele göre yapılacak olan değerlendirmenin özellikle yüksek ısıl değerlikli kömürlerin modellenmesinde büyük farklar yaratacağı aşıkardır. Kısa kömür bileşenleri ve kül içeriği-üst ısıl değer ilişkisindeki kaba yaklaşımların ve yüksek hata paylarının nedeninin, kömür mase-ral yapısıyla ilgili olduğu düşünülmüştür. Dolayısıyla daha güçlü bir modelin kurulması için kısa kömür, elementel ve petrografik analiz verilerinin birlikte değerlendirilebildiği modellerin kurulması gerektiği düşünülmektedir.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kısa kömür analiz bileşenleri-üst ısıl değer ilişkisinin tartışıldığı bu çalışmada bireysel kömür örnekleri için kül-ısıl değer ilişkisinin yüksek yaklaşımla kurulabileceği, kül içeriğinin artışına bağlı olarak kömür ısıl değerinde lineer bir azalma olduğu anlaşılmıştır. Ancak,



Şekil 13. Farklı Türk Kömürleri Kullanılarak, Kısa Kömür analiz bileşenleri-ısıl değer ilişkisinin farklı modellere göre değerlendirilmesi.

Figure 13. Evaluation of Relationship Between Proximate Analysis Constituents and Calorific Value Based on Models Proposed by Different Researchers.

kömür içerisindeki inorganik madde türlerinin farklı boyut gruplarında ayrı ayrı yığılma gösterebileceği ve bu davranışın da boyuta bağlı olarak kül-ısıl değer ilişkisinin etkileyeceği saptanmıştır.

Farklı Türk kömürleri üzerinde gerçekleştirilen kül-ısıl değer ilişkisi değerlendirilmesi yapılmış ve kül-ısıl değer ilişkisinin kömürden kömüre farklılık gösterdiği anlaşılmıştır. Bunun nedenleri olarak özellikle yüksek kül içerikli ürünlerde inorganik madde türünden kaynaklanan ve çoğunlukla kızdırma kaybının etken olduğu farklılıktan kaynaklandığı, düşük kül içerikli ürünlerin ısıl değerlerinin kömüre bağlı olarak farklılık göstermesinin ise kömürleşme derecesinden kaynaklandığı anlaşılmıştır.

Kömürleşme derecesi, kısa kömür ve elementel kömür analizlerinde yer alan uçucu madde, sabit karbon bileşenleri ile petrografik analiz bileşenlerinde yer alan, maseral grupları ile belirlenmekte olup, kömürleşme derecesinden kaynaklanan, yukarıda ifade edilen özelliklerin değişim göstermesi sonucunda, doğal olarak kömür kalitesini ve birim karbon bazında vereceği ısıl değerini doğrudan etkilediği de örneklerle tartışılmıştır.

Yukarıda açıklanan sonuçlara dayanarak herhangi bir kömürün kalitesinin sadece kül içeriği ile tanımlanmasının eksik olacağı, kalorifik değerinin de ifade edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Özellikle kömür yıkama işlemleri sonrasında yine ürün kalitesinin sadece kül içeriği ile değil kalorifik değer ile de tanımlanması gerektiği anlaşılmıştır. Bununla birlikte özellikle termik santrallere kömür beslemesi yapılırken, kömür ısıl değerinin X-ray cihazlarıyla tanımlanmasının zor olacağı, bu tanımlamanın bireysel kömür örnekleri için mümkün olacağı ancak global bir kömür bileşenleri-ısıl değer tanımlamasının yüksek uyumluluk dereceleriyle yapılamayacağı anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Ateşok, G., 2005. Kömür Hazırlama ve Teknolojisi, 975-7946-22-2, İstanbul.
- Benson, S.A., Jones, M.L. and Harb, J.N., 1993. Ash formation and deposition. In Smoot, L.D. (Ed), *Fundamentals of Coal Combustion - for Clean and Efficient Use*, Coal Science and Technology 20, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, ISBN 0-444-89643- 0, Chapter 4, pp. 299-373.
- Callejón-Ferre, A.J., Velázquez-Martí, B., López-Martínez, J.A., Manzano-Agügliaro, F., 2011. Greenhouse crop residues: energy potential and models for the prediction of their higher heating value, *Renew Sust Energy Rev*, 15, 948-955.
- Chelgani, S.C. and Makaremi, S., 2013. Explaining the relationship between common coal analyses and Afghan coal parameters using statistical modeling methods, *Fuel Process Technol*, 110, 79-85.
- Ghugare, S.B., Tiwary, S., Elangovan, V., Tambe, S.S., 2014. Prediction of higher heating value of solid biomass fuels using artificial intelligence formalisms, *Bioenergy Res.*, 7, 681-692.
- Demirbaş, A., 1997. Calculation of Higher heating values of biomass fuels, *Fuel*, 76(5), 43.
- Erol, M., Haykiri-Acma, H., Küçükbayrak, S., 2010. Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data, *Renew Energy*, 35, 170-173.
- Feng, Q., Zhang, J., Zhang X. and 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*, 129, 120-129.
- Kathiravale, S, Yunus, M.N.M., Sopian, K., Samsuddin, A.H., Rahman R.A., 2003. Modeling the heating value of municipal solid waste, *Fuel*, 82,1119-1125.
- Küçükbayrak, S., Duruş, B, Meriçboyu, A.E., Kadioğlu, E., 1991. Estimation of Calorific values of Turkish lignites, *Fuel*, 70, 979-81.
- Majumder, A.K., Jain, Rachana, Banerjee, P., Barnwal, J.P., 2008. Development of a new proximate analysis based correlation to predict calorific value of coal, *Fuel*, 87, 3077-3081.
- Matin, S.S., Chehreh, C.S., 2016. Estimation of coal gross calorific value based on various analyses by random forest method, *Fuel*, 177, 487-49.
- Mohammed I.Y., Kazi F.K., Yusuf S.B., Alshareef I., Chi S.A., 2014. Higher heating value (HHV) prediction model from biomass proximate analysis data. *International conference & exhibition on clean energy, Quebec*, 20-22.

- Parikh, J., Channiwala, SA., Ghosal, GK., 2005. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solids fuel, *Fuel*, 2005, 484-94.
- Roberto, G., Consuelo, P., Antonio, G.L., 2014. Spanish biofuels heating value estimation. Part I: Ultimate analysis data, *Fuel*, 117, 1130-1138.
- Setyawati, W., Damanhuri, E., Lestari, P., Dewi, K., 2015. Correlation equation to predict HHV of tropical peat based on its ultimate analyses, *Procedia Eng*, 125, 298-303.
- Sharma, A., Saikia, B. K., Baruah, B. P., 2012. Maceral Contents Of Tertiary Indian Coals And Their Relationship With Calorific Values, *Int. Journal of Innovative Research and Developments*, vol 1 (7), 196-203.
- Thipkhumthod, P., Meeyoo, V., Rangsunvigit, P., Kitivanan, B., Siemanond, K., Rirksomboon, T., 2005. Predicting the heating value of sewage sludges in Thailand from proximate and ultimate analyses, *Fuel*, 84, 849-857.
- Toscano, G., Foppa, P.E., 2009. Calorific value determination of solid biomass fuel by simplified method, *J Agricultural Eng*, XL, 1-6.
- Wen, X., Jian, S, Wang, J., 2017. Prediction models of calorific value of coal based wavelet neural networks, *Fuel*, 199, 512-522.
- Yin, C.Y., 2011. Prediction of higher heating values of biomass from proximate and ultimate analyses, *Fuel*, 90, 1128-1132.

