

## Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları

G. Güler, E. Güler, Ü. İpekoğlu, H. Mordoğan  
Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye

**ÖZET:** Günümüzde kömür en önemli enerji kaynaklarından biridir. Ülkemizde enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulan büyük kapasiteli kömür yakan termik santrallerde, düşük kalorili, kül oranı yüksek linyitler kullanılmaktadır. Kömürün yanması sonucunda uçucu kül, cüruf ve baca gazı gibi atıklar oluşur.

Türkiye'de bir yılda yaklaşık 45 milyon ton kömür yakılmakta ve ortalama 15 milyon ton uçucu kül üretilmektedir. Bu ise önemli derecede ekonomik ve çevresel problemler meydana getirmektedir. Oysaki uçucu küller endüstriyel atık olarak geri kazanılmaya elverişli bir malzeme olup değişik sektörlerde değerlendirme olanakları vardır. Bu çalışmada; uçucu küllerin özellikleri, kullanım teknolojileri ve dünyadaki kullanım alanları özetlenmiştir.

**ABSTRACT:** Coal stands as one of the prominent energy resources in our day. In the coal-combustion huge capacity power plants, which were set up, to meet the energy need in our country, low calorie lignites having a high content of ash are being utilized. The combustion of coal yields waste products such as fly ash, slag and flue gas.

In Turkey, approximately 45 million tons of coal is combusted annually and an average of 15 million tons of fly ash are produced which brings up an important economic and environmental issue. In fact, fly ashes are suitable for industrial recovery and they have a wide range of uses in various sectors. In this study, the properties, consumption technologies and utilization areas of fly ashes in the world have been outlined.

### 1 UÇUCU KÜL "TANIMI VE ÖZELLİKLERİ"

#### 1.1 Uçucu külün Tanımı

Uçucu kül üretimini; santral tipi, işletim biçimi, yakılan kömürün cinsi, yanma biçimi gibi çeşitli faktörler etkilemekle birlikte genel olarak elektrik enerjisi üreten termik santrallerde kullanılan taşkömürünün %10-15'inin, linyit kömürünün ise %20-50'si kül olarak ortaya çıkmaktadır. Yanma sonucu ortaya çıkan külün %75-85'i baca gazları ile kazandan çıkar ve bu atıklar "uçucu kül" olarak tanımlanırlar. Santral lede, baca gazlarından uçucu küllerin tutulması amacıyla genel olarak yüksek verimli elektrolitler kullanılmaktadır (Morrison, 1970).

#### 1.2. Küllerin Özellikleri

Uçucu külün fiziksel, kimyasal, minerolojik ve puzalonik özelliklerinin en belirgin ortak yanı, bunların yöreden yöreye, hatta aynı yörede dahi değişkenlik göstermeleridir.

Bu değişkenlik;

- ☞ Uçucu külün kaynağının oluşturan kömürün türü ve değişkenliğine,
- ☞ Kömürün yakılmadan önceki öğütülme (pulvarizasyon) derecesine.
- ☞ Kazan türüne.
- ☞ Yakma sıcaklığı ve diğer işletme parametrelerine,
- ☞ Kül toplama ve uzaklaştırma sistemlerinin özellikleri ve işleyişine.
- ☞ Çevre korunması amacıyla kömüre ilave edilen katkı maddeleri gibi faktörlerden ve faktörlerin de zamana göre

değişebilmelerinden kaynaklanan özelliklere bağlıdır (Kefelioğlu, 1998; Hycnar, 1983).

### 1.2.1. Uçucu Küllerin Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri

Uçucu kül, koyu gri renkte, çok ufak taneli bir malzemedir. Renginin koyuluğu açıklığı, elde edildiği kömüre ve yanış özelliğine bağlıdır. Yanmanın tam olmadığı durumda oluşan uçucu küle siyah renk veren içindeki yanmamış karbondur. İyi yanma sonucu oluşan uçucu kül diğerine göre daha açık renktedir.

Uçucu külün İnceliği öncelikle kazana verilen kömürün öğütülme derecesine bağlıdır, inceliğe etki eden ikinci faktör, küllerin mümkün olabildiğince bacadan kaçmasına mani olunarak tutulmasıdır. Bacadan kaçan kısım azaldıkça incelik artar. Boyutları genellikle 0.5 ile 200 mikron arasında değişen, camsı ve çoğunlukla küresel karakterdeki parçacıklardır. Spesifik yüzeyleri 1800 - 5000 cm<sup>2</sup>/gr arasında değişmekle birlikte, ortalama 2800 - 3800 cm<sup>2</sup>/gr dolayındadır.

Uçucu külün yoğunluğu; inceliğine ve mineralojik yapısına bağlıdır. İçi dolu küresel tanelerden meydana gelen uçucu küllerin mutlak yoğunluğu 2.2 - 2.7 gr/cm<sup>3</sup> arasındadır (EtE, 1979 ve 1982).

Kimyasal kompozisyon olarak incelendiklerinde, uçucu küllerin, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve MgO'nun yer aldığı bileşiklerden oluştuğu görülmektedir. İçerisinde bulunabilen karbon miktarı kömür tipine ve yakma işlemine göre değişiklikler göstermektedir. Ayrıca, kullanılan kömür tipine bağlı olarak bazılarında önemli miktarda CaO bulunabilmektedir. Türkiye'de bu tür bir sınıflandırma mevcut olmamakla birlikte, bazı ülkelerin standartlarında, %10'dan daha fazla miktarda CaO bulunduran küller "yüksek kireçli uçucu kül" olarak tanımlanmaktadır (Kefelioğlu, 1998).

Mineralojik ve kimyasal özellikler açısından uçucu küller, içi boşlukta ve boşluksuz, camsal kürecikler süngerimsi mineral parçacıklar ve yanmamış taneciklerden oluşurlar. Kimyasal yapılarında temel element olarak Si, Al, Ca ve S bulunur. Uçucu küllerin matrisi esas olarak alümina silikatlarından ve bunlarla birlikte bulunabilen Fe, Mg, Na, K, Ca, Ti ve nadir toprak elementlerinden oluşur. Uçucu olan veya uçucu oksitleri oluşturan As, Cd, Ga, Mo, Pb, Se ve Zn gibi elementler matrisine girme eğilimi göstermezler. Bu elementler derişimleri tane boyutu ile ters orantılı olarak uçucu küllerin yüzeylerinde toplanırlar (Çancı vd., 1997).

### 1.2.2. Uçucu Küllerin Puzolanik Özelliği

Puzolanlar, kendileri hidrolik bağlayıcı olmamalarına karşın ince olarak öğütüldüklerinde nemli ortamda ve normal sıcaklıkta kalsiyum hidroksille reaksiyona girerek bağlayıcı özellikte bileşikler oluşturan doğal veya yapay malzemelerdir.

Puzolanlar, gerek çimento yapımı sırasında klinkerle birlikte öğütülerek, gerekse şantiyede çimentoya yapının özelliğine göre değişik oranlarda katılarak beton yapımında kullanılmaktadır. Puzolanların kullanılması ekonomi dışında çimento ve betona pek çok iyi özellikler kazandırmaktadır. Diğer bir deyimle puzolanlı çimentolara, hataları düzeltilmiş portland çimentoları denebilir.

Uçucu küller de puzolanik özellikleri nedeni ile puzolan olarak kullanılabilen malzemelerdir. Ancak, çimento veya klinkere katılacak puzolanların belirli bir özellikte olması gerekmektedir. Klinker ve beton uçucu küllerinin sahip olması gereken özellikler "Türk Standartlarında" TS - 639 ve TS - 640'da verilmiştir.

Gerek çimento fabrikasında klinkere, gerekse şantiyede çimento içerisine katılacak uçucu külün mutlaka puzolanik özelliğinin tespit edilmesine ihtiyaç vardır, istenen düzeyde puzolanik aktivitesi olmayan uçucu kül bu iki amaç için kullanılamaz. Gerekli puzolanik aktiviteye ek olarak, uçucu külün kimyasal Özelliklerinin (SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>, kızdırma kaybı, nem, alkaliler) ve fiziksel Özelliklerinin (incelik basınç dayanımı, büzülme, su alma kapasitesi, çimento alkalinitesi ile şişme) de bilinmesi gerekmektedir. Farklı ülkelerin standartlarında bu sayılan fiziksel ve kimyasal özelliklerin bazıları veya tümü İstenmektedir.

Yukarıda belirtildiği gibi, uçucu küllerle ilgili olarak Türk Standartları Enstitüsü'nce hazırlanmış olan iki standart bulunmaktadır.

^ TS 639 "Uçucu Kül": Uçucu küllerin tanımı, sınıflandırılması, özellikleri, deney yöntemleri ve kalite kontrolü ile ilgilidir. Uçucu küllerin kimyasal özellikleriyle ilgili olarak getirilen sınırlandırmalar aşağıda Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1 TS 639'da Belirtilen Uçucu Kulun Kimyasal Özelliklen

O/ellikler	Standart Sınırlan
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	en AL %70
MgO	en çok %5
SO <sub>2</sub>	en çok fr5
Rutubet	en çok %3
Kızdırma Kaybı	en çok % 10

TS 640 'Uçucu Kullu Çimento" Bu standart, uçucu kullu çimentoların tartıne, fiziksel ve kimyasal özelliklerine muayene ve deneylerine piyasaya arz şekillen ile denetleme esaslarına aittir (Kcfehoğlu, 1998)

## 2. UÇUCU KULLERİN KULLANIM ALANLARI

Uçucu kul üzerinde yapılan araştırmalar son 25 yılda büyük yoğunluk kazanmıştır. Öncelen daha çok uçucu kulun genel yapısı ve özelliklen ile kullanım olanaklarına yönelen çalışmalar, zamanla laboratuvar ve arazide geçek leşim len analizlerle geliştirilmiş, sonuçta uçucu kulun inşaat alanında, özellikle yol yapımında kullanılması, termik santrallerde büyük mertebelere atık inadde olarak oluşan bu malzemenin uzaklaştırılması sorununa çözüm getireceği açığa kavuşmuştur. Yapılan çalışmaların sonucunda, uçucu kulun özellikle yol yapımında, zemin stabilizasyonunda, ayrıca dolgu ve enjeksiyon işlemlerinde kullanılması öngörölmüş tur (Seals, 1977)

Çeşitli nedenlerle uçucu kulun yapısı ve özelliklen zamana ve yere göre büyük değişkenlik gosteidiğinden, birçok gelişmiş ulke kulun larklı alanlarda kullanılmasını geçerli kılacak standartlara ihtiyaç duymuştur. Bu nedenle uçucu külle ilgili standartların belirlenmesi için yoğun çalışmalar yapılmışın (Ovens 1979. Morisson, 1970) Ülkemizde bu konuda Turk Standartları Enstitüsü tarafından TS-639 'Uçucu Kuller" ve TS 640 'Uçucu Kullu Çimento" standartları çıkarılmıştır (E(E, 1979, 1982)

Uçucu küller dünyada çimento ve beton olarak baraj duvarları kopru ayakları, maden ve diğer yapıların dolgu enjeksiyonlarında ve diğer pek çok inşaat yapılarında tarımda çatı bahçesi ve ağaçlandırma çalışmalarında, agrega olarak otayol kopru yol ve briket yapımında, endüstride hatıl mınıcal dolgu maddesi asfalt içinde dolgu maddesi, yol dıcnaj kanallaında kullantılmaktadı. Örneğin Frankfurt'ta HO m yükseklikteki Castor ve Pollux

gökdelenleri ile Madrid'le 171 m yükseklikteki Picasso gökdeleninin değişik bölümlerinde %20 ile %40 arasında, Lizbon'da Caixa Gérai Deposite bankasının binasında. Danimarka'da Great Bell East koprusunun yapımında, Finlandiya'da Permantokoski hidroelektrik santrali yapımında, Fransa'da Puylaurent barajında. Hollanda'da Eindhoven Havaalanı «uř pistinde, Avusturya'da yeraltı tren yolu tünellerinde. İtalya'da yerüstü elektrik direkleri yapımında. İskoçya'da Tornes Nükleer Enerji Santrali yapımında, İngiltere'de denize yapılmış, B P 'ye ait 570,000 vanlı ham petrol depolama kapasitesine sahip yapıda. Belçika'da 43 60 m yükseklikteki 4 adet uçucu kul depolama kuleunun yapımında ve İngiltere ile Fransa'yı birbirine bağlayan ve 100 yıllık kullanım için dizayn edilen hızlı tren hattının tunel inşaatında uçucu kul kullanılmıştır (Ecoba, 2001)

1960'lardan bu yana yapılan çeşitli araştırmalarda Türkiye uçucu küllerinin genellikle iyi kalitede olduğu ve çeşitli alanlarda kullanılabileceği onaya konmuştur (Kimya ve Maden Muh Odası, 1999) Ancak malzeme, ülkemizde pratik açıdan yeterli düzeyde tanınmamakta, kullanım alanları, teknik ve ekonomik yararlarına gerektiği kadar önem verilmemektedir. Dolayısıyla kullanımı yaygın hale gelmemiş durumdadır. Bu konuda gelişim sağlanabilmesi için, uçucu kul özelliklerinin ve standartların belirlenmesinin oiesmde kalite kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi, taşıma ve özellikle pazarlama gibi faktörlerin incelenmesi zorunludur. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda genel olarak Türkiye uçucu küllerinin, çimento kalkı maddesi olarak değerlendirilmesi, hafif agrega ve beton yapımında kullanılması, su yapıları ve inşaatlarında yararlanılması önerilmiştir (Kelehoğlu, 1998. DSİ, 1977)

Çizelge 2'de komur kulunun kullanım alanları sektörlerle göre sınıflandırılmıştır

Çizelge 2 Komur Kulu Kullanım Teknolojilerinin Sınıflandırılması (M Nomma. 2004)

Kullanıldığı Sektör	Kullanım Alanı	Kullanım Aman	
Çimenin Uenım	Çimenin Hjuunadtles!	Kil ikame maddesi ol.u.ık	
	Çimenin kalkış	Cortland çunutosu (kili -%s)	
		Ucunu killin çimeimi (kül 'i 10 10)	
		Yüksek liai imli TA ç 1 memos u (kul -WSj	
	Bel on kalkış 1	RCD (Roller Compound Dam) yöntemi	
Super plastik beton			
Yapım İkiminde	Yol Y.ıpnıı	Asi.ılı dolgusu	
		Alı temel ve .alı sınıl Uıprak (klnkerlvulu) (Newborn kühl) (PIWICL.)	
	Ti{>rak ilerinde	Doldurma ve düzenleme	İozotek
		Gen Dolgu	Dağılmayan ve yüksek yoğunluklu re kl amas yun
		S.u,ı,ıml.i)ırma	Pil İp/bu la maç yitmemi
			Ha/ır karışımı vomenu
			Palp yon icmi
		Su altı yapıları	rGC(ii,(unı kul lia v.ı-vı mentol derin karım sağlamlığı
	SCİ* malzemesi (kum sıkılaştırma.ı ıgını)		
	Y .ipim işlerinde kullan un		
	Deniz dibi laban toprağı olarak		
	PC (0n genime belim) yuıtemi		
	İuşa.ıı Malzemesi Ol.ıı ık	İşum Ayınga Uretımı	CAP (Konun kullıı p.dp jtrleştıme) ymıtını
			Palp yönlendiril
			Halıf ayrega
		Yapı ni.ılı/e ıı KM ularak	Çok hahl agrega(p -1 25)
			Yüksek dayanimli apegə (p 1 7-1 9)
			Basuclıbnıh.ır iyileştırmeli d^retı^lp 17 1')
			Yapı mal/cmest tduvar yapımı ses ve ısı izolasyonu lahan döşemede)
Zu.ı.ıt Önn.ını.ıık ve Balıkçılıkla	7ıraal Malzemesi	Seramikler (Lıvan kiremidı uıUımı)	
		Çımıtınlı ürünler (direk ve blok ürünler)	
Diğer Kullanım alanları	Desultrızasıyotı kimyasalı	Gubn. fo/ei}iıbre.ıoıasyum silıkallıgulre)	
		Toprak ısı kılı 1	
	Dyer	Denizcilik yapımı ijSerinde	Kar emme malzemesi olarak
Absurbsıyonamalı,lı		Balık barınanı (F^GC yosun yalağı ve buyulnic)	
		Kuru süitın anıma leaktılı	
		Yapavzeolıl urelıını	
		Lastik dolgusu pas önleyici değeri ılı.ıdde geri kazanımı	

### 3. SONUÇLAR

Bu atıkların bir tarafian yarattığı sorunlar ve hu sorunların enerji üretimine paralel olarak artışı, diğer taraftan endüstriyel artık olarak geü kazanılmaya

elverişli bir malzeme niteliği taşıması, çeşitli alanları da değerlendirilmesi olanaklarının araştırılmasına neden olmuştur Gerçekten uçucu kul ve termik santralde onunla birlikte oluşan cıuuf, içtiği toksik maddelerin bir şekilde zararsız hale

getirilmiş olması koşuluyla, mühendisliğin çeşitli dallarından, endüstride çeşitli metallerin eldesine, hatta tarım alanına kadar çok geniş uygulama sahası bulabilir.

Termik santral alıklarının bu şekilde değerlendirilmesi, depolama sorununu büyük ölçüde ortadan kaldıracığı gibi, çevresel sorunları bertaraf edecek, özellikle kısıtlı diğer doğal hammaddelerden tasarruf edilmesini sağlayacak, bunların da ötesinde nitelik ve nicelik açısından daha iyi ürünler elde edilebilecektir.

#### **KAYNAKLAR**

- Cohen. H., Polat. M. & et alı (2001). "Chemical Scrubbing of Acidic Organic Effluents Using Coal Fly Ashes" Issue 5-6. Ore Dressing-Izmir
- Çana. B., Güleç. N., & Erler. A. (1997). "Kömür Yakıtlı Termik Santral lardaki Uçucu Küllerin Çevreye Etkisi". Genel değerlendirme. Selçuk Univ. Müh-Mim. Fak. 20. Yıl Jeoloji Semp., IS1 -187. Konya.
- Ecoba. (2001). Information Bulletin. Italy.
- EİE. (1979). "Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanılma Olanakları". Ankara.
- EİE. (1982) "Türkiye uçucu küllerinin özellikleri" EİE Yayını. 82. 21-28. Ankara.
- Hycnar, J. (1983). Reducing harmful influence of power stations on the natural environmental by the utilization of fly ashes and slags. UNEP/USSR, Donetok.
- Kefeliogiu. S., "Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanılma İmkanları" Teknoloji, 1998
- Nomura. M. "Japonya'da Kömür Külü Kullanım Teknolojilerinin Günümüzdeki Durumu" X Mineral Processing Symposium. Çeçine, 2004
- Morrison. R.E. (1970). "A Review of Ash Specifications." Symposium on Fly Ash Utilization, pp. 24-31. Pittsburgh.
- Ovens. P.L. (1979). "Fly ash and its usage in concrete. Concrete" (GBt, 13. no. 7. 21-26.
- Seals. R.K. (1977). "Properties of bottom ash/boiler slag and fly ash. Short Course. Technology and Utilization of Power Plant ash", p.59.

