

## MİNERALOJİK KATKILARIN ÇEŞİTLİ TANIMLARI, SINIFLARI, ÖZELLİKLERİ ve KULLANIM ALANLARI (BÖLÜM 2)

Mehmet Serkan KIRGIZ

Hacettepe Üniversitesi Polatlı Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Ankara  
e-mail: kirgiz@hacettepe.edu.tr

Alınış: 11 Şubat 2009

Kabul Ediliş: 09 Kasım 2009

**Özet:** Bu çalışmanın birinci bölümünde mineralojik katkıların çeşitli tanımları, sınıfları ve özelliklerinin bir kısmı anlatılmıştır. Mineralojik katkıların özelliklerinin devamı kullanım alanları, sonuçlar ve tartışmalar makalenin bu ikinci bölümünde açıklanmıştır. Mineralojik katkıların en yaygın kullanım alanı, çimento üretimine hammadde olarak ve beton üretimine karışım malzemesi olarak katılmasıdır. Mineralojik katkıların bu kullanımının yanı sıra, yapı temellerini sağlamlaştırmada, tuğla, seramik ve taşıyıcı olmayan bölme duvar elemanlarının üretiminde katkı malzemesi olarak geçmişte kullanılmıştır. Türkiye de mineralojik katkıların kullanımının miktarı, diğer ülkelerden daha azdır. Sonuç olarak, endüstriyel atıklardan bu mineralojik katkıları, çimento ve beton gibi yapı malzemelerinin fiziksel özelliklerini ölçülebilir oranda olumlu yönde geliştirir. Yapı malzemelerinin üretiminde endüstriyel atıkların (doğal olmayan puzolanlar) kullanılması ekonomiye kazanç sağlayabilir.

**Anahtar Kelimeler:** doğal olmayan puzolan, doğal puzolan, mermer tozu, mineralojik katkıları, tuğla tozu, volkanik kül.

### **The Different Definitions, Classification, Properties and Usage Areas of the Mineralogical Additives (Part II)**

**Abstract:** The different definitions, classification and a part of the properties of the mineralogical additives were told in the first part of this study. Continue of the mineralogical additives properties and usage areas, results and discussions were explained in paper's this second part. The most extensively usage area of the mineralogical additives is added in cement manufacture as raw materials and in concrete production as admixture materials. As well as this using of the mineralogical additives, they were used as additive materials in manufacturing of brick and ceramic and non-bearing division wall and in consolidate of construction base in the past. In Turkey, amount of the using mineralogical additives is lower than the other countries. The mineralogical additives from industrial wastes are developed positive way in measurable ratio the physical properties of construction materials like cement and concrete as a result. Using of the industrial wastes (artificial pozzolana) can be providing income to economy in manufacturing of construction materials.

**Keywords:** artificial pozzolana, natural pozzolana, marble powder, mineralogical additives, brick powder, volcanic ash

### **Doğal olmayan puzolanlar (Endüstriyel atıklar)**

Bu çalışmanın birinci bölümünde mineralojik katkıların çeşitli tanımları, sınıfları ve özelliklerinin bir kısmı anlatılmıştır. Mineralojik katkıların özelliklerinin anlatımı, Bölüm I, Şekil 1' e göre "Doğal olmayan puzolanlar (Endüstriyel atıklar)" başlığında "Çeşitli endüstriyel atıklar" alt başlığıyla sürdürülmüştür. Makalenin diğer başlıkları olan mineralojik katkıların kullanım alanları, sonuçlar ve tartışmalar bu ikinci bölümde açıklanmıştır.

### **Cesitli endüstriyel atıklar (Birinci bölümün devamı)**

#### **Kalsiyum karbonat ve kireç tortu atıkları**

Kalsiyum karbonat ve kireç atıklarının içerisinde % 30 – 50 arasında su bulunduğu için bu atıklara tortu veya çamur denir. Bu çamurlar kurutulduğunda geride ince toz taneleri kalır. Mermer, amonyum sülfat, kâğıt, şeker ve asetilen üretilen fabrikalarda kalsiyum karbonat ve kireç tortu atıkları ortaya çıkar. Çeşitli ülkelerde ortaya çıkan kalsiyum karbonat ve kireç tortu atıklarının kimyasal özellikleri Çizelge 1' de verilmiştir [1].

Çizelge 1. Kalsiyum karbonat ve kireç tortu atıklarının kimyasal özellikleri [1]

Kimyasal Özellikler (%)	Kalsiyum Karbonat ve Kireç Tortu Atığı Çıkaran Fabrikalar		
	Gübre	Kâğıt	Şeker
Kalsiyum Oksit (CaO)	48	43 – 49	40 – 50
Alüminyum Oksit (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,4	6 – 7,3	2 – 2,5
Demir Oksit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,4	1 – 1,5	-
Silisyum Oksit (SiO <sub>2</sub> )	4	0,8 – 2,9	1,5 – 4,5
Kükürt Oksit (SO <sub>3</sub> )	9	-	-
Fosfor Oksit (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	2	-	1
Flor (F)	1,5	-	-
Magnezyum Oksit (MgO)	-	0,8 – 1,2	2 – 3,5
Sodyum Oksit (Na <sub>2</sub> O)	-		-
Çözünmeyen Kalıntı	-		2 – 4,5
Kızdırma Kaybı	35	8,8 – 12,8	-

Amonyum sülfat, kâğıt ve şeker üretiminden ortaya çıkan bu tortu haldeki toz atıklar bir miktar serbest kireç içermekle birlikte ana bileşeni kalsiyum karbonattır. Saf olmayan atık tortularında fosfatlar, alkaliler ve sülfatlar da bulunmaktadır. Mermerin kesilmesi sırasında ortaya çıkan mermer atıklarının kimyasal yapısı, bileşenleri itibariyle mermer bileşenleriyle aynı özellikleri gösterir [2, 3]. Mermer atıkları boyutlarına göre iki çeşittir. Büyük boyutlu parça mermer atıkları ve 150 (µm)' in altında olan en büyük parça boyutu 2 (mm)' ye kadar ulaşan atık çamurdur [4, 5, 6].

Türkiye' de mermer işletmeciliğinde elde edilen 1(m<sup>3</sup>) bloğun işlenmesi sırasında makinelerin toz haline getirdiği miktar yaklaşık 0,481 (m<sup>3</sup>)' tür. Bu durumda ürün miktarının toplam % 48' i toz halinde üretim atığı olarak ortaya çıkmaktadır [7]. 1989–1994 yılları arasında mermer üretiminde ortalama % 16 artış olmuştur. Buna göre 2005 yılı Türkiye mermer üretimi yaklaşık 2 000 000 (m<sup>3</sup>)'dür. Türk standartlarında belirtilen mermer birim hacim ağırlığı ortalama 2,7 (t/m<sup>3</sup>) olduğuna göre, Türkiye' de 2005 yılında üretilen mermer miktarı: 2 000 000 (m<sup>3</sup>/yıl) x 2,7 (t/m<sup>3</sup>) = 5 400 000 (t/yıl)' dir. Türkiye genelinde 2005 yılında ortaya çıkan mermer atık miktarı: 5 400 000 (t/yıl) x 0,48 = 2 592 000 (t/yıl) civarındadır [7, 8, 9]. Kırgız'ın (2007), doktora tezinde deneylerini gerçekleştirdiği Tekmar Mermer Fabrikası (Bilecik) atığı mermer tozunun kimyasal özellikleri Çizelge 2' de verilmiştir [8].

Çizelge 2. Tekmar Mermer Fabrikası atığı mermer tozunun kimyasal özellikleri [8]

Atık Adı	Kimyasal Özellikler (%)								
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Kızdırma Kaybı
Mermer Tozu	53,79	0,38	0,11	0,04	0,77	0,05	0,01	0,34	44,15

### Pişmiş kil ve şeyl atıkları

Kil ve şeyl mineralleri, büyük miktarda silis ve alüminden oluşur ve kristal yapıdadırlar. Doğal yapıları itibariyle puzolanik özellik göstermezler. Ancak bir, iki saat kadar fırında 700 – 900 °C arasında bir sıcaklıkta bekletilince, bu malzemelerin düzenli kristal yapısı bozulur ve yarı amorf veya düzensiz alümin ve silisli bir yapı elde edilir ve bu atıklar doğal olmayan puzolanik malzeme durumuna geçerler [10, 11].

Pişirilerek üretilen yapı malzemeleri sektöründe, üretim sırasında atık olarak ortaya çıkan tuğla tozunun yapısı, hammadde olarak ocaklardan çıkarılarak fabrikada kullanıma hazır hale getirilen kildir. Kil minerallerinin temel özelliği kimyasal bileşimlerinde alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) bulunmasıdır. Pişmiş kil ve şeyl atıkları en çok tuğla fabrikalarında ortaya çıkmaktadır [12, 13].

Türkiye'nin yıllık tuğla üretim kapasitesi 6 milyar adettir. Ağırlık olarak kapasite  $19 \times 10^6$  (ton)'dur. Ocaktan pişmiş tuğlaya kadar olan süreçte tuğla tozu olarak ortaya çıkan kaybın % 20 – 25 olduğu tahmin edilmektedir. 2005 yılı Türkiye tuğla üretim kapasitesi % 80 olduğundan yaklaşık  $15,2 \times 10^6$  (t) üretim yapılmıştır [9]. Tuğla üretiminde toplam atık miktarı % 20–25 arasında olduğunda; Türkiye genelindeki yaklaşık tuğla atık miktarı,  $15,2 \times 10^6$  (ton/yıl)  $\times 0,25 = 3,8 \times 10^6$  (t/yıl)'dır (7, 8, 9). Kırgız'ın (2007), doktora tezinde deneylerini yaptığı Kaman Tuğla Fabrikası (Kırşehir) atığı tuğla tozunun ve pişmiş kilin kimyasal özellikleri Çizelge 3' de verilmiştir [8, 10].

Çizelge 3. Kaman Tuğla Fabrikası tuğla tozu ve pişmiş kil kimyasal özellikleri [8, 10]

Atık Adı	Kimyasal Özellikler (%)									
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Alkali	Kızdırma Kaybı
Tuğla Tozu	12,88	39,55	15,71	14,05	3,29	0,48	1,98	0,00	-	11,30
Pişmiş Kil	21,8	42,2	16,1	7,0	1,9	-	-	-	1,3	-

Tuğla hammaddesi kaolinin ısıtılması ile elde edilen puzolanik aktivite; montmorillonit ve illit' in puzolanik aktivitesinden daha fazladır. Kaolin 700 – 800 °C' de fırında ısıtıldığında metakaolin oluşur. Metakaolinin bazı belirleyici özellikleri, 10 (µm) elek üstünde ağırlıkça en fazla % 10 kalması, 2 (µm) elek altına en az % 5 geçmesi, özgül yüzeyinin 12 (m<sup>2</sup>/gr), nem miktarının ağırlıkça en fazla % 0,5 ve yoğunluğunun 0,3 (g/cm<sup>3</sup>) olmasıdır [14, 15, 16].

#### Sülfür atığı

Dünya yıllık toplam sülfür atığı yaklaşık 51,8 milyon (t)' dir. Bu miktarın 32,5 milyon tonu kükürten 7,7 milyon tonu piritten geri kalan miktarı; doğal gaz, alçıtaşı ve anhidrit üretiminden ortaya çıkmaktadır. Sülfür atığının ortaya çıktığı bazı ülkeler ve atık miktarları Çizelge 4' de verilmiştir [1].

Çizelge 4. Sülfür atığının ortaya çıktığı bazı ülkeler ve atık miktarları [1]

Atık Adı	Ülkeler			
	Amerika	Kanada	Finlandiya	Fransa
Sülfür (Milyon ton/yıl)	12	16	0,3	1,75

#### Çimento fırın tozu

Portland çimentosu üretimi sırasında ortaya çıkan çimento fırın tozu, hammadde miktarında ağırlıkça yaklaşık % 10 – 20 arasında kayba neden olmaktadır. Çimento fabrikalarında bu tozlar, elektrostatik tutucular, yıkama kulesi veya torba filtreler yardımıyla toplanmaktadır. Böylece toz atıkların bir kısmı tekrar kullanılmaktadır. Fakat bu atıkların yüksek alkalin içeriği nedeniyle çimento üretiminde tekrar kullanımı sınırlandırılmıştır. Çeşitli ülkelerde ortaya çıkan çimento fırın tozlarının kimyasal özellikleri Çizelge 5' de verilmiştir [1].

Çizelge 5. Çimento fırın tozlarının kimyasal özellikleri [1]

Kimyasal Özellikler (%)	Çimento Fırın Tozu			
	Amerika	İngiltere		
		Yaş Toz	Kurutulmuş Toz	
Silisyum Oksit (SiO <sub>2</sub> )	11,1	15,3	13,6	23,6
Alüminyum Oksit (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5,5	2,1	3,9	2,8
Demir Oksit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2,9	1,7	2,6	3,3
Kalsiyum Oksit (CaO)	44,0	43,0	45,7	34,7
Magnezyum Oksit (MgO)	2,5	0,9	0,9	Belirlenmemiştir
Sodyum Oksit (Na <sub>2</sub> O)	0,9	0,7	1,1	Belirlenmemiştir
Potasyum Oksit (K <sub>2</sub> O)	6,0	6,0	2,2	Belirlenmemiştir
Kükürt Oksit (SO <sub>3</sub> )	5,6	6,2	4,0	5,1
Kızdırma Kaybı	21,5	Belirlenmemiştir	Nem içeriği % 40	

### Değerli madenlerin atıkları

Maden işletmeleri oldukça büyük miktarda maden atığı meydana getirmektedir. Amerika’ da bu atık yıllık olarak yaklaşık  $2 \times 10^9$  (t) civarındadır. Maden atığı miktarının neredeyse yarısını bakırın işlenmesi ortaya çıkarmaktadır. Atık miktarının diğer yarısını altın, uranyum, demir, fosfor, kurşun, çinko ve alçı gibi madenlerin çıkarılması ve işlenmesi meydana getirmektedir. Maden atıklarına ilişkin çok az detaylı bilgi bulunmaktadır. Genellikle maden atıkları, taş atığı, posa, tortu veya çamur olarak adlandırılır. Taş atıkları, madenin ortaya çıkarılmasındaki kazı işleminde ortaya çıkan cürüflardır, posa ve çamur veya tortular ise madenlerin kesilmesinde oluşan tozlardır. Bazı değerli maden atıklarının kimyasal özellikleri Çizelge 6’ da verilmiştir [1, 14].

Çizelge 6. Bazı değerli maden atıklarının kimyasal özellikleri [1]

Kimyasal Özellikler (%)	Takonit Posası	Bakır Posası	Altın Posası	Kurşun Çinko Çamuru	Çini Kili Atık Kumu	Mikalı Çini Kili Tortusu	Kalay Posası
Silisyum Oksit (SiO <sub>2</sub> )	59	71,1	93	56,9	75 – 90	50,3	50,6
Demir Oksit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	21	4,9	1,9	0,51	0,5 – 1,2	2,37	13,84
Demir Mono Oksit (FeO)	-	-	-	5,3	-	-	-
Alüminyum Oksit (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2,7	13,2	3,5	9,8	5 – 15	32,7	17,86
Magnezyum Oksit (MgO)	3,7	2,1	0,41	0,65	0,05 – 0,5	0,35	1,12
Manganez Oksit (MnO <sub>2</sub> )	-	-	-	9,0	-	-	1,4
Kalsiyum Oksit (CaO)	2,7	1,1	1	5,9	0,05 – 0,5	0,07	6,86
Sodyum Oksit (Na <sub>2</sub> O)	-	0,3	0,07	-	0,02 – 0,75	0,24	-
Potasyum Oksit (K <sub>2</sub> O)	-	3,3	0,33	-	1 – 7,5	5,3	-
Çinko (Zn)	-	-	-	2,4	-	-	-
Kurşun (Pb)	-	-	-	0,57	-	-	-
Toplam Kükürt (S)	-	-	-	1,99	-	-	0,13
Kükürt (S)	-	-	-	0,49	-	-	-
Kızdırma Kaybı	7,4	2,6	0,22	0,45	1 – 2	8,3	3,75

Genellikle değerli maden atıklarının tane boyutu 0,3 (mm)’ den daha azdır. Maden işletmelerinde çıkan öğütülmüş ince tozlar kil – silt sınıfına girmektedir. Tozların % 50 ile % 90 arasındaki kısmı 75 (µm)’ den daha küçüktür. Çini işleminde, tane büyüklüğü yaklaşık 75 (µm) ile 9 (mm) arasında değişen kaba kum ve 10 (µm) ile 75 (µm) arasında değişen mikalı ince kum atıkları ortaya çıkar. Fosfat çamurunun mineralojik ve kimyasal özellikleri Çizelge 7’ de verilmiştir [1, 14].

Çizelge 7. Fosfat çamurunun mineralojik ve kimyasal özellikleri [1]

Mineralojik Atık	Kimyasal Özellikler (%)							Mineralojik Özellikler (%)							
	Fosfor Penta Oksit (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Silisyum Oksit (SiO <sub>2</sub> )	Demir Oksit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Alüminyum Oksit (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Kalsiyum Oksit (CaO)	Magnezyum Oksit (MgO)	Kızdırma Kaybı	Kalsiyum Flüorür fosfat	Kuvars	Montmorillonit	Attapulgit	Vavellit	Feldspat	Ağır Mineraller	Dolomit
Fosfat Çamuru	9 – 17	31 – 46	3 – 7	6 – 18	14 – 23	1 – 2	9 – 16	20 – 25	30 – 35	20 – 25	5 – 10	4 – 6	2 – 3	2 – 3	1 – 2

### Ahşap atıkları

Ağaçlardan kereste çıkarma, kontrplak, odun ve odun hamuru (selüloz) üretimleri ahşap atığını meydana getirir. Kereste fabrikalarında işlenen ağacın sadece % 50’ sinden kereste elde edilmektedir geri kalanından mukavva, selüloz ve kereste yan ürünleri üretilmektedir. Çeşitli ülkelerdeki ahşap atıklarının miktarı Çizelge 8’ de verilmiştir [1].

Çizelge 8. Çeşitli ülkelerin ahşap atıklarının miktarı [1]

Ülke	Toplam Atık	Ağaç Kabuğu	Talaş	Parça Ahşap
Avustralya	6,8 (m <sup>3</sup> )	1,25 (m <sup>3</sup> )	1 (m <sup>3</sup> )	4,1 (m <sup>3</sup> )
Yeni Zelanda	-	-	0,7 (milyon ton)	-
Japonya	-	-	-	17,7 (m <sup>3</sup> )
Kanada	Büyük oranda fakat miktarı belli değildir. Ağaç kabuğu ve talaş bu atık hacminin % 50' sini oluşturmaktadır.			
Finlandiya	-	1 (ton)	0,5 (milyon ton)	-
İngiltere	İthal edilen keresteden 1(ton), İngiliz kerestesinden 1 (ton)		-	-
İsveç	2,5 (milyon ton)	26 (m <sup>3</sup> )	2,1 (m <sup>3</sup> )	1,3 (m <sup>3</sup> )

**Yerel yönetim atıkları**

Yerel yönetim atıkları arasında en çok rastlanan cam, yıkım, plastik, kanalizasyon, tıbbi ve lastik tekerlek atıklarıdır. Yakılan ve yakılmayan bu atıklar, agrega olarak kullanılabilen fiziksel özelliklere sahip olmalarına rağmen bu atıklar çimento ve betonda kimyasal problemlere neden olmaktadır. Bu atıkların bazı ülkelerdeki miktarları Çizelge 9' da verilmiştir [1].

Çizelge 9. Bazı ülkelerdeki yerel yönetim atıklarının miktarı [1]

Ülke	Yerel Yönetim Atık Çeşitleri						
	Toplam (Milyon ton / yıl)	Yakılan (%)	Yakma Fırını (Milyon ton / yıl)	Cam (Milyon ton / yıl)	Yıkım (Milyon ton / yıl)	Kanalizasyon (Milyon ton / yıl)	Lastik (Milyon ton / yıl)
Avustralya	4,5	-	-	-	-	-	-
Amerika	135	11	5	11	25	7 – 11	1,8
Kanada	-	-	-	1,2	30	-	3 – 5
Japonya	-	-	-	-	7 – 12	-	11
Finlandiya	-	-	0,035	-	-	-	-
Fransa	-	30	1	-	-	-	-
Norveç	-	7	-	-	-	-	-
Danimarka	-	50	-	-	-	-	-
İngiltere	20	~25	2	2	21 – 23	1 – 1,5	0,24
İsveç	-	-	-	-	2,5	-	-

Bazı ülkelerdeki yakılmış yerel yönetim atıklarının kimyasal özellikleri Çizelge 10' da verilmiştir.

Çizelge 10. Yakılmış yerel yönetim atıklarının kimyasal özellikleri [1]

Ülke	Kimyasal Özellikler																						
	SiO <sub>2</sub> (%)	Al (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe	FeO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Cl (%)	S (%)	H <sub>2</sub> O (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	Pb (ppm)	Sn (ppm)	PbO (%)	ZnO (%)	
Fransa <sup>(a)</sup>	Manyeti	Manyeti																					
	k	k																					
İngiltere <sup>(b)</sup>	Olmaz	Olmaz																					
-	54,02	0,48	6,94	0,53	7,26	4,6	0,24	2,39	11,07	6,7	1,05	0,57	0,05	0,27	0,85	910	2490	210	1200	320	-	-	-
44,45	0,35	7,59	0,76	6,02	4,54	0,41	3,26	15,01	4,91	1	0,63	0,13	1,17	1,91	170	2050	600	-	-	2,65	11,50	-	
25,77	0,19	5,04	5,13	20,97	23,76	0,47	2,1	7,16	2,84	0,55	0,79	0,05	0,37	0,57	2880	3010	90	1250	720	-	-	-	

### Cam atıkları

Cam kırıklarından elde edilen atıkların tekrar cam üretiminde kullanılmasını kirli ve farklı renkte olmaları kısıtlamaktadır. Buna rağmen Yeni Zelanda’ da fiber cam üretiminde ayrıca Amerika, Avustralya ve Türkiye’ de yapı malzemelerinde cam atıklarının kullanımı araştırmaları yapılmaktadır. Avustralya’ da cam atıkları, mozaik, cam mozaik, cam katkılı beton ve agrega üretiminde kullanılmaktadır. Fransa ve Amerika’ da ki araştırmalar, cam atıklarından üretilen hafif agregaların orta dereceli aderans oluşturduğunu belirtmektedir. Norveç ve Amerika’ da bu atıklar, tuğla üretiminde kullanılır. Cam atığının ana fonksiyonu düşük sıcaklıktaki ateşe dayanıklı olmasıdır. Portland çimentolu beton’ da cam atıklarının agrega olarak kullanılması, betonun alkali saldırısına maruz kalmasına neden olduğundan tercih edilmez [1].

### Yıkım atıkları

Yapıların yıkımlarından, beton molozu, tuğla kırıkları, demir, çelik, bakır, alüminyum, taş, kiremit, asbest çimento, alçı levha, ahşap, plastik, cam ve asfalt gibi çeşitli yıkım atıkları çıkmaktadır. Bu atıkların bazıları müteahhitler tarafından tekrar kullanılmaktadır. Amerika’ da ki yıkım atıkları ve bu atıkların tekrar kullanım miktarları Çizelge 11’ de verilmiştir [1].

Çizelge 11. Yıkım atıkları ve bu atıkların tekrar kullanım miktarları [1]

Atığın Adı	Yıkım Atığı Miktarı (Milyon ton)	Kullanılan Yıkım Atığı Miktarı (Milyon ton)	Tekrar Kullanım (%)
Beton	315	18	İhmal edilebilir
Ahşap	42	1,3	5
Demir, Çelik	22	1,7	50
Alçı	11	Kullanışlı değil	Kullanışlı değil
Kil	18	1,4	İhmal edilebilir
Plastikler	1,2	İhmal edilebilir	İhmal edilebilir
Alüminyum	0,9	0,01	13
Bakır	0,34	0,07	50

Yıkımda çıkan atıkların en büyük miktarını beton molozları oluşturur (Çizelge 11). Yıkım betonlarının agrega olarak tekrar kullanıldığı betonlarda, doğal agregalı betonlardan daha fazla karışım suyuna ihtiyaç olmasına rağmen doğal ve yıkım agregalı betonlar birbirlerine benzer fiziksel özellikler gösterirler.

### Mineralojik Katkıların Kullanım Alanları

Doğal ve doğal olmayan puzolanlar çimento ve beton gibi yapı malzemelerinin dayanımını artıran ve değişik kimyasal zararlı etkilere karşı koruyan mineralojik katkıdır. Bu katkılar çimento hammaddesi, çimento ve beton katkıları olarak yaygın kullanım alanına sahiptirler [1, 10]. Uçucu küller, çimento ve betona katılan doğal olmayan mineralojik katkıdır. Fırın taban külünün kimyasal içeriğindeki sülfat miktarının fazla olması bu atığın çimento ve betonda mineralojik katkı olarak kullanımını kısıtlamaktadır. Kömür ocağı kalıntıları, bina temellerinde dolgu malzemesi olarak ve tuğla, kırma agrega ve çimento üretiminde hammadde malzemesi olarak kullanılmaktadır. [1, 17].

Yüksek fırın cürufunun 4 (mm)' den daha büyük tane boyutlu olanları hafif beton agregası, 4 (mm) den daha küçük tane boyutlu olanları ise çimento katkı maddesi olarak kullanılır [1, 18]. Çelik cürufları, betonda agrega olarak, temel sağlamlaştırma dolgu olarak ve çimento üretiminde hammadde olarak kullanılır. Çeşitli ülkelerdeki yüksek fırın cürufunun kullanım alanları ve miktarları Çizelge 12' de, çeşitli ülkelerdeki çelik cüruflarının kullanım alanları ve miktarları ise Çizelge 13' de verilmiştir [1]. Alüminyum atıkları (kırmızı çamur) çimento, tuğla ve seramik üretim hammaddesi olarak ve ayrıca kırma agrega ve yanmayan plastik üretiminde kullanılmaktadır. Silis dumanı, çimento ağırlığının % 10' u kadar beton karışımına eklenmektedir. Betona % 10 oranında silis dumanı katılması, betonun işlenebilirliğini ve uzun dönem fiziksel dayanımını artırır [1]. Yağlı şist atıkları çimentoya katıldığında, çimentonu fiziksel dayanımını olumlu yönde geliştirir. Şistin sülfat içeriğinin fazla olması nedeniyle betonda kullanılması sakıncalıdır. Fakat yağlı şist atıklarının, Portland çimentosu üretiminde hammadde olarak kullanılması sakıncalı değildir [1].

Çizelge 12. Çeşitli ülkelerde yüksek fırın cürufunun kullanım alanları ve miktarları [1]

Ülke	Havada Soğutulmuş Kaba Agregası (Milyon ton / yıl)		Demiryolu u Çakılı (Milyon ton / yıl)	Boşluklu Hafif Agregası (Milyon ton / yıl)	Granüle Çimento Üretimi (Milyon ton / yıl)	Diğer Alanlar (Milyon ton / yıl)	Toplam Kullanım (Milyon ton / yıl)	Kullanım (%)
	Yol	Beton						
Hindistan	Az	-	Az	Küçük	0,64	Cüruf yün' de küçük kullanım	-	-
Avustralya	0,36 <sup>(b)</sup>		Çok <sup>(b)</sup>	0,018	Orta	Cüruf yün, cüruf tuğla, dolgu, cam üretimi, orta filtre	0,6	22
Japonya	12,4	2,44 <sup>(a)</sup>	0,25	-	1,52	Gübre, dolgu	24,5 <sup>(a)</sup>	91
Amerika	20,973		4,436 <sup>(c)</sup>	0,450	0,232	-	26,091	95
Güney Afrika	-	0,32		-	0,8	-	-	53
Kanada	-	2		-	Orta	Mineral yün, dolgu	~ 2	~ 100
Almanya	7,2	-	-	0,3	2,8	Gübre, tuğla	~ 7,8	~ 100
Fransa	5,8		-	-	8,3	-	-	89,9
Lüksemburg	Çok	-	-	-	0,35	Granüle cüruf ihraç edilmektedir	4 – 5	~ 100
Norveç	-	-	-	-	-	Dolgu malzemesi	-	-
Finlandiya	-	-	-	-	0,08	Yol yapımında	-	-
Belçika <sup>(d)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
İtalya <sup>(d)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
Hollanda <sup>(d)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
İngiltere	> 6	0,45	0,16	Orta filtre	7 <sup>(e)</sup>	100 <sup>(e)</sup>	-	-
İsveç	-	-	0,015	-	0,072 <sup>(f)</sup>	-	-	-

<sup>(a)</sup> Çelik cüruflarını da <sup>(b)</sup> Sadece çelik cüruflarını kapsamaktadır. <sup>(c)</sup> Mineral yün ve çatı kaplama malzemesini, <sup>(d)</sup> Makalenin ikinci kaynağını, <sup>(e)</sup> Hammadde stokunun % 100' ünden fazlasının kullanımı, <sup>(f)</sup> Bağlayıcı malzeme olarak kullanımını kapsamaktadır.

Karbonat ve kireç içeren atık çamurlar, öğütülüp toz halde çimento ve harç katkısı olarak, öğütülmeden yapı temellerinin dolgusunda kullanılır. Toz haldeki bu atıkların diğer bir ekonomik kullanım alanı Portland çimentosu üretimidir. Ayrıca mermer tozu ek mineralojik katkılarla birlikte hafif beton agregası üretiminde de kullanılır [1, 5, 6]. Tuğla kırıkları Güney Afrika’ da gerek beton blok gerekse beton karışımında agregası olarak kullanılır. Beton içerisinde kırılmış tuğlaların agregası olarak kullanılması, çözünebilir tuzlar ve nemin etkisiyle genleşme problemine yol açabilmektedir. Fakat agregası olarak kullanılan tuğla kırıklarının, çözünebilir tuz veya geçirgenliğin etkisiyle yapı çeliğinin korozyonunu kontrol altına aldığı da gözlenmiştir. İkinci Dünya savaşı sonrasında İngiltere’ de tuğla kırıkları, betondaki sülfat seviyesini % 1’ in altına çekmek amacıyla kullanılmıştır [1, 11, 14]. Mermer ve tuğla tozu, çimento ve klinkere ikame ve/veya katkı yoluyla eklenebilir. Bu durumda gerek çimento gerekse klinkerin kimyasal, fiziksel ve mineralojik özelliklerini ölçülebilir oranda geliştirir [8].

Çizelge 13. Çeşitli ülkelerde çelik cürufunun kullanım alanları ve miktarları [1]

Ülke	Kullanım Miktarı (Milyon ton / yıl)					
	Yüksek Fırın Cürufu	Beton Yol Malzemesi	Baraj Dolgu Malzemesi	Gübre (%)	Diğer	Toplam
Hindistan	-	Orta	Orta	-	Çimento	Orta
Avustralya	0,315	0,317	0,39	-	Renkli tuğla	1
Japonya	1 – 47	1,15	8,88	0,145	Çimento (0,13)	12,105
Amerika	Kullanım	3,75	3,38	0,1	Demiryolu (1,22)	9 <sup>(a)</sup>
Güney Afrika	-	Orta	Orta	-	-	Orta
Kanada	-	0,018	-	-	Dolgu malzemesi	-
Almanya	1,87	0,21	1,66	1,5	-	5
Finlandiya	-	Orta	-	-	-	Orta
İngiltere	2	Orta	-	Orta	-	Orta
Yeni Zelanda	-	-	-	-	Toprak dolgusu	-

<sup>(a)</sup> Yüksek fırın cürufuna dönüştürülmüş kullanım hariçtir.

Sülfür atığının en önemli zararı sıcak havalarda tehlikeli sülfür gazını ortama salmasıdır. Bu nedenle bu atıkların çimento ve betonda kullanımı uygun değildir. Çimento fırın tozunun, alkali ve sülfat miktarı oldukça fazladır. Çimento üretiminden çıkan fırın tozlarının klor kontrolü yapıldığında yüksek kloru sahip olduğu görülmektedir. Amerika’ da ortaya çıkan fırın tozlarının % 90’ ı 12(µm)’ den daha incedir. Bu mineralojik atık çimento içerisinde az miktarda kullanılmaktadır. Florida’ da ev temelinde dolgu olarak kullanılan fosfat atıklarından düşük seviyede belirlenen radyoaktivite bu atığın kullanımında problem olmuştur. Kurutulmuş çimento fırın tozu İngiltere’ de çoğunlukla yol yapımında kullanılmaktadır. Değerli maden atıklarının kullanım alanları ve miktarları Çizelge 14’ de verilmiştir [1].

Çizelge 14. Değerli maden atıklarının kullanım alanları ve miktarları [1]

Ülke	Atık Çeşidi	Miktarı (Mt/a)		Stoklanan (Mt)	Kullanım Alanları
		Taş Atığı	Değirmen Posası		
Amerika	Bakır	624	234	7700	Agregası, Çimento hammaddesi
	Takomit	100	109	3600	
	Fosfat	230	54 <sup>(a)</sup>	907 <sup>(a)</sup>	
	Demir	27	27	730	Çimento hammaddesi
	Altın	15	5	450	Beton agregası
	Uranyum	156	5,8	110	Beton agregası
	Kurşun	0,5	8	180	-
	Çinko	0,9	7,2	180	-
	Taş Ocağı	68	-	Belli değil	-
	Alçı	14,2	2,7	Belli değil	-
	Asbest	0,6	2	14	-
	Barit	1,9	3,1	24	-
	Kalsiyum Florisi	0,1	0,4	Belli değil	-
	Feldspat	0,2	0,8	Belli değil	-



Kanada	Demir	45		-	Agrega, Temel v.b Dolgusu, Çatı örtüsü
Finlandiya	Çeşitli Maden ve Ocak Atıkları	3,1	5,1	94,8	Yol ve beton agregası
İngiltere	Çini Kili	22		300	Yol ve Beton agregası, Kalsiyum silikat tuğlası,
<sup>(a)</sup> Hem fosfat hem de fosfat alçısı çamurunu kapsamaktadır. (Tahminen 136 (Mt) fosfat alçısı stoklanmaktadır)					

Talaşa yüksek basınç uygulayarak silindir ahşap briket üretilmesi yurtdışında talaşın ana kullanımudur. İsveç' de mukavva üretimi talaştan yapılmaktadır. Yeni Zelanda' da ambalaj kâğıdı, mobilya kaplama kâğıdı, mukavva bölme duvar ve sert mukavva üretiminde katkı malzemesi olarak talaş kullanılmaktadır. Finlandiya' da tuğla üretimi katkısı da talaştır. Ayrıca İngiltere' de talaş çimento ve kumdan üretilen iç bölme pano elemanlarına katılmaktadır. Masif ahşap talaşlar kullanılırken yüksek nem içeriği göz ardı edilir. Karaçamdan çıkan talaşlar, çimento prizini olumsuz etkiledikleri için çimentolu malzemelerde kullanılmaz [1].

Parça ahşap atıkları odun hamuru veya mukavva üretiminde en çok kullanılan atıklardır. Odun kömürü, ahşap yün (elyaf), çimentolu ahşap panolar parça ahşap atıklarından üretilir. Amerika' da iç bölme pano üretiminde, ahşap ve mobilya atıkları değirmende öğütülerek kullanılır. Avustralya' da parça ahşap atıklar yapıştırıcı ile birleştirilerek döşeme kaplama malzemesi elde edilir [1].

Yerel yönetim atıkları (tıbbi atıklar, lastik v.b) yakılıp agregaya veya çimento hammaddesi olarak kullanıldığında çimento, beton ve harçta kimyasal problemlere neden olmaktadır. Belçika' da bu atıklar dolgu malzemesi olarak kullanılır. İngiltere' de toz haline getirilmiş yerel yönetim atıkları çimento üretiminde yakıt katılmaktadır. Çimento kalitesini etkilemeyecek şekilde tozlaştırılmış kömür yerine yaklaşık % 20' ye kadar bu atıklar yakıt olarak kullanılabilir. Toz hale getirilen, kurutulup sınıflandırılan yerel yönetim atıkları Norveç' de % 50 oranında ahşap atıklarına karıştırılıp mukavva üretiminde kullanılır [1].

Yıkımdan çıkan beton molozlarının iki kez kırıcıdan geçirilerek küçültülmesi çeşitli kullanım alanları için oldukça yararlıdır. İnce agregaya haline getirilen beton molozlarının özgül ağırlığı 2,1 (gr/cm<sup>3</sup>) ve kaba agregaya haline getirilen beton molozlarının özgül ağırlığı 2,3 (gr/cm<sup>3</sup>)' dür. Kırılmış beton molozu kaba agregasının su emme oranı % 6, ince agreganın ise % 10 – 11 arasındadır. Yıkım agregası ile üretilen betonlarda, doğal agregalı betonların işlenebilirliğine ulaşmak için % 5 – 10 arasında daha fazla karışım suyu gerekmektedir. Yıkım agregasıyla % 45 – 70 arasında su – bağlayıcı oranıyla üretilen betonun basınç dayanımı ve elastisite modülü, normal betonun basınç dayanımı ve elastisite modülünden % 10 – 30 arasında daha düşüktür. Yıkım agregalı betonun kuruma rötresi, normal agregalı betona göre % 10 – 30 arasında daha büyüktür. Yıkım agregalı betonun donma – çözülme dayanımı, normal betonun donma-çözülme dayanımına denk olmasına rağmen su geçirgenliği normal betondan daha büyüktür [1].

Lastik tekerlek atıkları ilk kez Fransa ve Yeni Zelanda' da tekrar kullanılmıştır. Fransa' da öğütülüp toz hale getirilen eski lastikler spor alanlarının üst kaplamasında kullanılmıştır. Yeni Zelanda' da ise deniz erozyonuna karşı lastik kayalık yapılmıştır. Yaklaşık yüz otuz bin ton olan plastik atıklarının sadece on beş bin tonu tekrar kullanılır. Homojen termoplastik atıkları plastik üreticilerince toplandığında yeni bir plastik ürüne dönüştürülmektedir. Yapı' da kullanılan plastik ürünler sulama ve tesisat boruları, perdeler, plastik kapı, pencere ve banyo, tuvalet gereçleridir. Kuzey Afrika' da üretilen plastiklerin % 67' si termoplastiktir. Farklı bileşenlere sahip plastiklerin birbirine karıştırılmasıyla ortaya çıkan yeni plastik ürünün fiziksel özellikleri, saf plastiklerin fiziksel özelliklerinden daha düşüktür. Bu nedenle bu tür plastikler daha çok poşet ve raf gibi elemanların üretiminde kullanılır [1].

### Sonuçlar ve Tartışmalar

Çimento ve betonda kullanılabilecek mineralojik katkıları, doğal ve doğal olmayan puzolanlar olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal puzolanlar herhangi bir işleme tabi tutulmadan doğadan elde edilen öğütülerek veya öğütülmeden çimento ve betona katılabilen malzemelerdir. Doğal puzolanlar hammadde olarak endüstride belli bir maddi değere sahiptir. Fakat doğal olmayan puzolanlar, bir endüstri dalında ortaya çıkan atıklardır ve hiçbir maddi değere sahip değillerdir. Bu atık mineralojik katkıların zararsızca depolanması ayrı bir problemdir. Dünya üzerindeki çeşitli ülkelerde doğal olmayan puzolanlar, çimento ve beton gibi yapı malzemelerinde katkı olarak kullanılmaktadır. Böylece herhangi bir maddi değeri bulunmayan bu atıklar değerlendirilmekte ve depolama maliyetleri de ortadan kalkmaktadır.

Sonuç olarak Türkiye’de yaygın kullanılan doğal puzolanlar, diatomlar, perlit, zeolit, tras ve tuf gibi malzemelerdir. Doğal olmayan puzolanlar ise tuğla tozu (pişirilmiş kil ve şeyl atıkları), mermer tozu (karbon ve kireç tortuları), silis dumanı, uçucu kül, alüminyum atıkları, yüksek fırın cürufu gibi malzemelerdir. Doğal puzolan olarak kullanılan volkanik, sedimanter ve diajenetik malzemelerin çimento ve beton özelliklerine (basınç dayanımı v.b.) olumlu etkilerinin bulunduğu yapılan araştırmalarda ortaya çıkmıştır. Doğal olmayan puzolanlar olan, kömür ocağı atıkları, değerli maden atıkları, kalsiyum ve karbon tortuları, pişirilmiş kil ve şeyl atıkları, uçucu kül, demir ve çelik üretim cürufları ve yerel yönetim atıklarından pek az bir bölümü Türkiye’de yaygın olarak mineralojik katkı olarak kullanılmaktadır. Araştırmalardan doğal olmayan puzolanların çimento ve betonun bazı fiziksel özelliklerine olumlu etkisinin olduğu bilinmektedir. Türkiye’de bu doğal olmayan puzolanların çimento hammaddesi, harç ve beton katkısı olarak kullanım oranı halen Dünya’da ki örneklerinden daha düşüktür. Doğal olmayan puzolanların bir yapı malzemesinin hammaddesi veya katkısı olarak diğer ülkelerdeki oranda kullanılmasının, ülkemiz ekonomisine kazanç sağlaması beklenmektedir.

## Bölüm 2 Kaynaklar

1. Gutt, W, Nixon, PJ. Use of waste materials in the construction industry, *Materials and Structures*, 12 (70): 255 – 306, 1970.
2. Gimenez, S., Blanco, M., T., Palomo, A., Puertas, F., “Production of cement requiring low energy expenditure – An industrial test”, *ZKG International*, 44 (1): 12–15, 1991.
3. ASTM C 125 Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates, *ASTM International*, Conshohocken, 1-4, 2003.
4. Anonim, “İnşaat sektöründe ve diğer sektörlerde mermer atıklarının değerlendirilmesi”, *Taş Dünyası*, (22): 40–45, 2001.
5. Irassar, E., F., Bonavetti, V., Donza, H., Menéndez, G., Cabrera, O. Limestone filler cement in low w/c concrete: A rational use of energy, *Cement and Concrete Research*, 33 (6): 865-871, 2002.
6. Heikal, M., El-Didamony, H., Morsy, MS. Limestone-filled pozzolanic cement”, *Cement and Concrete Research*, 30 (11): 1827-1834, 2000.
7. Öneç, Dİ. Sedimanter kaya mermerciliğinde bloklarda ürün alınmasını engelleyen jeolojik oluşumlar, *Maden Tetkik ve Arama Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 1–2 61–63, 1998.
8. Kırgız, MS. Mermer ve tuğla endüstrisi atıklarının çimento üretiminde mineralojik katkı olarak kullanılması, 228 S. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2007.
9. Özdamar, Z., Yavuz, B. Türk Yapı Sektörü Raporu, *Yapı-Endüstri Merkezi*, İstanbul, 70–77, 100–102, 147–160, 2005.
10. Erdoğan, TY. Beton, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.*, Ankara, 17–37, 169–199, 2003.
11. Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B. Tarihi yapılarda kullanılan Horasan harcı ve sıvalarının özellikleri, *Yapı Dergisi*, (269): 90–95, 2004.
12. Devlet Planlama Teşkilatı, “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Alçı-Kireç-Kum-Çakıl-Mıcır-Boya toprakları-Tuğla-Kiremit”, *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu DPT:2615-ÖİK: 626*, Ankara, 85–90 (2001).
13. Devlet Planlama Teşkilatı, “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Çimento hammaddeleri”, *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu DPT:2614-ÖİK: 625*, Ankara, 3–28 (2001).
14. Ho, DWS., Sheinn, AMM., Ng, CC., Tam, CT. The use of quarry dust for SCC applications, *Cement and Concrete Research*, 32 (4): 505-511, 2001.
15. Lewis, R., Sear, L., Wainwright, P., Ryle, R. (Part 2) Cementitious Additions, Advanced concrete technology constituent materials, S. 3, 19, 21, 49, 2003 [Editörler: Newman, J., Choo, BS. Advanced concrete technology constituent materials, 272 S., *Elsiver Ltd.*, London].
16. Ambroise, J., Murat, M., Pera, J. Hydration reaction and hardening of calcined clays and related minerals V. Extension of the research and general conclusions, *Cement and Concrete Research*, 15 (2): 261 – 268, 1985.
17. Lewis, R., Sear, L., Wainwright, P., Ryle, R. (Part 2) Cementitious additions, Advanced concrete technology constituent materials, S. 1-66, 2003 [Editörler: Newman, J., Choo, BS. Advanced concrete technology constituent materials, 272 S., *Elsiver Ltd.*, London].
18. Tokyay, M. Cüruflar ve cürufllu çimentolar, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ar – Ge Y97–2*, 9–21, 2002.