

## Emirdağ-Adaçal (Afyonkarahisar) Kireçtaşlarının Beton Agregaları Standardına Uygunluğunun Araştırılması

**Fatma Yılmaz, Selçuk Koltka ve Eyüp Sabah**

*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar*  
e-posta: fatma.yilmaz.89@hotmail.com, selcukkoltka@hotmail.com ve esabah@aku.edu.tr

Geliş Tarihi: 09 Eylül 2011; Kabul Tarihi: 25 Ekim 2011

### Özet

#### Anahtar kelimeler

Agrega;  
Kireçtaşı;  
Beton

Bu çalışmada, Emirdağ-Afyon Adaçal Endüstriyel Mineraller A.Ş.'ye ait kırma-eleme tesisinde üretilen kırmataşların TS 706 EN 12620 beton agregaları standardına uygunluğu araştırılmıştır. Standarda uygun olarak kireçtaşı ocağından alınan numuneler, boyut küçültme, numune azaltma ve boyuta göre sınıflandırma işlemine tabi tutulduktan sonra iri (22,4-11,2 mm ve 11,2-4 mm) ve ince (0-4 mm) agrega olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan numunelere uygulanan fiziksel, kimyasal ve geometrik testler ve/veya analizler sonucunda; Adaçal kireçtaşlarının "TS 706 EN 12620 Beton Agregaları" standardında aranan özelliklere uygun olduğu ve kırmataşların, hazır betonda beton agregası olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

## Investigation of Suitability of the Limestone from Emirdağ-Adaçal (Afyonkarahisar) as Standard for Concrete Aggregate

### Abstract

#### Key words

Aggregate;  
Limestone;  
Concrete

In this study, the gravel stones produced in crushing-screening plant of Adaçal Industrial Minerals located in the province of Emirdağ, Afyon were investigated in terms of appropriation to TS 706 EN 12620 standard. The samples taken from the limestone quarry are subjected to size and quantity reduction and size classification processes, after subjecting to large and thin are classified as aggregate. physical, chemical and geometrical tests were conducted with classified samples according to this standard. Adaçal limestones objected to this study was found ready to be used as concrete ingredient according to "Concrete Aggregate" Standard TS 706 EN 12620.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Nüfusu hızla artan, sanayileşen ve kentleşen ülkemizde konut, sanayi, tarım ve ulaşım yapılarına duyulan gereksinim de artmaktadır. Bu yapıların çoğunun inşasında bağlayıcı madde (çimento-asfalt) ile birlikte agrega (kum-çakıl) kullanılmaktadır. İnşaat sektörü için büyük önem taşıyan betonun toplam hacminin %60-80'i agregadan oluşmaktadır (Güvercin ve Aybet, 2003; Kahraman, 2006). Ülkemizde agrega üretimi taşocaklarından, dere yataklarından ve denizlerden yapılmaktadır. Bu çeşitlilikte, arazi yapısı önemli rol oynamaktadır. Akarsu yataklarından üretim, son yıllarda çevre koruma kanunlarının getirdiği kısıtlamalarla azalma eğilimine gitmiştir. Agregada

üretimi olarak taşocakları her geçen gün önem kazanmaktadır (Yılmaz ve Arıoğlu, 2006).

Üretilen agregaların fiziksel ve kimyasal özellikleri betonun dayanımını, kullanılan çimento miktarını vs. etkilemektedir. Bu nedenle agregaların kimyasal bileşimi, mineralojik ve petrografik yapısı ile fiziksel özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bütün bu özellikler betonun performansını ve durabilitesini önemli ölçüde etkilediğinden, üretilen agregaların belli standartlara uygunluğu test edilmeden herhangi bir yatırıma gidilmesi sakınca oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, Afyonkarahisar-Emirdağ İlçesi, Tabaklar Köyü sınırları içinde yer alan kireçtaşının fiziksel, mekanik ve petrografik özellikleri incelenmiş, TS 706 EN 12620 "Beton Agregaları" standardına uygun olarak gerçekleştirilen analiz

ve/veya testler sonucunda elde edilen verilerin standarda uygunluğu araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Malzeme

Numuneler, Afyonkarahisar İli, Emirdağ İlçesi, Tabaklar Köyünde İ.R. 76014 nolu faaliyet gösteren kireçtaşı ocağından temin edilmiştir. Numune temininde TS 707 normuna uygun hareket edilmiştir.

### 2.2. Yöntem

Çalışma kapsamında, kırma-eleme tesislerinde üretilen agregaların standartlara uygunluğu, TS 706 EN 12620'ye uygun olarak incelenmiş, agregaların özelliklerini tespit amacıyla Çizelge 1'de belirtilen test ve/veya analizler yapılmıştır.

Çizelge 1. TS 706 EN 12620 Standardına göre beton agregalarına yapılan test ve/veya analizler.

Test Analiz	ve/veya	Uygulanan Standart	Kaynak
Numune alma		TS 707	TSE, 1980
Numune azaltma		TS EN 932-2	TSE, 1999
Agrega tane sınıfları		TS 3530 EN 933-1	TSE, 1999
Çok ince malzeme muhtevası		TS 3530 EN 933-1	TSE, 1999
Metilen mavisi		TS EN 933-9	TSE, 2001
Tane şekli tayini (şekil indisi)		TS 3814 EN 933-4	TSE, 2001
Los Angeles metodu		TS EN 1097-2	TSE, 2000
Özgül ağırlık ve su emme oranı		TS EN 1097-6	TSE, 2002
Yığın yoğunluğu ve boşluk hacmi tayini		TS EN 1097-3	TSE, 1999
Su muhtevası		TS EN 1097-5	TSE, 2001
Donma ve çözölmeye karşı direnç		TS EN 1367-1	TSE, 1999
Asitte çözünebilen sülfat		TS EN 1744-1	TSE, 2000
Toplam kükürt		TS EN 1744-1	TSE, 2000
Ateş zayıtı		TS EN 1744-1	TSE, 2000
Humus muhtevası		TS EN 1744-1	TSE, 2000
Petrografik analiz		TS 10088 EN 932-3	TSE, 1997

### 2.2.1. Numune azaltma

Test ve/veya analizi yapılacak agrega numuneleri, TS EN 932-2 standardına uygun şekilde azaltılmıştır.

### 2.2.2. Tane boyu analizi (Granülometrik birleşim)

Agreganın boyut dağılımını belirlemek için yapılan elek analizi, TS 3530 EN 933-1 standardına uygun olarak yüksek kapasiteli elek sarsma cihazında gerçekleştirilmiştir.

#### 2.2.2.1. İncelik modülü

Agreganın incelik veya kalınlığını izah eden uluslararası bir deyimdir. Birbirini takip eden iki katlı elek setlerinden, elek üzerinde kalan malzemelerin kümülatif %'leri toplamının yüze bölünmesi ile elde edilen değerdir. İncelik modülü (i), Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$i = \frac{\text{Kümülatif kalan}(\%)}{100} \quad (1)$$

#### 2.2.2.2. Çok ince malzeme muhtevası

TS EN 12620'ye göre çok ince malzeme, aşağıda belirtilen durumlardan birinin söz konusu olması halinde zararsız olarak kabul edilmektedir:

- İnce agreganın toplam çok ince malzeme muhtevasının, %3'ten veya agreganın kullanıldığı yerde geçerli olan mevzuata göre belirtilmiş olan başka bir değerden daha az olması,
- EN 933-8'e uygun olarak deneye tabi tutulduğunda, kum eşdeğerinin (SE), belirtilen alt sınırı aşması,
- EN 933-9'a uygun olarak deneye tabi tutulduğunda, metilen mavisi deneyinin (MB), belirtilen alt sınır değerinden daha küçük bir değer vermesi.

Çok ince malzeme muhtevası (f), Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$f = \left[ \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \right] * 100 \quad (2)$$

f : Çok ince malzeme muhtevası (%)

M<sub>1</sub> : Deney kısmının kuru kütlesi (g)

M<sub>2</sub> : 63 µm göz açıklıklı elek üzerinde kalan malzemenin kuru kütlesi (g)

### 2.2.3. Metilen mavisi

Bu test, ince veya gruplanmış agregalarda (0-2 mm aralığında) metilen mavisi değerinin (MB) tayininde kullanılmaktadır.

0-2 mm fraksiyonunda beher kilogramı başına tüketilen boyanın gram cinsinden ifadesi olan metilen mavisi değeri (MB), Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır.

$$MB=(V_1/M_1)*100 \quad (3)$$

MB: Metilen mavisi değeri (%)

$V_1$ : İlave edilen boya çözeltisinin toplam hacmi (ml)

$M_1$ : Numune miktarı (g)

### 2.2.4. Tane şekli tayini şekil indisi

Agrega tanelerinin şeklini belirlemek için şekil indisi deneyi yapılmıştır. İri agregalı numunede ayrı ayrı taneler, gerektiğinde Verniyeli kumpası kullanılarak elde edilen tane boyunun (L), tane kalınlığına (E) oranı esas alınarak sınıflandırılır. Şekil indisi, L/E oranı 3'ten büyük olan tanelerin kütlesi olarak hesaplanır ve teste tabi tutulan tanelerin toplam kuru kütlelerinin yüzdesi olarak ifade edilir.

Elde edilen verilerden hareketle şekil indisi (SI), Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SI=(M_2/M_1)*100 \quad (4)$$

SI: Şekil indisi (%)

$M_1$ : Numune miktarı (g)

$M_2$ : Kübik olmayan tanelerin miktarı (g)

### 2.2.5. Los Angeles metodu (Darbeli aşınma testi)

Bu test, agreganın aşınmaya karşı dayanıklılığını tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Kaba agreganın aşınması, aşındırıcı bir yük kullanılarak Los Angeles makinesi ile tayin edilmiştir.

Los Angeles aşınma deneyi, darbeleme ve aşındırma etkilerinin agrega gradasyonu üzerinde oluşturduğu bozulmanın bulunmasını sağlamaktadır.

Los Angeles aşınma değeri (LA), Eşitlik 5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$LA=(5000-m)/50 \quad (5)$$

LA: Los Angeles aşınma değeri (%)

m: 1,6 mm'lik elek üzerinde kalan fraksiyon (g)

### 2.2.6. Agreganın özgül ağırlık ve su emme oranı

Özgül ağırlık, agreganın hacmine karşılık gelen ağırlığıdır. Bu özellik agrega kökeni hakkında bilgi verir ve beton bileşenlerinin hesabında kullanılmaktadır. Düşük özgül ağırlık sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgül ağırlık ise kaliteli betona uygun agregayı tanımlar. Normal agreganın özgül ağırlığının 2,50–2,70 g/cm<sup>3</sup> arasında olması gerekir. TS EN 1097-6'ya göre uygun olarak hazırlanan numunelerde gerçekleştirilen testlerde ince ve iri agregalar için özgül ağırlık ve su emme değerleri Eşitlik 6, 7, 8 ve 9 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\delta_a=M_4/[M_4-(M_2-M_3)] \quad (6)$$

$$\delta_{rd}=M_4/[M_1-(M_2-M_3)] \quad (7)$$

$$\delta_{ssd}=M_1/[M_1-(M_2-M_3)] \quad (8)$$

$$WA_{24}=[100*(M_1-M_4)]/M_4 \quad (9)$$

$M_1$  : Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi (g)

$M_2$  : Doygun agrega numunesi ihtiva eden piknometrenin kütlesi (g)

$M_3$  : Sadece su ile doldurulmuş piknometrenin kütlesi (g)

$M_4$  : Etüvde kurumuş malzemenin değişmez kuru ağırlığı (g)

$\delta_w$  :  $M_2$  tayin edildiğinde sıcaklıktaki su yoğunluğu (Mg/ m<sup>3</sup>)

$\delta_d$  : Görünür tane yoğunluğu (Mg/ m<sup>3</sup>)

$\delta_{rd}$  : Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu (Mg/ m<sup>3</sup>)

$\delta_{ssd}$  : Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu (Mg/ m<sup>3</sup>)

$WA_{24}$ : Su emme oranı (%)

### 2.2.7. Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini

Kuru agreganın gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Gevşek yığın yoğunluğu ( $\delta_b$ ), her numune için Eşitlik

10 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\delta_b = (m_2 - m_1) / V \quad (10)$$

$\delta_b$  : Gevşek yığın yoğunluğu (Mg/ m<sup>3</sup>)

$m_2$  : Ölçü kabı ve deney numunesinin kütlesi (kg)

$m_1$  : Boş ölçü kabı kütlesi (kg)

$V$  : Ölçü kabının hacmi (L)

Boşluk yüzdesi, ölçü kabındaki boşlukların hacimsel oranı Eşitlik 11 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$v = [(\delta_p - \delta_b) / \delta_p] \times 100 \quad (11)$$

$v$  : Boşluk yüzdesi (%)

$\delta_b$  : Gevşek yığın yoğunluğu (Mg/m<sup>3</sup>)

$\delta_p$  : Aynı laboratuvar numunesinden, alınan bir deney kısmında TS EN 1097-6'ya göre belirlenen etüvde kurutulmuş veya önceden kurutulmuş tane yoğunluğu (Mg/m<sup>3</sup>)

### 2.2.8. Sıkışık yığın yoğunluğu

Kuru agreganın sıkışık yığın yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Sıkışık yığın yoğunluğu ( $\delta_a$ ), her deney numunesi için Eşitlik 12 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\delta_a = (w_2 - w_1) / V \quad (12)$$

$\delta_a$  : Sıkışık Yığın Yoğunluğu (Mg/ m<sup>3</sup>)

$w_2$  : Ölçü kabı ve deney numunesinin kütlesi (kg)

$w_1$  : Boş ölçü kabı kütlesi (kg)

$V$  : Ölçü kabının hacmi (L)

### 2.2.9. Donmaya ve çözülmeye karşı direnç

Bu test, agreganın arka arkaya donma ve çözülmeye karşı dayanımlarının ölçülmesinde çabuklaştırılmış bir deneydir. Sodyum Sülfat çözeltisi ile veya soğutma (TS EN 1367-1) uygulanarak yapılabilir.

Donma ve çözülmeye karşı direnç, Eşitlik 13 ile hesaplanmıştır.

$$F = [(M_1 - M_2) / M_1] * 100 \quad (13)$$

$F$  : Donma-çözülme döngüsünden sonra üç deney numunesinin kütlece yüzde kaybı (%)

$M_1$  : Üç deney numunesinin toplam ilk kuru kütlesi

(g)

$M_2$  : Belirtilen elekte tutulan üç deney numunesinin toplam nihai kuru kütlesi (g)

### 2.2.10. Hava dolaşımli etüvde kurutma ile su muhtevası

Bu test, hava dolaşımli etüvde kurutma ile agregaların su muhtevasının tayinini kapsar (TS EN 1097-5). Etüvde kurutma metodu, agreganın deney numunesi kısmındaki mevcut toplam serbest suyun ölçüsünü verir. Su, agreganın yüzeyinden ve agregataneleri arasındaki su girebilen gözeneklerden kaynaklanabilir.

Su muhtevası değeri, deney numunesinde kuru deney numunesi kısmının kütesinin yüzdesi olarak ifade edilen su kütesidir. Su muhtevası (W), Eşitlik 14 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W = (M_1 - M_3) / M_3 * 100 \quad (14)$$

$M_1$ : Deney numunesi kısmının kütesi (g)

$M_3$ : Kuru deney numunesi kısmının sabit kütesi (g)

### 2.2.11. Asitte çözünebilen sülfat

Asitte çözünebilen sülfat tayini TS EN 1744-1 Madde 12'ye uygun olarak, seyreltik hidroklorik asitle agregat deney numunesi parçasından ekstrakte edilen sülfatlar, gravimetrik metotla tayin edilmiştir. Sülfat iyonu muhtevası agreganın kütlece yüzdesi olarak ifade edilmiştir (Eşitlik 15).

$$\text{Sülfat Muhtevası} = m_7 / m_6 * 34,30 (\%) \quad (15)$$

$m_7$ : Çökeleğin kütesi (g)

$m_6$ : Deney numunesi parçasının kütesi (g)

### 2.2.12. Toplam kükürt

Toplam kükürt muhtevası tayininde, TS EN 1744-1 Madde 11'e uygun olarak, mevcut kükürt bileşiği sülfatlara dönüştürmek için brom ve nitrik asit ile muamele edilmektedir. Sülfatlar, BaSO<sub>4</sub> olarak çöktürülerek tartılmıştır.

S ile ifade edilen, agreganın toplam kükürt muhtevası, Eşitlik 16'ya göre hesaplanmıştır.

$$S = m_5 / m_4 * 13,74 (\%) \quad (16)$$

$m_5$ : Çökeleğin kütlesi (g)

$m_4$ : Deney numunesi parçasının kütlesi (g)

### 2.2.13. Ateş zayıatı

Ateş zayıatı, TS EN 1744-1 Madde 17'ye uygun olarak bir oksitleyici atmosferde (hava) tayin edilmektedir. Havada  $(975 \pm 25)^\circ\text{C}$ 'de yakılarak, karbondioksit ve kurutma sırasında buharlaşmayan su, uçucu elementler gibi uzaklaştırılırlar.

Agreganın ateş zayıatı Eşitlik 17'de hesaplanmıştır.

$$\text{Ateş Zayıatı} = (m_{13} - m_{14}) / m_{13} * 100 (\%) \quad (17)$$

$m_{13}$ : Deney numunesi parçasının kütlesi (g)

$m_{14}$ : Yakılmış deney numunesi parçasının kütlesi (g)

### 2.2.14. Humus muhtevası

Humus muhtevası, TS EN 1744-1 Madde 15.1'e göre, bir deney numunesi parçasının sodyum hidrosit çözeltisinde çalkalandığında oluşan renkten tayin edilmektedir.

### 2.2.15. Petrografik analiz

Taş ocağından alınan kaya örneğinin ince kesitleri, TS 10088 EN 932-3'e uygun olarak ince kesitleri vakumlu mikro metrik kesit inceltme cihazında hazırlanmış ve petrografik incelemeleri Nikon marka LV100POL model polarizan mikroskopta yapılmıştır.

## 3. Bulgular

### 3.1. Geometrik özellikler

#### 3.1.1. Tane boyu analizi

TS 3530 EN 933-1 standardına uygun olarak elek analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 2-4'de verilmiştir.

Farklı fraksiyonlara yapılan elek analizi sonuçlarında bulunan değerler TS 706 EN 12620'ye göre kategorilere ayrılmıştır (Çizelge 5).

Elek analizi sonucunda betonda kullanılacak agreganın en büyük tane boyutu ve her elekten geçen agrega yüzdesi saptanarak granülometri eğrileri çizilmiştir (Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3).

Çizelge 2. 22,4-11,2 mm Tane boyutlarında kırmataş agregasının tane büyüklüğü dağılımı değeri.

Elek Açıklığı (mm)	Küm. Kalan (gr)	Küm. Eleküstü (%)	Küm. Elekalıtı (%)
31,50	-	-	100,00
22,40	158,80	2,00	100,00
16,00	6218,07	78,20	98,00
11,20	1529,87	19,24	19,80
8,00	44,53	0,56	0,56
Toplam	7951,50	100,00	

Çizelge 3. 11,2-4 mm Tane boyutlarında kırmataş agregasının boyut dağılımı.

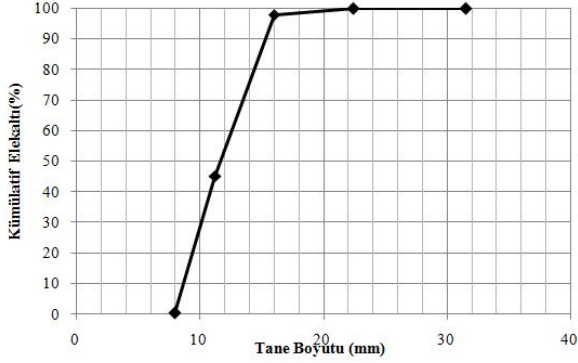
Elek Açıklığı (mm)	Küm. Kalan (gr)	Küm. Eleküstü (%)	Küm. Elekalıtı (%)
22,40	-	0,00	100,00
16,00	-	0,00	100,00
11,20	336,30	8,48	100,00
8,00	1023,70	25,82	91,52
5,60	1516,10	38,23	65,70
4,00	992,40	25,03	27,47
2,00	79,40	2,00	2,44
1,00	1,30	0,03	0,44
0,50	0,80	0,02	0,41
0,25	0,60	0,01	0,39
0,063	2,40	0,06	0,38
-0,063	12,50	0,32	0,32
Toplam	3965,50	100,00	-

Çizelge 4. 0-4 mm Tane boyutlarında kırmataş agregasının boyut dağılımı.

Elek Açıklığı (mm)	Küm. Kalan (gr)	Küm. Eleküstü (%)	Küm. Elekalıtı (%)
5,60	-	-	100,00
4,00	310,00	12,54	100,00
2,00	1275,90	51,13	87,60
1,00	392,50	15,73	36,45
0,50	148,90	5,97	20,72
0,25	80,90	3,24	14,75
0,063	147,90	5,93	11,51
-0,063	139,20	5,58	5,58
Toplam	2495,30	100,00	-

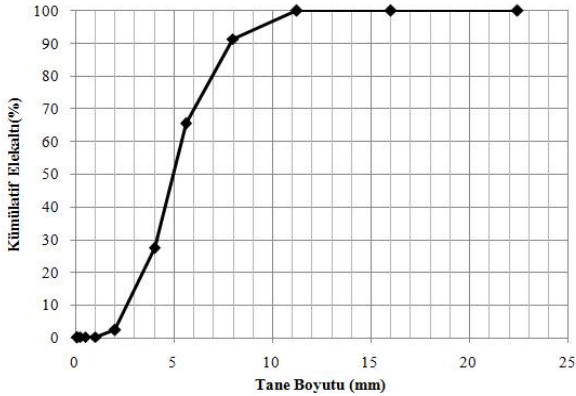
Çizelge 5. Tane büyüklüğü dağılımı için genel şartlar (TS 706 EN 12620).

Agrega	Tane Büyüklüğü	Elekten geçen malzeme yüzdesi					Kategori, G <sup>d</sup>
		2 D	1,4D <sup>a,b</sup>	D <sup>c</sup>	d <sup>b</sup>	d/2 <sup>a,b</sup>	
İri	D/d≤2 veya D≤11,2 mm	100	98-100	85- 99	0- 20	0- 5	G <sub>C</sub> 85/20
	D/d>2 ve D>11,2 mm	100	98-100	80- 99	0- 20	0- 5	G <sub>C</sub> 80/20
İnce	D≤4 mm ve d=0	100	95-100	85- 99	-	-	G <sub>F</sub> 85



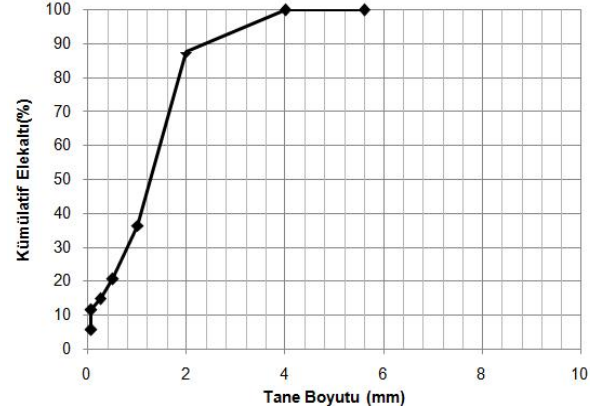
Şekil 1. Kırmataş agregasına (22,4-11,2 mm) ait granülometri eğrisi.

Şekil 1'de görüldüğü gibi, üst elek açıklığı 22,4 mm olan elekten, agreganın %100'ü geçmiştir. Ayrıca alt elek açıklığı 11,2 mm olan elekten de malzemenin %19,80'ı geçmiş olup, TS 706 EN 12620'ye göre G<sub>C</sub>80/20 iri agrega kategorisine uygun olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. Kırmataş agregasına (11,2-4 mm) ait granülometri eğrisi.

Şekil 2'de görüldüğü gibi, üst elek açıklığı 11,2 mm olan elekten, agreganın %100'ü, ayrıca alt elek açıklığı 4 mm olan elekten de malzemenin %27,47'si geçmiş olup, TS 706 EN 12620'ye göre G<sub>C</sub>80/20 iri agrega kategorisine uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3. Kırmataş agregasına (4-0 mm) ait granülometri eğrisi.

Üst elek açıklığı 4 mm olan elekten, agreganın %100'ü geçmiştir (Şekil 3). Agregalar TS 706 EN 12620'ye göre G<sub>F</sub>85 ince agrega kategorisine uygun olduğu tespit edilmiştir.

Agregaların tane büyüklüğünün tayini için yapılan testlerde, çalışma bölgesinden alınan agregaların betonda kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

### 3.1.1.1. İncelik modülü

İncelik modülü, ince agreganın birbirini sarma kabiliyetini göstermektedir. Agreganın incelik modülü "İ" %3,29 olarak belirlenmiş olup, bu sonucu boyut analizi verileri de teyit etmektedir.

$$\bar{I} = (12,49 + 63,55 + 79,28 + 85,25 + 88,48) / 100$$

$$\bar{I} = \%3,29$$

### 3.1.1.2. Çok ince malzeme muhtevası

Kırmataş agregalarının çok ince malzeme muhtevası değeri ve belirtilen ilgili kategorisi Çizelge 6'da verilmiştir. Çok ince malzeme muhtevası, ilgili kategoriye uygun olarak, ince malzemeler için  $f_{10}$ , iri agregalar içinde  $f_{1,5}$  bulunmuştur. Sonuçlar; iri agregalarda %4'den, ince agregalarda ise %22'den az çıktığı için TS 706 EN

12620'ye uygun bulunmuştur.

Çizelge 6. Kırmataş agregalarının çok ince malzeme muhtevası değeri.

Agrega Sınıfı	Tane boyutu (mm)	Sonuç (%)	TS 706 EN 12620		
			Agrega	0,063 mm elekten geçen malzeme (%)	Kategori F
İri agregalar	22,4-11,2	0,56	İri Agregalar	≤1,5	f <sub>1,5</sub>
				≤4	f <sub>4</sub>
				>4	f <sub>beyan</sub>
İnce agregalar	4-0	5,58	İnce Agregalar	Serbest	f <sub>NR</sub>
				≤3	f <sub>3</sub>
				≤10	f <sub>10</sub>
				≤16	f <sub>16</sub>
				≤22	f <sub>22</sub>
				>22	f <sub>beyan</sub>
				Serbest	f <sub>NR</sub>

### 3.1.2. Metilen mavisi

Agrega numunelerinin kalitesini belirlemek için 0-2 mm tane boyu aralığındaki agregalara uygulanan metilen mavisi testi sonucu, MB değeri %0,99 bulunmuştur. Bu durum, agreganın ince madde içermediğine işaret etmektedir. Ayrıca çok ince malzeme muhtevası değerinin de düşük olması metilen mavisi sonucunu desteklemektedir. Agregalar içerisinde bulunan ince maddelerin;

- Agregalar ile çimento hamuru arasında kalarak aderansı azaltması,
- Betonun prizine veya sertleşmesine etki etmesi,
- Betonun mukavemetini düşürmesi,
- Çimento hamurunda zararlı kimyasal reaksiyonlara yol açabilmesi,
- Donatının korozyona karşı korunmasını azaltması gibi olumsuz etkileri bulunmaktadır.

Agregalara ait bulunan şekil indisi değerleri ve TS 706 EN 12620 standardına ait kategori Çizelge 7'de verilmiştir. Buna göre, bulunan şekil indisi değeri %55'den küçük olduğu için, SI<sub>15</sub> kategorisine girmektedir. Agregalar tanelerinin şeklinin, beton üretiminde mukavemet üzerinde etkisi bulunmaktadır. Beton karışımında fazla miktarda bulunan biçimsiz agregalar taneleri, pompalama ve sıkıştırma işleminin daha zor gerçekleşmesine neden olmaktadır. Değerin %55'den küçük çıkması malzemenin betonda kullanabileceğini ve mukavemet üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Ayrıca, bu değer standarda uygun çıkması taze betonun işlenebilmesinde sakınca yaratmamakta, betonun su gereksinimi ve terlemesi de düşük olmaktadır.

### 3.1.3. Tane şekli tayini şekil indisi

Çizelge 7. Kırmataş agregalarının şekil indisi verileri.

Di ≤ 2di iken tane büyüklüğü aralığı d <sub>i</sub> /D <sub>i</sub> (mm)	Kütle "M <sub>1</sub> " (gr)	Kütle "M <sub>2</sub> " (gr)	Şekil indisi % SI= (M <sub>2</sub> /M <sub>1</sub> )*100 En yakın tam sayıya	TS 706 EN 12620	
				Şekil indisi	Kategori SI
4-11,2	1.000	147	14,70	≤ 15	SI <sub>15</sub>
				≤ 20	SI <sub>20</sub>
				≤ 40	SI <sub>40</sub>
				≤ 55	SI <sub>55</sub>
				> 55	SI <sub>beyan</sub>
11,2-22,4	1.000	134	13,40	Serbest	SI <sub>NR</sub>

### 3.2. Fiziksel özellikler

#### 3.2.1. Los Angeles metodu (Darbeli aşınma testi)

TS EN 1097-2 standardına uygun Los Angeles test sonuçları ve standartta belirtilen kategori Çizelge 8'de verilmiştir. Buna göre; Los Angeles Katsayısı, LA<sub>30</sub> kategorisine uymaktadır. İri agregalarda parçalanma direnci tayini için kullanılan Los Angeles katsayısı, TS 706 EN 12620'ye göre %50'den daha az olmalıdır. Düşük aşınma dayanımı değeri, tanelerin mekanik etkilere karşı dayanımının yüksek olduğuna işaret etmektedir.

Çizelge 8. Agregaların Los-Angeles katsayısı.

Açıklama	Sonuç	TS 706 EN 12620	
		Los Angeles katsayısı	Kategori LA
1,6 mm elek bakiyesi	3.600 g	≤ 15	LA <sub>15</sub>
		≤ 20	LA <sub>20</sub>
		≤ 25	LA <sub>25</sub>
		≤ 30	LA <sub>30</sub>
		≤ 35	LA <sub>35</sub>
		≤ 40	LA <sub>40</sub>
		≤ 50	LA <sub>50</sub>
	> 50	LA <sub>beyan</sub>	
Los Angeles katsayısı	%30	Serbest	LA <sub>NR</sub>

#### 3.2.2. Agreganın özgül ağırlık ve su emme oranı

TS EN 1097-6'ya göre uygun olarak hazırlanan numunelerle gerçekleştirilen testlerde özgül ağırlık ve su emme değerleri; iri ve ince agregalar için Çizelge 9'da verilmiştir. Özgül ağırlıklar, iri agregalar (4-11,2 ve 11,2-22,4 mm) için 2,66 ve 2,68 Mg/m<sup>3</sup>, ince agregalar (0-4 mm) için ise 2,7 Mg/m<sup>3</sup>'dür. İlgili standardın öngördüğü limit özgül ağırlık değerleri 2,50-2,70 Mg/m<sup>3</sup> arasında olduğundan, araştırmaya konu iri ve ince agregalar önerilen sınır değerleri içinde yer almaktadır. Boşluksuz ve sağlam agregalar yüksek özgül ağırlık değerleri verdiğinden incelenen agregaların kaliteli olduğu söylenebilir.

Çizelge 9. İri ve ince agregaların özgül ağırlık ve su emme oranları.

Açıklama	İri Agregası (22,4-11,2)	İnce Agregası (4-11,2)	İnce Agregası (0-4)
M <sub>1</sub> (g)	1006,4	986,2	477,2
M <sub>2</sub> (g)	1194,6	1179,7	922,1
M <sub>3</sub> (g)	561,7	561,6	621,5
M <sub>4</sub> (g)	1005,1	983,4	472,8
δ <sub>w</sub> (Mg/m <sup>3</sup> )	0,9982	0,9982	0,9982
δ <sub>a</sub> (Mg/m <sup>3</sup> )	2,69	2,68	2,75
δ <sub>rd</sub> (Mg/m <sup>3</sup> )	2,68	2,66	2,68
δ <sub>ssd</sub> (Mg/m <sup>3</sup> )	2,68	2,66	2,70
WA <sub>24</sub> (%)	0,13	0,28	0,93

Agrega su emme değeri, tane yoğunluğu, dona karşı mukavemeti ve dayanımı etkilemektedir. Agreganın tane yoğunluğu ve su emme oranı, esas olarak beton karışım hesaplarında kullanılmaktadır. Ayrıca, beton karışımlarında karma suyunun oranını etkilemesi ve betonun dayanımını düşürmesi nedeniyle de önem kazanmaktadır. 22,4 – 11,2 mm ve 11,2 – 4 mm fraksiyonunda yer alan iri agregalar için sırasıyla %0,13 ve %0,28 olup, 4 – 0 mm boyut aralığında yer alan ince agregalar için %0,93'dür.

#### 3.2.3. Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini

Testler, en az üç numune üzerinde tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 10. Agregalarda gevşek yığın yoğunluğu ve boşluk hacmi.

Agrega sınıfı	Tane boyutu (mm)	Gevşek yığın yoğunluğu (Mg/m <sup>3</sup> )	Boşluk hacmi (%)
İri Agregası	22,4-11,2	1,41	48
İri Agregası	11,2-4	1,41	47
İnce Agregası	4-0	1,73	36

Gevşek yığın yoğunluğu, agreganın tane şekli



ve tane yoğunluğuyla yakından ilgilidir. Agregada içerisinde bulunan kusurlu tane oranı arttıkça boşluk miktarı artar ve gevşek yığın yoğunluğu da düşer. Agreganın boşluklu olması, betonun dış etkenlere karşı korunmasında olumsuzluklar meydana getirdiğinden bunu önlemek için taneler arası boşluk hacmi ve tane granülometri eğrisinden yararlanılarak daha az boşluklu beton hazırlanabilir. Hazırlanan beton daha az boşluklu olacağından dış etkilere karşı dayanımı ve kompasitesi artacaktır.

### 3.2.4. Sıkışık yığın yoğunluğu

Sıkışık yığın yoğunluğu testleri, en az üç numune üzerinde tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 11'de verilmiştir. Genel olarak agreganın birim ağırlığının 1300–1900 kg/dm<sup>3</sup> (1,30-1,90 Mg/m<sup>3</sup>) arasında olması istenmektedir. Sıkışık yığın yoğunluğu sonuçları, agregaların gevşek ve sıkışık yığın yoğunluğu yönünden beton yapımında kullanılabilir olduğu göstermektedir. Ayrıca sıkışık yığın yoğunluğu ne kadar yüksek ise, basınç dayanımı ve dış etkenlere dayanım da o kadar yüksek olmaktadır.

Çizelge 11. Agregalarda sıkışık yığın yoğunluğu.

Agrega sınıfı	Tane boyutu (mm)	Sıkışık yığın yoğunluğu (Mg/m <sup>3</sup> )
İri Agregada	22,4-11,2	1,60
İri Agregada	11,2-4	1,59
İnce Agregada	4-0	1,87

### 3.2.5. Donma ve çözölmeye karşı direnç

Agregaların, donma ve çözölmeye direnci testleri TS EN 1367-1'e göre yapılmış olup, sonuçlar Çizelge 12'de verilmiştir. İri agregalarda donma dayanıklılık, TS 706 EN 12620'ye göre %4'den daha az olması gerekmektedir. Bu değer, agregada içerisinde boşlukların az olduğunu göstermektedir. Agregada boşlukların az olması, su emme değerinin düşmesine ve donma-çözölmeye sonucu agregada tahribatin az olmasına neden olmaktadır.

### 3.2.6. Hava dolaşımı etüvde kurutma ile su muhtevası

Hava dolaşımı etüvde kurutma ile su muhtevası

tayini için gerçekleştirilen testlerden elde edilen veriler Çizelge 13'de sunulmuştur. Betonun üretileceği gün, agregada tanelerin üzerinde yüzey nemi bulunuyorsa, su/çimento oranı istenilen miktardan daha yüksek olacağından, betondan istenilen dayanım elde edilememektedir. Bunu önlemek için agreganın yüzey nemi hesaplanmalı ve karışıma girecek su miktarı o ölçüde azaltılmalıdır.

Çizelge 12. Agregalarda donma ve çözölmeye.

		TS 706 EN12620	
Açıklama	Sonuç	Donma- çözölmeye (Kütlece yüzde kayıp)	Kategori F
		≤ 1	F <sub>1</sub>
		≤ 2	F <sub>2</sub>
Donma ve çözölmeye sonrası kayıp	%0,45	≤ 4	F <sub>4</sub>
		> 4	F <sub>beyan</sub>
		Serbest	F <sub>NR</sub>

Çizelge 13. Agregalarda su muhtevası.

Agrega sınıfı	Tane boyutu (mm)	Su muhtevası (%)
İri Agregada	22,4-11,2	0,021
İri Agregada	11,2-4	0,009
İnce Agregada	4-0	0,030

### 3.3. Kimyasal özellikler

#### 3.3.1. Asitte çözölenebilir sülfat

Agreganın içerdiği asitte çözölenebilir sülfat değeri Çizelge 14'de verilmiştir. Asitte çözölenebilir sülfat değeri TS 706 EN 12620'ye göre %0,8'den düşük çıktığı için standartlara uygundur.

Çizelge 14. Agregalarda asitte çözölenebilir sülfat.

		TS 706 EN 12620	
Açıklama	Sonuç	Asitte çözölenebilir sülfat muhtevası (Kütlece %)	Kategori AS

Asitte	≤0,2	AS <sub>0,2</sub>
çözünebilen	≤0,8	AS <sub>0,8</sub>
sülfat	>0,8	AS <sub>beyan</sub>
	Serbest	AS <sub>NR</sub>

### 3.3.2. Toplam kükürt

Toplam kükürt TS EN 1744-1 madde 11'e uygun olarak tayin edilmiş olup, %0,03 bulunmuştur. Bu değer, TS 706 EN 12620'da verilen %2'lik sınır değerinin çok altında olup, standartla uyum içindedir.

### 3.3.3. Humus muhtevası

TS EN 1744-1 Madde 15.1'e göre uygun olarak hazırlanan deney numunesine gerçekleştirilen testlerde çözelti renginin standart renkten daha açık olması, kireçtaşlarının organik madde içermediğini göstermektedir.

### 3.3.4. Agregaların kimyasal analizi

ICP yöntemine göre (Akredite ACME Analitik laboratuvarı, Kanada) gerçekleştirilen kimyasal analiz sonuçları Çizelge 15'de verilmiş olup, agreganın CaO içeriği %55,16 ve ateş zayıyatı değeri ise %43,40'dır. CaO miktarı %55 ve üzerinde olan kayalar, saf kireçtaşı olarak değerlendirilmektedir. Hazır betonda agrega olarak kullanılacak kayaların MgO oranının ise, %3'ün altında olması istenmektedir.

Çizelge 15. Kırmataş agregalarının kimyasal içerikleri.

Bileşim	M (%)	Element	M (%)
SiO <sub>2</sub>	0,68	Ba	0,013
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,25	Ni	< 0,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12	Sr	0,257
MgO	0,31	Zr	0,085
CaO	55,16	Y	< 0,003
Na <sub>2</sub> O	< 0,01	Nb	< 0,005
K <sub>2</sub> O	0,01	Sc	< 0,001
TiO <sub>2</sub>	0,01	B	<0,003
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	< 0,01		
MnO	< 0,01		
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,002		
A.Z	43,40	<b>Toplam</b>	<b>100,01</b>

Agregalarda az da olsa MgO bulunması dolomitin, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bulunması ise pirit, hematit,

ve/veya manyetit vs. gibi demir minerallerinin varlığına işaret etmektedir. SiO<sub>2</sub> varlığı ise kil mineralleri ve kuvarstan kaynaklanmaktadır. Agreganın içerdiği bor oranı oldukça düşük olup, %0,003'den düşüktür.

### 3.4. Mineralojik-Petrografik analiz

Petrografik inceleme sonuçlarına göre;

- Ana kaya ve kırmataş agregası dış görünüşü itibari ile koyu gri renktedir. Kayaç kalsit minerallerinden oluşmakta olup, mikroskopta kolayca gözlenmektedir.
- Polarizan mikroskopta yapılan incelemelere ve XRD sonuçlarına (Şekil 4) göre; kayacın esas olarak %99 oranında kalsitten oluştuğu, çatlak, gözenek ve makro fosil içermediği, granoblastik dokuda olduğu ve polisentetik ikizlenmeler gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4). Tane boyutu min. 0,065 ve max. 1,978 mm olup, ortalama boyut (d<sub>50</sub>) 0,39 mm'dir.

## 4. Sonuçlar

22,4-11,2 ve 4-11,2 mm fraksiyonlarında iri, 0-4 mm fraksiyonunda ise ince olarak sınıflandırılan agregalar, sırasıyla GC80/20 ve GF85 kategorilerinde yer almaktadır. %0,31 ve %0,56 oranında ince malzemeye sahip iri agregalar f1,5 kategorisine, %5,58 oranında ince malzeme içeren ince agrega ise f10 kategorisine girmektedir. İri ve ince agregalar metilen mavisi değerleri, ilgili standartta belirtilen sınır değerinin altında bulunmaktadır.

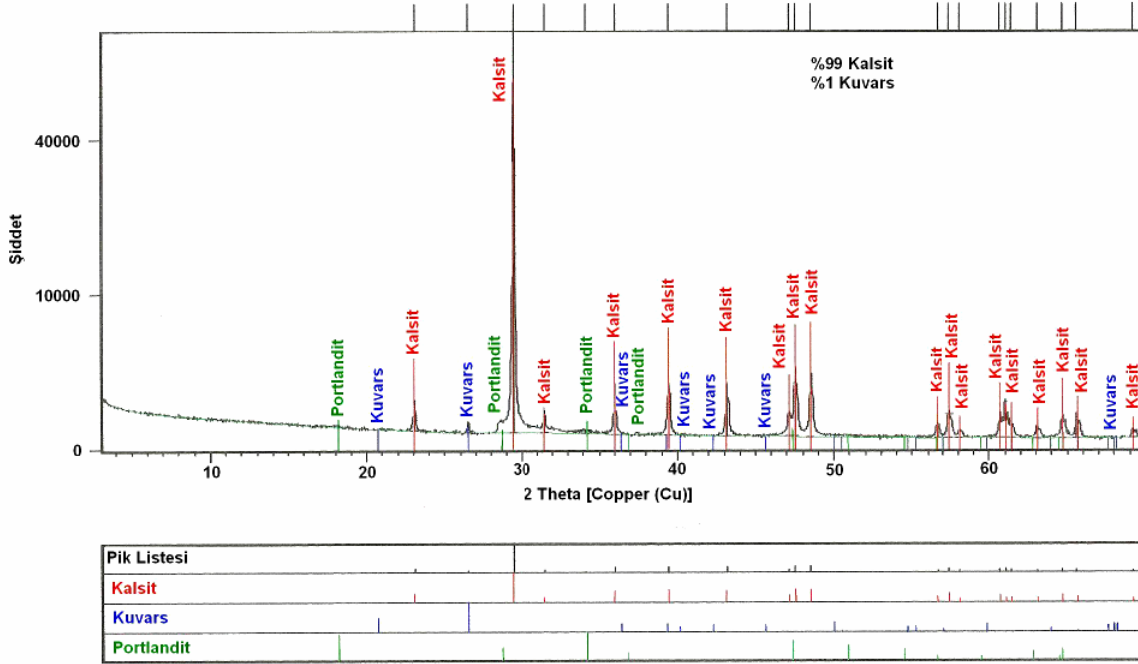
Şekil olarak kusurlu tane içermedikleri belirlenen iri agreganın (4–11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) şekil indeksi değerleri sırasıyla %14,7 ve %13,4 olup, TSE standardında SI15 kategorisine dahildir. Agregaların Los Angeles katsayılarının, TS normunun öngördüğü üst sınır değerinin (%50) altında olduğu tespit edilmiştir.

İri agregaların (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) özgül ağırlıkları, sırasıyla 2,66 Mg/m<sup>3</sup> ve 2,68 Mg/m<sup>3</sup> olup, ince agreganın (0-4 mm) ise 2,70 Mg/m<sup>3</sup>'dür.

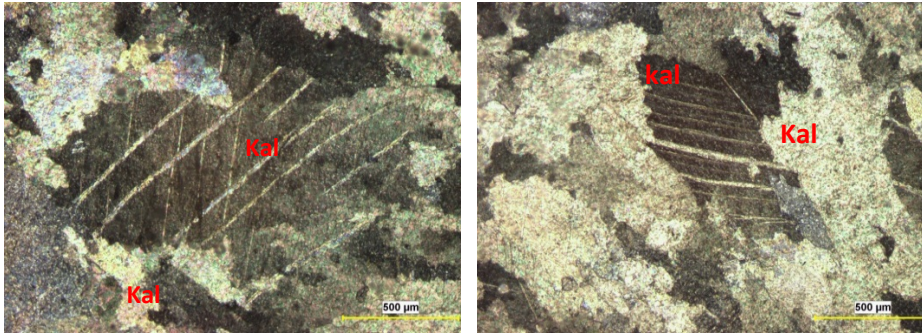
Su emme kapasitesi, iri agrega (4-11,2 mm ve

11,2-22,4 mm) için sırası ile %0,28 ve %0,13, ince agrega (0-4 mm) için ise %0,93'dür.

Donma-çözünmeye karşı direnç değeri %0,45 olarak belirlenen agrega numuneleri, TS standardına göre F1 kategorisine girmektedir.



Şekil 4. Tüvenan kireçtaşının XRD analizi.



Şekil 5. Kayacın polarizan mikroskop görüntüleri.

Agreganın asitte çözünebilen sülfat değeri %0,08 olup, TS standartlarına göre AS0,2 kategorisinde yer almaktadır.

TS EN 1744-1'e göre tespit edilen toplam kükürt muhtevası değeri %0,03 olup, standardın öngördüğü %2'lik limit değerinin çok altındadır. Yine bu standarda göre, agregalar organik madde ihtiva etmemektedir.

Agreganın CaO oranı %55,16 olup, yüksek saflıkta kireçtaştır. Bunu, petrografik analiz sonuçları da teyit etmektedir. Kalsit, kayacın %98'ini oluşturmaktadır. Buna göre, gerek ana kaya

gerekse kırılmış malzeme tamamen kireçtaşından ibarettir.

Tüm bu test ve/veya analiz sonuçları dikkate alındığında; Afyon İli, Emirdağ İlçesi Tabaklar Köyü İ.R. 76014 No'lu kireçtaşı ocağından alınan numunelerin TS 706 EN 12620 standardında "Beton Agregaları" için belirtilen özelliklere sahip olduğu ve bu ocakta üretilen kırmataşların beton agregası olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

#### Kaynaklar

Güvercin, Ö. ve Aybet, A., 2003, Taş kırma ve eleme tesislerinde gürültü sorunu, KSÜ Fen ve

- Mühendislik Dergisi, 2(6), 1-2.
- Kahraman, E., 2006, Harşit Çayı Üzerinde Bulunan Kum Çakıl Ocaklarının Değerlendirilmesi, Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Yataklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu, Trabzon, 5 s.
- TS 706 EN 12620, Türk Standartları, 2003, Beton Agregaları, TSE, Ankara.
- TS 707, Türk Standartları, 1980, Beton Agregalarında Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi, TSE, Ankara.
- TS EN 932-2, Türk Standartları, 1999, Agregaların Genel Özellikleri için Deneyler Bölüm 2: Laboratuvar Numunelerin Azaltılması Metodu, TSE, Ankara.
- TS EN 1097-5, Türk Standartları, 2001, Hava Dolaşımli Etüvde Kurutma ile Su Muhtevasının Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 1367-1, Türk Standartları, 1999, Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri için Deneyler-Bölüm 1: Donmaya ve Çözölmeye Karşı Direncin Tayini, TSE, Ankara.
- TS 3530 EN 933-1, Türk Standartları, 1999, Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini-Eleme Metodu, TSE, Ankara.
- TS 3814 EN 933-4, Türk Standartları, 2001, Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler-Tane Şeklinin Tayini-Şekil İndisi, TSE, Ankara.
- TS 10088 EN 932-3, Türk Standartları, 1997, Agregaların Genel Özellikleri için Deneyler Kısım 3: Basitleştirilmiş Petrografik Tanımlama için İşlem ve Terminaloji, TSE, Ankara.
- Yılmaz, A.O. ve Arıoğlu, E., 2006, Taşocağında Üretim Maliyetlerinin Matematiksel Modelinin Oluşturulması ve Örnek Uygulama, IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Ed: A.E. Yüce, C. Kuzu, A. Güney ve M. Erdođan, İstanbul, 265-276.