



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

Ilıca (Kütahya) bazaltının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması

Investigation of the usability of Ilıca (Kütahya) basalt as concrete aggregate

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa Yavuz ÇELİK, Ahmet ŞAHBAZ

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çelik M. Y., ve Şahbaz A., “Ilıca (Kütahya) bazaltının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 887-898, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369061

Ilıca (Kütahya) Bazaltının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Mustafa Yavuz ÇELİK^{1*}, Ahmet ŞAHBAZ²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğal Yapıtaşları Teknolojisi Programı, Ali Çetinkaya Kampüsü, 03100, Afyonkarahisar

²Maden Mühendisi, Serbest

(Geliş/Received : 02.11.2016 ; Kabul/Accepted : 10.11.2016)

ÖZ

Agregalar; beton için önemli bir bileşendir ve beton içerisinde hacimsel olarak yaklaşık %75 oranında kullanılırlar. Betonda kullanılan agregalar TS 706 EN 12620+A1 standardına uygun olmalıdır. Bazalt, günümüz inşaat ve ulaştırma sektöründe; karayolları, demiryolları, liman ve havalimanları inşaatlarında sağlam ve dayanıklı olmasından dolayı tercih edilmektedir. Bu çalışmada Ilıca (Kütahya) yöresindeki bazaltlardan üretilen kırma taşların, beton agregaları standardına uygunluğu araştırılmıştır. Alınan numuneler, boyut küçültme, numune azaltma ve boyuta göre sınıflandırma işlemine tabi tutulduktan sonra ince (0-4 mm) ve iri (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) agregalar olarak sınıflandırılmıştır. Bazaltların petrografik-mineralojik (polarizan mikroskop, SEM ve XRD), kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra, agregalar olarak kullanım özellikleri araştırılmıştır. Bazalt agregalara ait veriler TS 706 EN 12620+A1 "Beton Agregaları" standardında öngörülen verilere uygunluğu nedeniyle betonda agregalar olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bazalt, beton agregası, beton, Ilıca (Kütahya).

Investigation of the Usability of Ilıca (Kütahya) Basalt as Concrete Aggregate

ABSTRACT

Aggregates are important for concrete since %75 of the concrete consists of them. However, the used aggregates must comply with TS 706 EN 12620+A1 standard. Basalt, today's construction and transport sectors; highways, railways, ports and airports in the construction is preferred due to the robust and durable. Basalt, today's construction and transport sectors; highways, railways, ports and airports in the construction is preferred due to the robust and durable. In this research, the conformity of crushed stones to concrete aggregates standard is investigated. The stones were produced in the crushing-screening plant of Ilıca (Kütahya) quarry. Taken samples were subjected to size reduction, sample reduction and classification by size processes. After that, they were classified as thin (0-4 mm) and large (4-11,2 mm and 11,2-22,4 mm) aggregates. Moreover, in order to determine the characteristics of the samples petrographic, mineralogical (polarizing microscope, SEM-EDS and XRD), chemical, physical and mechanical tests were applied. According to these tests and analysis; it is determined that basalt aggregates conforms to "TS 706 EN 12620+A1 Concrete Aggregates" standard and crushed stones can be used as aggregate in ready-mixed concrete.

Keywords: Basalt, concrete aggregate, concrete, Ilıca (Kütahya).

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Heterojen bir içyapıya sahip olan betonun özellikleri, betonda kullanılan malzemeler tarafından belirlenir. Beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturan agregaların kalitesi betonun performansını ve durabilitesini büyük ölçüde etkilemektedir. İyi bir beton elde edilebilmesi için uygun agregalar kullanılması gerektiği bilinen bir gerçektir. Agreganın kimyasal ve mineralojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, sertliği, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı ve rengi gibi özellikleri elde edildiği kayacın özelliklerine bağlıdır. Tüm bu özelliklerin beton kalitesi üzerindeki etkisi büyüktür [1]. Bazalt, yeryüzünde en çok rastlanan, masif ve sütünsal

yapılı, gri-siyah renkli volkanik bir kayadır. Basınç ve aşınma dayanımları yüksek olan bazaltlar inşaat sektöründe, dış döşemelerde ve kaplamalarda yapı taşı, çevre düzenlemelerinde parke taşı olarak kullanılmaktadır. Bazalt, günümüz inşaat sektörünün yanı sıra ulaştırma sektöründe; karayolları, demiryolları, liman ve havalimanları inşaatlarında kalite ve uzun ömürlü kullanım açısından en fazla tercih edilen doğal taşlardan birisidir. Son yıllarda yüksek dayanımlı beton yapı elemanları üretiminde kullanılmaktadır. Düzbasan vd. [2] 792 adet I 195 tipindeki ön germeli kiriş üretiminde kullanılan C 40/50 sınıfındaki betonda, kalker agregası yerine bazalt agregası kullanılmasıyla 28 günlük basınç dayanımında %14,7 artış olduğunu bildirmişlerdir.

Yol ve yapı sektöründe aranan ve önemli bir kırma taş (agrega) malzemesi olan bazaltlar, oldukça değerli

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mycelik@aku.edu.tr

3. BULGULAR ve TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSIONS)

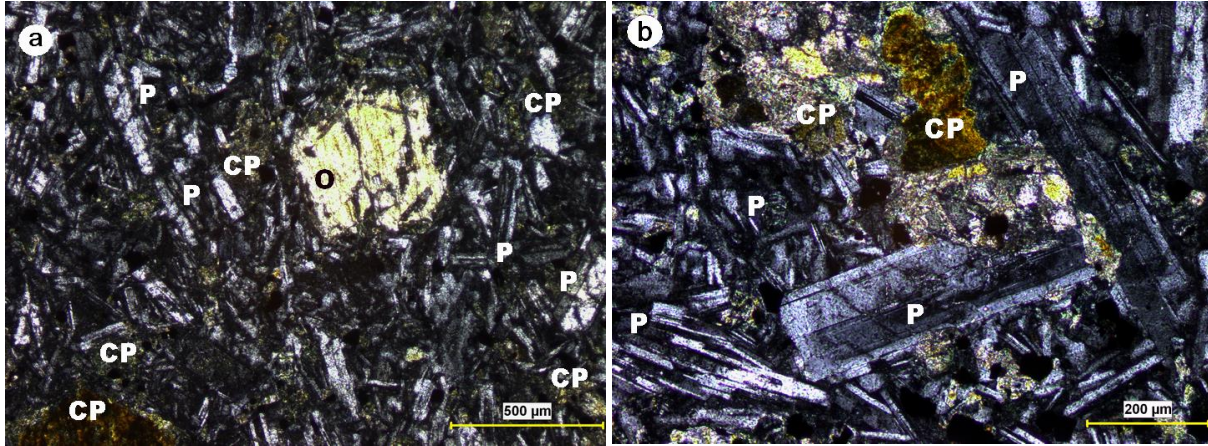
3.1. Mineralojik ve Petrografik Özellikleri (Mineralogical and Petrographic Analysis)

Bazaltların mineralojik bileşimini belirlemek amacıyla ince kesit incelemesi yapılmıştır. Polarizlenmiş mikroskop incelemelerinde, çoğunlukla plajiyoklaz (labrodorit), piroksen, olivin, kuvars, mika ve opak mineralleri tespit edilmiştir (Şekil 2). İnce kesitlerde hâkim mineral olarak

minimum tane boyutu 34,8 µm ve ortalama tane boyutu ise 25,2 µm olarak bulunmuştur (Şekil 3).

3.1.1. XRD analizi (XRD analysis)

Yapılan XRD analizi sonucunda numune içerisinde labrador, piroksen (ojit), muskovit, montmorillonit, az oranda da sanidin ve kuvars mineralleri tespit edilmiştir (Şekil 4). İnce kesitlerde de görüldüğü gibi hâkim mineral, plajiyoklaz grubu minerallerden labrodorit mineralidir.



Şekil 2. Bazalt numunesinde ince kesit resimleri (çift nikol). Plajiyoklaz (labrodorit) (P), klinopiroksen (CP), olivin (O) minerallerinin görünümü. (Microscopic views of basalt samples (cross nicol), plagioclase (labrodorite) (P), clinopyroxene (CP), olivine (O))

ince ve uzun prizmatik kristaller halinde plajiyoklaz mineralleri görülmektedir. Bunların arasında bazıları küçük bazıları iri boyutlu olivinler ve bol miktarda opak mineraller gözlenmektedir. Olivinler altı veya sekiz köşeli çatlaklı yapıda görülmektedir. Piroksenler, kısa-uzun prizmatik sekiz köşeli kristaller halinde klinopiroksen olarak izlenmektedir. Numune, mikroskop incelemelerine göre, mikro fenokristallerin düzensiz yönlendiği pilotaksitik dokuludur. Petrografik çalışmalar sonucunda örnek bazalt olarak tanımlanmıştır.

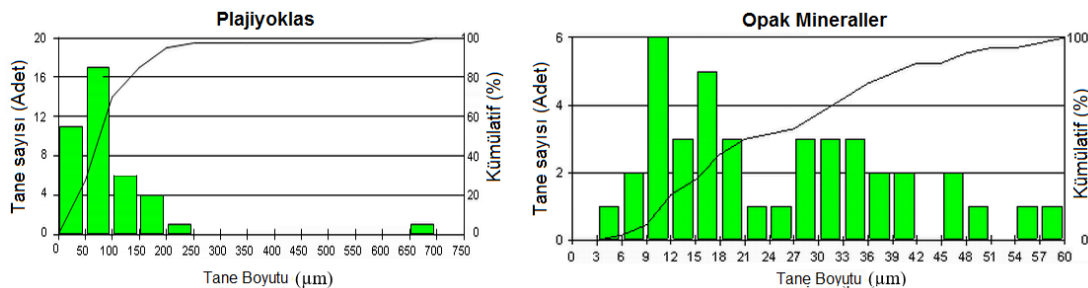
İnce kesitlerde yapılan tane boyut analizinde 40 adet plajiyoklaz tanesine ölçüm yapılmış, maksimum tane boyutu 696,8 µm minimum tane boyutu 29,5 µm ve ortalama tane boyutu ise 101,8 µm olarak bulunmuştur. Küçük tanelere yapılan tane boyut analizinde 40 adet taneye ölçüm yapılmış, maksimum tane boyutu 57,2 µm

3.1.2. SEM incelemesi (SEM analysis)

Bazalt numunesinin SEM analizinde feldspat ve illit mineralleri görülmüştür (Şekil 5). SEM analizinde feldspat grubu plajiyoklaz minerallerinin üzerinde illit mineralleri geliştiği gözlenmektedir.

3.2. Kimyasal Analiz (Chemical Analysis)

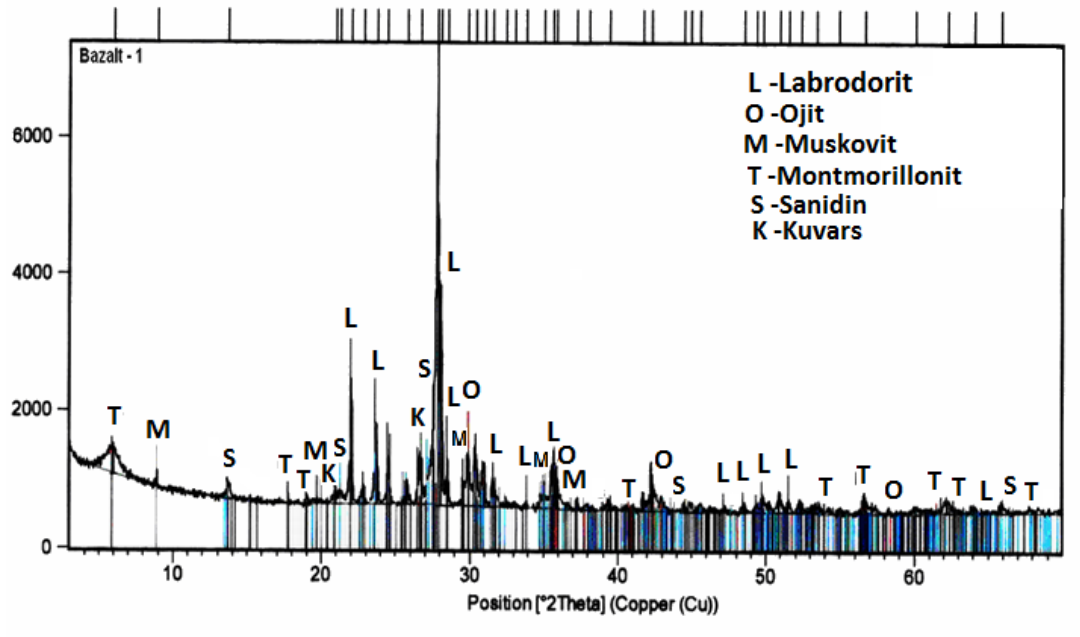
Örnekler üzerinde, XRF yöntemi ile kimyasal analizler gerçekleştirilmiş ve bunlara ait ana element oksit içerikleri Çizelge 2’de verilmiştir. Bazaltlar %52,8 SiO₂ içermektedir. Fe₂O₃ içeriği opak mineraller ve ojit ile ilişkilidir. Rojay et al. (2001) [28] tarafından benzer kayalarda geniş A.Z. (ateş zayıyatı) aralığı (%14,1-16,8), yüksek CaO (ort %22,8) ve düşük SiO₂ oranları bazaltların altere olduğuna delil olarak gösterilmektedir. İncelenen İlica bazaltının A.Z. %3,42, CaO %9 ve SiO₂ %52,8 olarak tespit edilmiş olup bu verilere göre



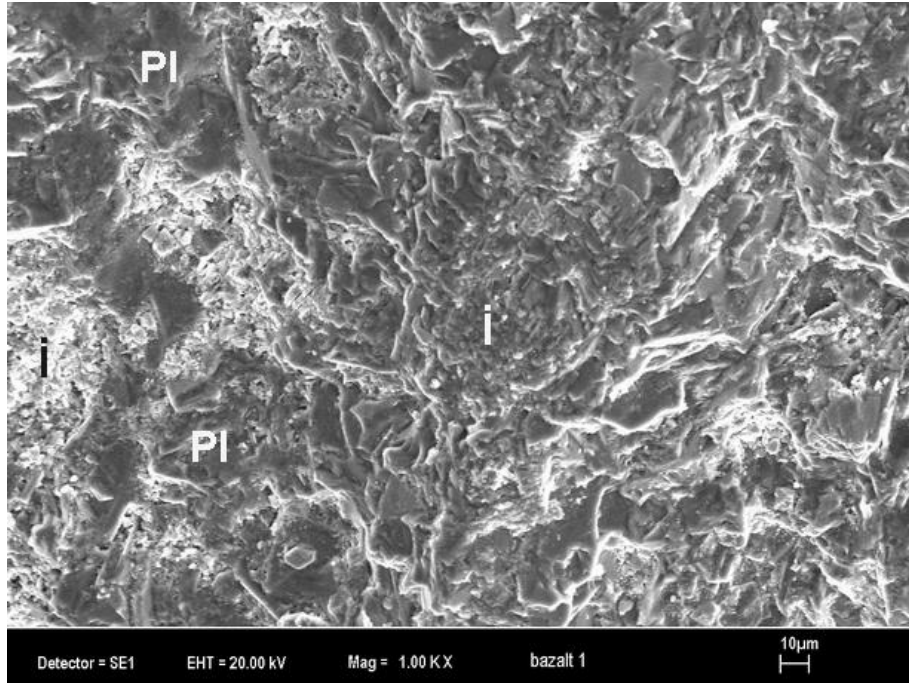
Şekil 3. Bazalt numunesinde plajiyoklaz ve opak minerallerin tane boyut dağılımı. (The particle size distribution of plagioclase and opaque minerals in basalt samples)

herhangi bir ayrışma durumu da söz konusu değildir. Kimyasal analiz verilerine göre; bazaltın bileşimini tespit etmek amacıyla Le Bas, vd. (1992) [29] tarafından

önerilen toplam alkali ve silis diyagramı kullanılmıştır. Buna göre Ilıca bazaltının “bazaltik andezit” bileşimli oldukları belirlenmiştir (Şekil 6).



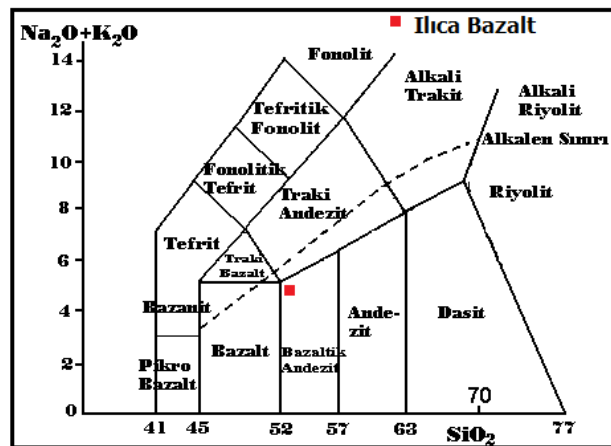
Şekil 4. Bazalt numunesinde XRD analizi. (XRD analyses of basalt sample)



Şekil 5. Bazalt numunesine ait SEM mikro fotosu (PI: feldispat (plajiyoklaz), İ: illit). (Micro photo of basalt sample, PI: feldspar (plagioclase), İ: illite)

Çizelge 2. Bazalt numunesine ait kimyasal analiz sonuçları. (Chemical composition of the basalt sample)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	A.Z.
52,80	15,60	0,90	8,03	9,00	4,20	2,78	2,46	0,142	3,42



Şekil 6.İlica bazaltının toplam alkali içeriğine karşı silis diyagramında sınıflandırılması [29]. Kesikli çizgi: Alkali-subalkali ayrımı Irvine ve Baragar (1971)'e [30] göredir. (Total alkali vs. silica classification diagram for the basalt. Dashed line: alkaline-subalkaline division according to Irvine and Baragar (1971) [30]).

3.3. Agregat Test ve Deneyleri (Aggregate Testing and Experiments)

3.3.1. Tane büyüklüğü dağılımının tayini- Eleme yöntemi (Determination of particle size distribution-Sieving method)

Agrega içindeki değişik boyuttaki tanelerin oranı, agreganın kullanım amacına ve yerine göre önem taşımaktadır. Yapılarda kullanılacak agregalar, hacim içerisinde, birbirlerinin oluşturdukları boşluklarını

elde etmek mümkün olabilecektir. Ayrıca tane boyutları küçüldükçe toplam yüzey alanı artar ve bunun sonucu su ihtiyacı fazla olur [31].

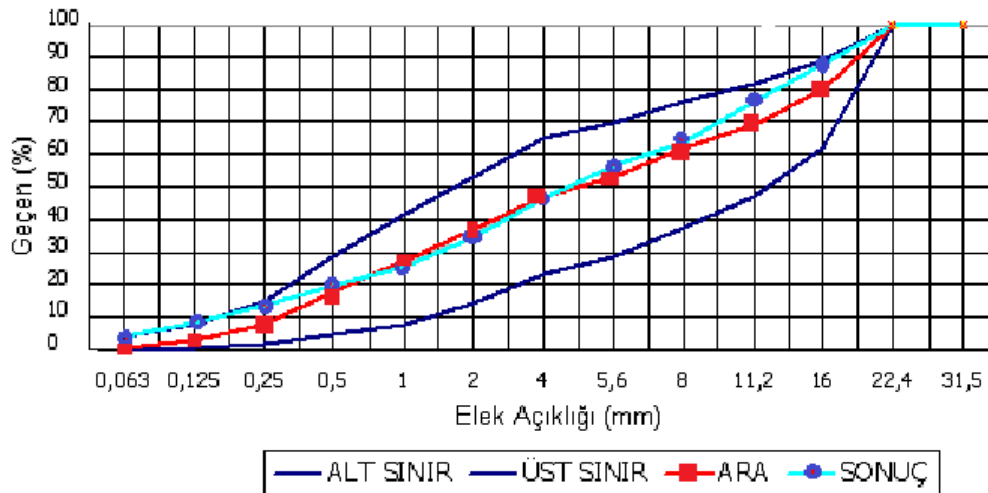
Beton üretiminde kullanılacak karışım agregasının granülometrisi “ideal granülometri eğrileri” ile uyumlu veya “ideal bölge” içinde kalmalıdır. Kompartitenin yüksek olmasının en önemli şartlarından biri ideal granülometri eğrisine sahip agregat kullanılmasıdır. Bu nedenle agregalara TS EN 933-1 [18] standardına uygun

Çizelge 3. Kıırma bazalt agregasının elek analizi sonuçları (The results of sieve analysis of the crushed basalt aggregates)

Elek Göz Açıklığı (mm)	0-4 mm			4-11,2 mm			11,2-22,4 mm		
	Küm. Kalan (gr)	% Kalan	% Geçen	Küm. Kalan (gr)	% Kalan	% Geçen	Küm. Kalan (gr)	% Kalan	% Geçen
22,4	-	-	-	-	-	-	0	0	100
16	-	-	-	-	-	-	896	48,40	51,65
11,2	-	-	-	62	4,45	95,55	755	89,10	10,90
8	-	-	-	596	47,96	52,04	202	100	0
5,6	-	-	-	451	80,95	19,05	-	-	-
4	89	10,70	89,32	261	100	0	-	-	-
2	189	33,40	66,63	-	-	-	-	-	-
1	139	50,10	49,94	-	-	-	-	-	-
0,5	101	62,20	37,82	-	-	-	-	-	-
0,25	95	73,60	26,41	-	-	-	-	-	-
0,125	84	83,70	16,33	-	-	-	-	-	-
0,063	75	92,70	7,30	-	-	-	-	-	-
Tava	61	100	0	-	-	-	-	-	-
Toplam	833	-	-	1370	-	-	2238	-	-

dolduracak boyutlarda olmalıdırlar. Ancak uygun boyut dağılımı (agrega granülometrisi) ile işlenebilirliği yüksek, segregasyona uğramamış ve boşluksuz bir beton

olarak elek analizleri yapılmaktadır. Yapılan elek analizleri sonucunda elde edilen ince (0-4 mm) ve iri (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) agregat sonuçları Çizelge 3’de



Şekil 5. Kıırma bazalt agregasına ait granülometri eğrisi (Grading curve of the crushed stone basalt aggregates)

verilmiştir. Elek analizi sonucunda betonda kullanılacak agreganın granülometri eğrileri çizilmiştir (Şekil 5). Bazalt agregalarına yapılan elek analizi sonucunda çıkan granülometri eğrileri, TS 706 EN 12620+A1 [15] standardı granülometri eğrisi sınırları içerisinde kalmaktadır.

İncelik modülü, agreganın gradasyonunun bileşimi hakkında bilgi veren bir sayıdır. İncelik modülü delik açıklığı birbirinin iki misli artan elekler üzerinde kalan malzemenin yığışlımı yüzdelere toplamının yüze bölünmesiyle elde edilen rakamdır. Agregada daneleri küçüldükçe incelik modülü azalır, taneler irileştikçe incelik modülü büyür [32]. Elek analizi deneyi sonucu her elek üzerinde kalan agregaların yığışlımı ağırlık yüzdeleri toplanarak yüze (100) bölünmesi ile incelik modülü (İM) bulunur. Beton karışım hesaplarında, ince agreganın (0-4 mm) incelik modülü kullanılmaktadır [33]. İnce bazalt agregasının ortalama incelik modülü 2,3 bulunmuştur. İncelik modülü sıfır ile granülometri deneyinde kullanılan elek sayısı arasındaki değerler olabilir. Yani yukarıdaki örnekte 0 ile 8 arasında olabilir. İncelik modülü şu şekilde yorumlanır: Değer büyükse

elekler üzerinde kalan malzeme çoktur. Yani malzeme iridir. Değer küçükse malzemenin çoğu eleklerden geçmiştir. Yani malzeme incedir.

TS 706 EN 12620+A1 [19]'e göre; ince agregada bulunan toplam çok ince malzeme muhtevası, %3'ten (veya agreganın kullanıldığı yerde geçerli olan mevzuata göre belirtilmiş olan başka bir değerden) daha az olması durumunda zararsız olarak kabul edilmektedir. Çok ince malzeme muhtevası yüksek oranlara ulaştığı takdirde beton mukavemetinin azalması, su ihtiyacının artması, işlenebilmesi ve betonun büzülmesi gibi bazı olumsuz etkilere yol açmaktadır.

Bazalt numunesinde çok ince malzeme muhtevası değerleri, iri agregalarda (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) ortalama olarak sırasıyla %0,5 ve %0,65 bulunmuştur. İnce agregada (0-4 mm) numunenin ise ortalama olarak çok ince malzeme muhtevası %3'dür (Çizelge 4). Çok ince malzeme muhtevası, ilgili kategoriye uygun olarak, iri agregalar için $f_{1,5}$, ince malzemeler için de f_3 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar ilgili standarda göre uygundur.

Çizelge 4. Kıırma bazalt agregasına ait çok ince malzeme muhtevası değerleri (Very fine material content values of crushed basalt aggregates)

Agrega Boyutu (mm)	(M ₁) (g)	(M ₂) (g)	(M _y) (%)	(M _o) (%)
0-4	1000	969	3,10	3,00
	1003	972	3,10	
	998	970	2,80	
4-11,2	2000	1986	0,70	0,65
	2000	1988	0,60	
	2001	1988	0,65	
11,2-22,4	2000	1992	0,40	0,50
	2002	1990	0,60	
	2000	1990	0,50	

(M₁: Deney numunesinin ilk kuru ağırlığı, M₂: Yıkanan deney numunesinin kuru ağırlığı, M_y: 0,063 mm göz açıklıklı elekten geçen kütlece yüzde, M_o: 0,063 mm göz açıklıklı elekten geçen ortalama değer)

3.3.2. Sıkışık ve gevşek yığın yoğunluğu tayini
(Determination of cramped and loose bulk density)

Agregaların sıkışık ve gevşek yığın yoğunluğu tayini deneyi, TS EN 1097-3 [24] standardına göre yapılmıştır. Doğal agregaların sıkışık yığın yoğunluğu genel olarak 1.500 ile 1.900 kg/dm³ arasındadır. Testler, en az üç numune üzerinde tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5’de verilmiştir. Çizelge 5’de görüldüğü üzere bazalt agregalarının beton için gerekli yığın yoğunluğu, TS EN 1097-3 [24] standardında öngörülen sınır değerleri içerisinde yer almaktadır. İri agregalar (4-11,2 ve 11,2-22,4 mm) ortalama 1.504 ve 1.543 kg/dm³ değerlerine sahiptir. 0-4 mm boyutlu ince agregada ise 1.631 kg/dm³ değeri ile üst sınıra yaklaşmıştır.

3.3.3. Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini
(Determination of particle density and water absorption)

TS EN 1097-6’ya [23] göre uygun olarak hazırlanan numunelerle gerçekleştirilen testlerde yoğunluk ve su emme değerleri; iri ve ince agregalar için Çizelge 6’da verilmiştir. Yoğunluklar, iri agregalar (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) için 2,72 ve 2,75 kg/dm³, ince agrega (0-4 mm) için ise 2,71 kg/dm³ dür. TS EN 206-1 standardının öngördüğü limit yoğunluk değerleri 2,50–2,70 kg/dm³ arasında olduğundan, araştırmaya konu iri ve ince agregalar, önerilen sınır değerleri içinde yer almaktadır. Agregaların yüksek yoğunluk değerlerine sahip olması, boşluksuz ve sağlam olarak değerlendirildiğinden dolayı incelenen agregaların

Çizelge 5. Kırma bazalt agregalarına ait sıkışık ve gevşek birim ağırlık değerleri (Cramped and loose bulk density of crushed basalt aggregates)

Agrega sınıfı	Agrega Boyutu (mm)	Gevşek yığın yoğunluğu (kg/dm ³)	Referans Değer [34] (kg/dm ³)	Sıkışık yığın yoğunluğu (kg/dm ³)	Referans Değer [34] (kg/dm ³)
İnce agrega	0-4	1.547	≥1,35	1.631	1,5-1,9
İri agrega	4-11,2	1.447	≥1,25	1.543	1,5-1,9
İri agrega	11,2-22,4	1.392	≥1,25	1.504	1,5-1,9

Gevşek yığın yoğunluğu, agreganın tane şekli ve yoğunluğuyla yakından ilgilidir. Agregada bulunan kusurlu tane oranı arttıkça boşluk miktarı artar ve gevşek yığın yoğunluğu da düşer. Agreganın boşluklu olması, betonun dış etkenlere karşı dayanımını olumsuz olarak etkileyeceğinden, bunu önlemek için tane granülometri eğrisinden yararlanılarak betonun boşluğu azaltılabilir. Çizelge 5’de görüldüğü gibi, gevşek yığın yoğunluğu değerleri ortalamaları sırasıyla 11,2-22,4 mm boyutlu iri agrega için 1.392 kg/dm³, 4-11,2 mm boyutlu agrega için 1.457 kg/dm³ ve 0-4 mm boyutlu ince agrega için ise 1.547 kg/dm³ olarak bulunmuştur. Yığın yoğunluğu değerleri dikkate alındığında agregalar beton yapımında kullanılabilir özelliktedir.

kaliteli olduğu söylenebilir ve beton yapımında kullanılabilir.

Agregaların su emme değerleri, dona karşı mukavemeti ve dayanımı etkilemektedir. Agreganın tane yoğunluk ve su emme oranı, esas olarak beton karışım hesaplarında kullanılmaktadır. Bazalt agregaların su emme oranı 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm boyutlu iri agregalar için sırasıyla %2,51 ve %1,55, 0-4 mm boyutlu ince agregalar için %1,12’dir. Beton yapımında kullanılacak agregaların TS EN 1097-5 [25] standardına göre; %10 su emme oranını geçmemesi istenmektedir. Bu durumda bazalt agregaların standartlara uygun olduğu söylenebilir.

Çizelge 6. İri ve ince kırma bazalt agregaların ortalama yoğunluk ve su emme oranları. (The average particle density and water absorption of coarse and fine crushed basalt aggregates)

Agrega Boyutu (mm)	(M ₁) (gr)	(M ₂) (gr)	(M ₃) (gr)	(M ₄) (gr)	Kuru yoğunluk (kg/dm ³)	Doygun Kuru Yüzey yoğunluk (kg/dm ³)	Yoğunluk (kg/dm ³)	Su Emme (%)
0-4	491,00	3028,33	2723,00	479,00	2,58	2,65	2,75	2,51
4-11,2	1238,33	3497,33	2725,00	1219,33	2,61	2,65	2,72	1,55
11,2-22,4	993,67	3344,67	2725,00	982,67	2,62	2,65	2,71	1,12

(M₁: doygun kuru yüzey ağırlığı, M₂: ölçü kabı, su ve numune ağırlığı, M₃: ölçü kabı ve su ağırlığı)

3.3.4. Yassılık indeksi deneyi (Flatness index test)

Agrega tanelerinin şekli, taze betonun işlenebilirliği özelliğini doğrudan etkilemektedir. Agregaların yassılık indeksinin tayini agregalarda, tane büyüklüğü 4 mm ile 80 mm arasında olan agregalarda aranan bir özelliktir. Yassılık indeksi için üst limit %55'dir ve agregaların bu değeri aşması istenmez. Agregaların şekli belirlemek için yassılık indeksi deneyi TS EN 933-3'e [21] göre yapılmıştır. Buna göre bazalt agregaları %12,26 yassılık değerine sahiptir (Çizelge 7). Bu yassılık indeksi değeri ile TS 706 EN 12620+A1 [15] standardına göre FI₁₅ kategorisinde yer almaktadır. Çıkan sonucun, standartlarda öngörülen sınır değerinin altında olması nedeniyle bazalt agregaları beton yapımında kullanılabilir özelliktedir.

olmuştur (Çizelge 8). Deneylerde sırasıyla sonuçlar, %0,72, %0,73 ve %0,75 olarak bulunmuştur. Metilen mavisi sınır değeri (MB) (%1) olmasından dolayı bu durum, agreganın ince madde içermediğine işaret etmektedir. Ayrıca çok ince malzeme muhtevası değerinin de düşük olması metilen mavisi sonucunu desteklemektedir.

3.3.6. Parçalanma direncinin tayini (Determination of resistance of fragmentation)

Agreganın aşınmaya karşı dayanıklılığı TS EN 1097-2 [22] standardına göre yapılmıştır. İri agreganın aşınma miktarı, aşındırıcı bir yük kullanarak Los Angeles makinesi ile tayin edilmektedir. Beton agregalarında TS 706 EN 12620+A1 [15] standardına göre tamburun 500

Çizelge 7. Kırmaz bazalt agregalarının yassılık indeksi değeri (Flakiness index value of crushed basalt aggregates)

Numune No	Deneye Giren Toplam Malzeme Miktarı (gr)	Yassı Malzeme Miktarı (gr)	Yassılık Endeksi Değeri (%)	Ortalama Yassılık Endeksi FI (%)
1	1088	128	12,00	
2	1174	156	13,30	12,26
3	1046	120	11,50	

3.3.5. İnce tanelerin tayini-metilen mavisi deneyi (Assessment of fine particles-methylene blue test)

Metilen mavisi deneyi, TS EN 933-9 [20] standardına göre yapılmış olup bu deney malzeme içerisindeki kirlilik ve kil oranını göstermektedir. Sadece ince

devir dönmesi sonucunda oluşan aşınma oranı maksimum %50 olmalıdır. Los Angeles test sonuçları Çizelge 9'da verilmiştir. Yapılan üç adet aşınmaya karşı dayanıklılık deneyinin aşınma oranları ortalaması, 4-11,2 mm boyutlu agregalar için %14,8, 11,2-22,4 mm boyutlu

Çizelge 8. Kırmaz bazalt numunesine ait metilen mavisi değeri (Methylene blue value of crushed basalt samples)

Numune No	Deneye Giren Numune Miktarı (gr)	İlave Edilen Metilen Mavisi Çözeltisi (ml)	Metilen Mavisi Değeri (MB) (%)	Metilen Mavisi Sınır Değeri (MB) (%)
1	210	15	0,72	
2	206	15	0,73	1
3	200	15	0,75	

malzemeye uygulanan bu deneyde, üst limit %1,5'dir. Bu değer üstündeki malzeme killi kabul edilir ve beton üretiminde kullanılmaz. 0-2 mm boyutundaki agregalarda, beher kilogram başına tüketilen metilen mavisinin gram cinsinden ifadesi metilen mavisi değeridir. Bazalt numunesinde kil varlığını tespit için, üç ayrı örnekte de 15 ml metilen mavisi çözeltisi yeterli

agregalar için %12,8 olarak bulunmuştur. Buna göre; Los Angeles katsayısı, LA₁₅ kategorisine uymaktadır. Bu verilere göre bazalt agregaları, standartlarda öngörülen sınır değerlerin altında yer almakta olup beton üretiminde kullanılabilir özelliktedir.

Çizelge 9. Kırmaz bazalt agregalarının Los Angeles aşınma dayanım değerleri (Los Angeles abrasion durability value of crushed basalt aggregates)

Agrega Boyutu (mm)	Numune No	İlk Ağırlık (M ₁) (gr)	1.6 mm'lik Elekte Kalan (M ₂) (gr)	Aşınma Oranı (%)	Ortalama Aşınma Oranı (%)
4-11,2	1	5000	4289	14,30	
	2	5001	4211	15,80	14,80
	3	5004	4301	14,10	
11,2-22,4	1	5002	4393	12,20	
	2	5002	4328	13,50	12,80
	3	5000	4361	12,80	

3.3.7. Magnezyum sülfat deneyi (Magnesium sulfate test)

Bu test, agregaların donma ve çözölmeye karşı dayanımlarının belirlenmesinde çabuklaştırılmış bir deneydir. Magnesium sülfat çözeltisi ile TS EN 1367-2 [26] standardına göre yapılmıştır. Bazalt agregalarında 11,2-22,4 mm boyutlu iri numunenin donma ve çözölmeye karşı kütle kaybı değeri ortalama %3,23, daha ince olan 4-11,2 mm boyutlu numunenin kütle kaybı değeri ise %9,23 bulunmuştur. İnce boyutlu agregaların yüzey alanı, iri boyutlu agregalara göre daha fazla olduğu için çözölmeye karşı kütle kaybı değeri daha fazla olarak ölçölmüştür. Her iki boyutlu numune de TS 706 EN 12620+A1 [15] standardına göre MS₁₈ kategorisinde yer almaktadır.

tür tuzlar, betonun toplam klorür ve alkali muhtevasını artırır. Betonun ihtiva ettiği metalin korozyon riskini en aza indirmek amacıyla, betondaki toplam klorür miktarının sınırlandırılması gerekmektedir. Suda çözönebilir klorür miktarı deneyi TS EN 1744-1 [27] standardına uygun olarak yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda bazalt agregaları içerisinde klorür miktarları sınır değerin (%0,01) altında, eser miktarda (%0,0024) bulunmuştur.

3.3.10. Asitte çözönebilir sülfat tayini (Determination of acid-soluble sulfate)

Agregalarda bulunan sülfatlar, betonda ivmeye bağlı hasara sebep olabilirler. Belirli şartlar altında agregalarda mevcut olan diğer kükürt bileşikleri, sülfatları

Çizelge 10. Kıırma bazalt agregalarının kütle kaybı değeri (Mass loss value of basalt crushed aggregate)

Agrega Boyutu (mm)	İlk Ağırlık (gr)	Elekte Kalan (gr)	Kütle Kaybı (%)	Ortalama Kütle Kaybı (%)
4-11,2	412	379	8,00	9,23
	410	386	6,90	
	415	362	12,80	
11,2-22,4	400	388	3,00	3,23
	403	390	3,22	
	408	394	3,47	

3.3.8. Organik madde (humus) tayini deneyi

(Experimental determination of organic matter)

Bazalt agregalarında organik madde tayini deneyi, TS EN 1744-1 [27] standardı kullanılarak yapılmıştır. Agregada içinde çürümüş bitki kökleri, meyveleri veya yaprakları çeşitli asit ve türevlerini oluşturmaktadır. Agregada içindeki organik kökenli maddenin çok olması durumunda betonun katılaşması gecikir veya gerçekleşmeyebilir. Bu da betonun ilk günlerdeki dayanımını olumsuz yönde etkiler.

Bir cam şişeye, 80 mm yüksekliğe kadar %3'lük NaOH çözeltisi konulur. Takiben çözelti ve agregada yüksekliği 120 mm oluncaya kadar deney numunesi parçaları eklenir. Şişenin tapası kapatılır ve 1 dakika kuvvetlice çalkalanır ve beklemeye bırakılır. 24 saat sonra, benzer şişede bulunan standart renk çözeltisi ile oluşan çözeltinin rengi mukayese edilir. Humusun NaOH ile reaksiyona girmesiyle gelişen koyu renk esas alınır. Rengin yoğunluğu humus muhtevasına bağlıdır. Çözeltide hiç ya da çok hafif renklenme varsa, agregada kayda değeri miktarda humus olmadığı anlaşılır [35].

Bazalt numunesinin üzerinde oluşan eriyik, hafif sarı ve renksiz sayılabilecek bir değişim göstermiştir. Bu da renk skalasına göre 1-2 referans değerler arasında olduğunu göstermektedir. Bu sonuca göre incelenen bazalt agregası, organik madde bakımından beton yapımına uygundur denilebilir.

3.3.9. Suda çözönebilir klorür tayini (Determination of water soluble chloride)

Klorürler, agregada kaynağına bağlı olarak, agregalarda sodyum ve potasyum tuzları halinde bulunabilirler. Bu

oluşturmak üzere beton içinde indirgenebilirler. İncelenen bazalt agregasının asitte çözönebilir sülfat miktarı TS EN 1744-1 [27] standardında madde 12'ye göre tayin edilmiştir.

Bazalt agregalarında asitte çözölebilir sülfat muhtevası, kütlece yüzde %0,02 olarak tespit edilmiş olup, AS_{0,2} kategorisinde yer almaktadır. Asitte çözölebilir sülfat miktarı kütlece %0,8 değerini aşmamalıdır. TS 706 EN 12620+A1 [15] standardına göre yapılan değerlendirmede agregalar asitte çözölebilir sülfat miktarı bakımından kullanıma uygundur.

3.3.11. Toplam kükürt miktarının tayini

(Determination of total sulfur content)

Bazalt agregalarında toplam kükürt miktarı TS EN 1744-1 [27] madde 11'e uygun olarak tayin edilmiş olup, %0,022 bulunmuştur. Bu değeri, TS 706 EN 12620+A1'de [15] verilen %2'lik sınır değerin altında olup, söz konusu bazalt agregaları kükürt miktarı bakımından kullanıma uygundur.

3.3.12. Alkali silika reaktivitesi (ASR) (Alkali silica reactivity)

Alkali silis reaktivitesi (ASR), beton agregalarında bulunan reaktif silis ile betonun boşluk çözeltisinde bulunan hidroksil ve alkali iyonlarının reaksiyonudur. Bu reaksiyon, betonda nem etkisiyle genleşen alkali-silis jelinin oluşmasına neden olur. Betonda genleşme sonucu meydana gelen çekme gerilmeleri çatlamaya yol açar [36]. Betondaki alkali miktarı arttıkça ASR potansiyeli de artar. ASR'nin artması sülfat etkileri, tabii don, donma ve çözölmelerin etkilerinin hızlanarak artmasına neden olur [37]. Katayama vd. (1989)'a [38] göre, bazaltlardaki

SiO₂ içeriği %50'den fazla olduğunda, alkali-silisi reaktivitesi açısından andezit gibi davranmakta ve potansiyel reaktif agrega özelliği gösterebilmektedir. Kimyasal analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi bazalt agregası SiO₂ oranı %52,80'dir. Bu nedenle bazalt agregaları için alkali reaktivitesi deneyleri yapılması gerekmektedir. Alkali-agrega reaksiyonunun belirlenmesi amacıyla birçok standart geliştirilmiştir. Mevcut yöntemler arasında en çok kullanılanı harç çubuklarının denendiği yöntemdir. ASR deneyi ASTM C 1260 [39] standardına göre yapılmış ve standartta verilen sınırlamalara göre değerlendirilmiştir.

•Güvenli bölge: Genleşme değeri %0,1'in altındaysa ASR problemi yoktur.

•Şüpheli bölge: Genleşme değeri %0,1 ile %0,2 arasındaysa ASR riski muhtemeldir.

•Tehlikeli bölge: Genleşme değeri %0,2 değerinin üzerinde ise ASR açısından tehlikelidir.

Bu deney için oluşturulan beton karışım oranları; 0-4, 4-11,2 ve 11,2-22,4 mm boyutlarındaki agregalar sırasıyla %48, %13, %20, çimento %11,7 ve su %7,3 oranındadır. Deneyde, bazalt agregalarının çimento hamuruyla oluşturabileceği reaksiyon sonucu, genleşmesine bağlı olarak oluşan boy uzamaları belirlenmiştir. Deneyler, üç numune üzerinde tekrarlanmıştır. Bazalt agregalarında, harç çubuğu deney yöntemine göre 21 günlük genleşme oranı ortalaması %0,093 olarak bulunmuştur. Genleşme oranı değeri %0,1 değerinin altında olduğu için alkali silika değeri bakımından güvenli bölgede bulunmaktadır.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER (RESULTS and SUGGESTIONS)

Türkiye'de oldukça geniş alanlarda bulunan bazaltlar gerek agrega gerekse de yapı ve kaplama malzemesi olarak sınırlı düzeyde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Ilica (Kütahya) yöresi bazaltlarının alternatif beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ilica (Kütahya) yöresinde bulunan ve halen taş ocağı olarak üretim yapılan Ilica bazaltının, malzeme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla petrografik-mineralojik (polarizan mikroskop, XRD ve SEM) ve kimyasal analizler yapılmıştır. Ocaktan alınan bazalt numuneleri, ince (0-4 mm) ve iri (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) boyutlarına sınıflandırılmış ve bunlara TS 706 EN 12620+A1 standardına uygun test ve deneyler yapılarak agrega olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu analiz, test ve incelemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Bazalt numunesinin petrografik ve mineralojik inceleme sonuçlarına göre, labrador, piroksen (ojit), muskovit, montmorillonit, az oranda da sanidin ve kuvars minerallerinden meydana geldiği belirlenmiş olup kayaca kimyasal analiz verileriyle bazaltik andezit tanımlaması yapılmıştır.

Elek analizleri TS 3530 EN 933-1 standardına uygun olarak yapılmış ve granülometri eğrileri çizilmiştir. Bazalt agregalarına yapılan elek analizi sonucunda çıkan

granülometri eğrileri, TS EN 706 standardı granülometri eğrisi sınırları içerisinde kalmaktadır. Agregalarda bulunan ince maddelerin, betonda prize etki etmesi, mukavemeti düşürmesi, çimento hamurunda zararlı kimyasal reaksiyonlara yol açabilmesi ve donatının korozyona karşı korunmasını azaltıcı etkileri bulunmaktadır. İnce maddeler, ayrıca yoğun suyunun miktarını arttırmaktadırlar. Bu olumsuz etkileri yanında, agreganın içinde belli bir miktara kadar bulunabilen ince maddeler, betonun işlenmesinde ve yerleştirilmesinde olumlu rol oynamaktadır. Bazalt agregasının ortalama incelik modülü 2,3 olup uygun özelliktedir.

Genel olarak agreganın birim ağırlığının 1.300-1.900 kg/dm³ arasında olması istenmektedir. Ayrıca sıkışık yığın yoğunluğu ne kadar yüksek ise, basınç dayanımı ve dış etkenlere dayanım da o kadar yüksek olmaktadır. Bazalt agregaları genel olarak beton için gerekli yığın yoğunluğu sınır değerleri içerisinde yer almaktadır. İri agregalar (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) ortalama 1.504 ve 1.543 kg/dm³ değerlerine sahiptir, 0-4 mm boyutlu ince agrega ise 1.631 kg/dm³ değerine sahiptir. Sıkışık yığın yoğunluğu sonuçları, agregaların gevşek ve sıkışık yığın yoğunluğu yönünden beton yapımında kullanılabilir olduğu göstermektedir.

Beton karışım hesapları için agregaların özgül ağırlığının bilinmesi gereklidir. Agregaların özgül ağırlıklarının fazla olması ile doku daha kompakt olacağı için kayacın kimyasal ve mekanik etkilere dayanıklılığı da fazla olacaktır. Özgül ağırlıklar, iri agregalar (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) için 2,72 ve 2,75 kg/dm³, ince agrega (0-4 mm) için ise 2,71 kg/dm³'dür. TS EN 206-1 standardının öngördüğü limit özgül ağırlık değerleri 2,50-2,70 kg/dm³ arasında olduğundan, iri ve ince agregalar önerilen sınır değerleri içinde yer almaktadır. Su emme miktarı, kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerinden başlıca dayanım, büzülme, donma ve durabiliteyi etkilemektedir. Su emme oranı 0-4 mm boyut aralığında yer alan ince agregalar için %1,12, 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm boyutunda yer alan iri agregalar için sırasıyla %1,55 ve %2,51 olarak tespit edilmiştir. Bazalt agregalarının su emme değerleri standartlara uygun özelliktedir.

Betonda kullanılan agreganın şeklinin küresel veya küreye yakın olması istenmektedir. Şekilce uzun taneler, betonda işlenmeyi zorlaştırır, ayrıca yüksek kesme direnci vermektedir. Betonda yoğun olarak bulunan küresel taneler, daha iyi biçimde yerleşerek, boşlukları minimuma indirmektedir. Yassılık indeksi, tane büyüklüğü 4 mm ile 80 mm olan agregalar için önemlidir. Bazalt agregalarının yassılık değeri %12,26 olarak bulunmuştur. Bu yassılık indeksi değeri ile TS 706 EN 12620+A1 standardına göre FI₁₅ kategorisinde yer almaktadır.

Agregaların aşınma direnci, agrega tanelerinin kırılabilirliği ve sertliği, süreksizlik düzlemleri, minerallerin kenetlenmesi ile taneler arası bağın mukavemetini yansıtmaktadır. Los Angeles (Aşınma) deneyinde, aşınma oranı 4-11,2 mm boyutu için %14,8,

11,2-22,4 mm boyutu için %12,8 olarak bulunmuştur. Buna göre; Los Angeles katsayısı, LA₁₅ kategorisine uymaktadır. Bu değerlere göre bazalt agregaları, aşınmaya karşı oldukça dayanıklıdır.

Atmosfer etkilerine maruz kalan betonların en önemli özelliklerinden birisi de donma ve çözünme etkilerine karşı gösterdiği dirençtir. Bu özellik agregaların porozite, su emme ve taneler arası boşluk gibi özelliklerine bağlıdır. Bazalt agregalarında 11,2-22,4 mm boyutlu iri numunenin donma-çözünme dayanıklılık değeri ortalama %3,23, daha ince olan 4-11,2 mm boyutlu numunenin değeri ise %9,23 bulunmuştur. Donma ve çözülme karşı direnç her iki boyutlu numune MS₁₈ kategorisinde yer almaktadır. Bu verilere göre incelenen bazalt agregaları, donma ve çözünme etkilerine karşı oldukça dayanıklıdır.

Alkali-silis reaksiyonuna neden olan agregalar arasında; bazı asit veya nötr karakterli volkanik kayalar yer almaktadır. Ayrıca, volkan camı, reaksiyon oluşumunda oldukça etkilidir. Nitekim bu konuda son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda, bazaltların agrega olarak değerlendirilmesinin önündeki en önemli engelin ASR olduğu belirtilmiştir [40]. Kimyasal analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi bazalt agregası SiO₂ oranı %52,80'dir. Bu nedenle bazalt agregaları için alkali reaktivitesi deneyleri yapılması gerekmektedir. Bazalt agregalarında, harç çubuğu deney yöntemine göre 21 günlük genleşme oranı ortalaması %0,093 olarak bulunmuştur. Genleşme oranı değeri %0,1 değerinin altında olduğu için alkali silika değeri bakımından güvenli bölgede bulunmaktadır. Bazalt agregaları ile yapılan alkali-silis reaksiyon deneylerinde, düşük reaktivite gösteren agregalar olduğu belirlenmiştir. Bu tür bazaltların beton agregası olarak kullanılması durumunda; düşük alkaliniteye sahip çimentoların (Na₂O+0,658 K₂O değeri %0,60'dan düşük) kullanılması veya beton içerisine puzzolanik maddelerin katılması uygun olacaktır. Araştırılan bazaltlar, belirtilen limit değerlere göre, alkali-silis reaksiyonu açısından zararsızdır.

Ayrıca metilen mavisi, organik madde tayini, suda çözünebilir klorür tayini, asitte çözünebilir sülfat tayini, toplam kükürt miktarının tayini gibi deney sonuçları da bazalt numunesinin agrega olarak kullanılabilirliğini göstermiştir.

Sonuç olarak; standarda uygun olarak bazalt taş ocağından alınan numuneler, boyut küçültme, numune azaltma ve boyuta göre sınıflandırma işlemine tabi tutulduktan sonra ince (0-4 mm) ve iri (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) agrega olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan numunelere uygulanan petrografik ve mineralojik, kimyasal, fiziksel testler ve/veya analizler sonucunda; İlica (Kütahya) bazaltlarının "TS 706 EN 12620+A1 Beton Agregaları" standardında aranan özelliklere uygun olduğu ve İlica yöresi bazaltının, beton agregası olarak kullanılabilirliği tespit edilmiştir. Bazalt, Türkiye'de birçok bölgede yaygın olarak bulunmaktadır. Bazalt son yıllarda, demiryolu balast malzemesi olarak kullanımının artmasıyla birlikte, kırmataş sektöründe

gittikçe önem kazanmaktadır. Aynı şekilde alternatif beton agregası olarak kullanılmaya başlanması durumunda hem bazalt rezervleri değerlendirilmiş hem de ülke ekonomisine katkı sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Şengül Ö., Taşdemir C., Kuruç Ş. ve Yüceer Z., "Agrega türünün farklı beton sınıflarının aşınma dayanımına etkisi", *5. Ulusal Beton Kongresi*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 525-534, İstanbul, (2003).
- Düzbasan S., Uluöz S., Yakıt E. ve Camcıoğlu M., "Kalker agregadaki kristalli kalsitin öngermeli prekast giriş kalitesine etkisi", *Hazır Beton Kongresi Bildirileri*, 247-257, (2011).
- Uz B., "Bazaltların kırmataş yönünden değerlendirilmesi "Trakya-Tekirdağ Bölgesi bazaltları örneği", *2.Ulusal Kırmataş Sempozyumu'99*, 1-12, İstanbul, (1999).
- Korkanç M. ve Tuğrul A., "Evaluation of selected basalts from the point of alkali-silica reactivity", *Cement and Concrete Research*, 35: 505-512, (2005).
- Ingrao C., Giudice A. L., Tricase C., Mbohwa C. and Rana R., (2014) "The use of basalt aggregates in the production of concrete for the prefabrication industry: environmental impact assessment, interpretation and improvement", *Journal of Cleaner Production*, 75: 195-204, (2014).
- Engidasew T. A. and Barbieri G., "Geo-engineering evaluation of Termaber basalt rock mass for crushed stone aggregate and building stone from Central Ethiopia", *Journal of African Earth Sciences*, 99: 581-594, (2014).
- Ibrahim A., Faisal S. and Jamil N., "Use of basalt in asphalt concrete mixes", *Construction and Building Materials*, 23(1): 498-506, (2007).
- Paige-Green P., "Durability testing of basic crystalline rocks and specification for use as road base aggregate", *Bull Eng Geol Environ*, 66:431-440, (2007).
- Iskender E., "Rutting evaluation of stone mastic asphalt for basalt and basalt-limestone aggregate combinations", *Composites: Part B*, 54: 255-264, (2013).
- Weidong C., Shutang L. and Zhigang F., "Comparison of performance of stone matrix asphalt mixtures using basalt and limestone aggregates", *Construction and Building Materials*, 41: 474-479, (2013).
- Alonso E., Martínez L., Martínez W. and Villaseñor L., "Mechanical properties of concrete elaborated with igneous aggregates". *Cement and Concrete Research*, 32(2): 317-321, (2002).
- Korkanç M. ve Tuğrul A., "Evaluation of selected basalts from Nigde, Turkey, as source of concrete aggregate", *Engineering Geology*, 75: 291-307, (2004).
- Çopuroğlu O., Andiç-Çakır Ö., Broekmans M.A.T.M. and Kühnel R., "Mineralogy, geochemistry and expansion testing of an alkali-reactive basalt from western Anatolia, Turkey". *Materials Characterization*, 60(7): 756-766, (2009).
- Tiecher F., Dal Molin D.C.C., Gomes M.E.B., Hasparyk N.P. and Monteiro P.J.M., "Influence of mesostasis in volcanic rocks on the alkali-aggregate reaction", *Cement and Concrete Composites*, 34: 1130-1140, (2012).
- TS 706 EN 12620+A1, "Beton agregaları", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara. (2009).

16. TS 5694 EN 12670, “Doğal taşlar-Terimler ve tarifler”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2004).
17. TS EN 932-2, “Agregaların genel özellikleri için deneyler Bölüm 2: Laboratuvar numunelerin azaltılması metodu”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1999).
18. TS EN 933-1, “Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini- Eleme yöntemi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2015).
19. TS 10088 EN 932-3/A1, “Agregaların genel özellikleri için deneyler Kısım 3: Basitleştirilmiş petrografik tanımlama için işlem ve terminoloji”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2006).
20. TS EN 933-9, “Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- Bölüm 9: İnce tanelerin tayini- Metilen mavisi deneyi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2014).
21. TS EN 933-3, “Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 3: Tane şekli tayini yassılık endeksi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2012).
22. TS EN 1097-2, “Agregaların Mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2010).
23. TS EN 1097-6, “Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2013).
24. TS EN 1097-3, “Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler Bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1999).
25. TS EN 1097-5, “Hava dolaşımı etüvde kurutma ile su muhtevasının tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2009).
26. TS EN 1367-2, “Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler Bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2011).
27. TS EN 1744-1+A1, “Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Kimyasal analiz”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2013).
28. Rojay B., Yalınz K.M. and Altın D., “Tectonic Implications of some Cretaceous pillow basalts from the North Anatolian ophiolitic melange (Central Anatolia-Turkey) to the evolution of Neotethys; Turkish”, *J. Earth Sci.*, 10: 93-102, (2001)
29. Le Bas M.J., Le Maitre R.W. and Woolley A.R., “The construction of the total alkali-silica chemical classification of volcanic rocks”, *Miner Petrol*, 46: 1-22, (1992).
30. Irvine T.N. and Baragar W.R.A., “A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks”, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-548, (1971).
31. Zimbelmann R., “A contribution to the problem of cement – aggregate bond”, *Cement and Concrete Research*, 15: 801-808, (1989).
32. Erdoğan T. Y., “Beton”, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını*, Ankara, (2003).
33. Coşkun E., “TS-802’ye uygun betonlar için agrega gruplarının bilgisayar yardımıyla oranlandırılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009).
34. Şimşek O., “Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri”. *Gazi Üniversitesi Yayınları*, Ankara. (2007).
35. Özışık G., “Beton”. *Birsen Yayınevi*, İstanbul, (2000).
36. Kambiz R., “Betonda alkali-silis reaksiyonu bir derleme (Çağrılı Bildiri)” *Beton 2013 Hazır Beton Kongresi*, 21-23 Şubat İstanbul, 289-311, (2013).
37. Arslan M., “Beton (Dökümü, kalıpları, kusurları, dayanıklılığı)”. *Atlas Yayınları*, İstanbul, (2001).
38. Katayama T., St John D.A. and Futagawa T., “The petrographic comparison of rocks from Japan and New Zealand - potential reactivity related to interstitial glass and silica minerals”. In Okada K., Nishibayashi S. and Kawamura M. (Eds.), *8th International conference (on) alkali-aggregate reaction*, 537-541, London, (1989).
39. ASTM C 1260-94, “Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates”, *Annual Book of ASTM Standards; Section Concrete and Mineral Aggregates*, Philadelphia, (1997).
40. Pek N.A., “Beton deniz yapılarında bazalt agrega kullanımı”, *İMO Teknik Dergi*, 6849-6866, 422, (2014).