

Dedeyolu köyü (Sivrice-Elazığ) civarındaki geç kretase yaşlı bazaltların kırmataş olarak kullanılabilirliğinin araştırılması

The investigation of usability of late cretaceous aged basalts near Dedeyolu village (Sivrice-Elazig) as crushed stone

Zülfü GÜROCAK^{1*}

¹Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.
zgurocak@firat.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 14.05.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 20.07.2015

doi: 10.5505/pajes.2015.82687

* Yazışılan yazar/Corresponding author

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, Geç Kretase yaşlı Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltların kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiş ve bazaltların kırmataş olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma arazi ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında, bazaltların ayrışma derecesi, süreksizlik aralığı ve RQD değerleri belirlenmiş, laboratuvar çalışmaları için 7 farklı lokasyondan blok bazalt örnekleri derlenmiştir. Bazaltların kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için ISRM, ASTM, BS, CA ve TS standartlarına göre laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Arazi ve laboratuvar ve çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre bazaltların beton agregası, micır, balast, tahkimat malzemesi ve anroşman olarak kullanılabilirliği irdelenmiştir. Laboratuvar deney sonuçları, bazaltların beton agregası, micır, balast ve tahkimat malzemesi olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Ancak, bazaltlar yavaş reaktif özelliktedir ve alkali silis reaksiyonunun oluşumuna engel olmak için beton üretiminde düşük alkaliniteli çimento ve puzzolanic katkı maddeleri kullanılmalıdır. Bazaltlar, içerdikleri eklemlerin ara uzaklığı düşük olduğu için anroşman olarak kullanılmaya uygun değildir.

Anahtar kelimeler: Anroşman, Balast, Elazığ magmatitleri, Kırmataş, Micır

Abstract

In this study, chemical and geomechanical properties of basalts of Late Cretaceous aged Elazığ Magmatites were examined and the usability of basalts as crushed stone was investigated. Research was carried out in two stages including field and laboratory studies. During the field studies, weathering degree of basalts, joint spacing and RQD values were determined and blocks of basalt samples were collected from 7 different locations. Laboratory tests were carried out in accordance with the ISRM, ASTM, BS, CA and TS standards to determine physical, chemical and mechanics properties of basalts. Usability of basalts as concrete aggregate, gravel, ballast, support material and armourstone were examined using results obtained from laboratory tests and field investigations. Laboratory test results show that basalts can be used as concrete aggregate, gravel, balast and support material. However, the basalts are slow reactive characteristic and low alkalinity cement and pozzolanic additives should be used in concrete production to prevent alkali-silica reaction. The basalts do not have suitable properties for use as armourstone since spacing of joints are closed.

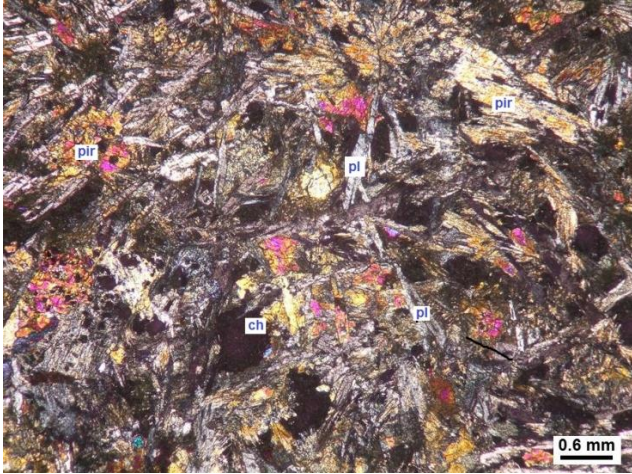
Keywords: Armourstone, Ballast, Crushed stone, Elazig Magmatits, Gravel

1 Giriş

Dünya'da ve Türkiye'de giderek gelişen ve büyüyen toplumun ihtiyaçlarına paralel olarak büyük bir hızla gelişmeye devam eden inşaat sektörünün, mühendislik çalışmalarını gerçekleştirebilmek için doğal yapı malzemesine olan ihtiyacı önemli bir atış göstermiştir. Günümüzde inşaat sektörünün en önemli problemlerinden birisi olan malzeme temini, ancak standartlarda belirtilen özelliklere sahip yeni malzeme alanlarının belirlenmesi ve üretime geçirilmesi ile mümkündür. Bu nedenle, yeni malzeme sahalarının ve malzemenin inşaat sektörünün hangi alanlarında kullanılabilir olduğunun belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Kırmataş olarak kullanılacak malzemenin kalitesi, kırmataşın elde edildiği kayacın kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlıdır. Kayaçların kırmataş olarak kullanılabilirliği konusunda yapılan çalışmalarda [1]-[9] bu özelliklerin kayacın türü, petrografik bileşimi, dokusu, dayanımı, bozunma derecesi, petrozitesi gibi birçok jeolojik özellik tarafından denetlendiği ifade edilmektedir. Kırmataş olarak geniş bir kullanım alanına sahip olan bazaltlarda farklı araştırmacılar tarafından bazaltların mühendislik özellikleri ve bu etkilerin bazaltların kırmataş olarak kullanılabilirlikleri üzerindeki etkileri konusunda çalışmalar yapılmıştır. Fookes

[10], Postacıoğlu [11] ve Neville [12] yaptıkları çalışmalarda, bazaltların diğer kayaçlara göre daha yüksek yoğunluğa sahip olmaları nedeniyle beton üretiminde segregasyona neden olduklarını belirtmektedirler. Bell [13] ise bazalt gibi kayaçların kırıldığında köşeli tanelerin oluştuğu ve bu köşeli tanelerin ise beton karışımının hazırlanmasını zorlaştırdığını ifade etmektedir. Smith ve Collins [14], sert ve kırılğan tipteki kayaçlarda kırma işlemi sonucunda yassı tane ve ince malzeme oluşumunun zayıf ve sünümlü kayaçlara göre daha fazla olduğunu belirtmektedir. Bazaltlar alkali-silis reaksiyonu açısından potansiyel kayaç tipidir ve Fookes [10] özellikle çörtlü kireçtaşı, çamutaşı, asidik ve orta-asidik bazı volkanik kayaçların alkali silis reaksiyonunun sık görüldüğü kayaç tipleri olduğunu belirtmektedir. Arnould [15] bazaltlarda aktif alkalilerin alkali-silis reaksiyonu açısından önem taşıdığını, Wakizaka [16] ise bazı volkanik kayaçlardaki volkanik camı malzemenin alkali-silis reaksiyonuna neden olabileceğini ifade etmektedir. Korkanç ve Tuğrul [9] yaptıkları çalışmada asit-ortaç karakterli ve matriksi volkan camından oluşan bazaltların, potansiyel olarak yavaş reaktif agrega özelliğinde olduğunu belirlemişlerdir. Bazaltların barajlarda kaya dolgu malzemesi olarak kullanımını konusunda yaptıkları çalışmada Çetin ve diğ. [17], veziküler tipteki bozunmuş bazaltların baraj gövdesinde hem oturmalara hem de heyelanlara neden olduğunu ifade etmektedirler. Özvan vd. [18] farklı tipteki



Şekil 4: Bazalt örneğine ait ince kesit fotoğrafı
(pl: Plajiyoklas, pir: Piroksen, ch: Klorit).

Bazaltların RQD değerini belirlemek için Palmström [40] tarafından önerilen eşitlik (1) kullanılmış ve RQD değeri %66 olarak hesaplanmıştır.

$$RQD = 110 - 2.5 J_v \quad (1)$$

Burada;

J_v : 1 m³lük kaya bloğundaki çatlak sayısıdır.

J_v değeri ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla 17.65 olarak hesaplanmıştır.

$$J_v = D_n \left(\frac{1}{S} \right) \quad (2)$$

Eşitlikte;

D_n : Eklem takımı sayısı,

S : Ortalama eklem ara uzaklığıdır.

Sungurlu ve diğ. [28] yaptıkları çalışmada birime Kampaniyen-Alt Maastrichtiyen, Yazgan ve Chessex [41] derinlik kayaçları için yaptıkları radyometrik yaş tayini sonucunda birime Geç Kretase (Koniasiyen-Alt Kampaniyen) yaşını vermişlerdir.

İnceleme alanında yüzeyleme veren diğer birim, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı'dır ve ilk defa Rigo ve Cortesini [42], tarafından "Maden Birimi" olarak adlandırılmıştır. Özkaya [43], "Sason-Baykan Grubu"; Erdoğan [44], "Maden Grubu"; yapılan diğer çalışmalarda ise "Maden Karmaşığı" olarak isimlendirmiştir [23],[42],[45]-[49].

Bölgede, Elazığ Magmatitleri tarafından tektonik olarak üzerlenen karmaşık, sedimanter kayaçlar ile ara katkılı volkanitlerin oluşturduğu düzensiz bir stratigrafi sunmaktadır. Esas olarak volkano-tortul kayaçlar, andezit, bazalt, volkanik breş ve bunları kesen diyabaz daykalarından oluşmaktadır. Orta derecede bozunma gösteren birim, iyi gelişmiş eklemeler içermektedir.

Maden Karmaşığı'nın yaşı ile ilgili çalışma yapan araştırmacılardan; Aktaş ve Robertson [48] Paleosen-Eosen; Sungurlu ve diğ. [28], Yazgan [45],[46], Hempton [47],[49] derledikleri örneklerdeki fosil içeriğine dayanarak birime Orta Eosen yaşını vermişlerdir.

Yamaç molozları, daha üst kotlardaki kayaçlardan türemiş, köşeli, tutturulmamış, kalınlığı değişken, sıkışmamış blok, çakıl, kum ve kil boyutu malzemeden oluşmaktadır. Alüvyonlar ise inceleme alanında yayılım gösteren kayaçlardan türemiş olup, dere yataklarında yüzeyleme vermektedir. Birim, yuvarlaklaşmış, tutturulmamış, blok, çakıl, kum ve kil boyutundaki malzemelerden oluşmaktadır.

3 Bazaltların kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri ile kırmataş olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi

Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltların kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla, arazide 7 farklı noktada (Şekil 2) iş makinesi yardımıyla yapılan yaklaşık 2m derinliğindeki kazılardan blok örnekler derlenmiştir. Bu bloklardan çeneli kırıcı yardımıyla hazırlanan agrega örnekler (Şekil 5) üzerinde fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemek amacıyla her bir deneyden beş adet olmak üzere laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir (Tablo 1). Ayrıca, bazaltların kimyasal özelliklerini belirlemek için ana oksit analizi yaptırılmıştır (Tablo 2).

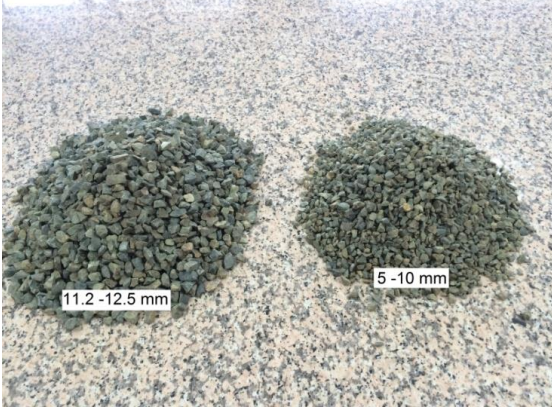
Tablo 1: İri agrega örneklerinin standartlardaki sınır değerlerine göre uygunluğu.

Deneyler	Standartlar ve Sınır Değerler	Bazalt	Değerlendirme
Doygun (yüzey kuru) özgül ağırlık, (gr/cm ³)	TS EN 1097-6 [55] >2.55	2.85-2.88 2.87*	Uygun
Su emme, WA ₂₄ (%)	TS EN 1097-6 [55] <%3	0.68-0.84 0.75*	Uygun
Sodyum Sülfatdon kaybı, (%)	TS EN 1367-1 [56] ≤18	2.97-3.20 3.14*	Uygun
Los Angeles aşınma dayanımı (LA)	TS EN 1097-2 [57] LA ₃₀ (≤ %30)	8.66-12.53 9.84*	Uygun
Darbe dayanımı SZ (%)	TS EN 1097-2 [57] < %50	16.54-19.67 18.02*	Uygun
Soyulma dayanımı (%)	ASTM D-1664-80 [58] ≤ 25	11-21 14*	Uygun
Yıkabilir madde oranı, m _y (%)	TS EN 933-10 [59] < %05	0.018-0.037 0.029*	Uygun
Yassılık indeksi (% FI)	TS 706 EN 12620 [60] < %50	10.20-13.05 11.58*	Uygun
Uzunluk indeksi (%)	BS 812 [61]	11.57-14.06 13.22*	Uygun

*Ortalama değer

Tablo 2: Çalışma alanındaki bazaltların ortalama ana oksit yüzdeleri.

Element	%	Element	%
SiO ₂	54.44	Na ₂ O	5.64
Al ₂ O ₃	15.80	CaO	4.55
Fe ₂ O ₃	10.21	TiO ₂	1.02
MgO	4.06	P ₂ O ₅	0.16
K ₂ O	0.21	Ateş kaybı	3.95



Şekil 5: Laboratuvar deneyleri için hazırlanan bazalt agregata örnekleri.

Laboratuvar deneylerinde ASTM, BS, CA ve TS standartları esas alınmış ve bazaltların; ana oksit yüzdeleri, yoğunluğu, özgül ağırlığı, doygun (yüzey kuru) özgül ağırlığı, su emmesi, porozitesi, magnezyum sülfat ve sodyum sülfat don kaybı, Los Angeles aşınma kaybı, organik madde miktarı, yıkanabilir madde oranı, alkali-silis reaksiyonu, soyulma dayanımı, tek eksenli sıkışma dayanımı, darbe dayanımı, sürtünme ile aşınma kaybı, yassılık indeksi, uzunluk indeksi ve ıslanma-kuruma etkisi belirlenmiştir. Ayrıca, arazide arazi düşürme ve bekletme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Kayaçların inşaat sektöründe kırmataş olarak kullanılabilirliği, laboratuvar deney sonuçlarının standartlarda öngörülen sınır şartlarına uygun olmasına bağlıdır. Bu nedenle, laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlar ASTM, BS, CA ve TS standartlarında verilen sınır değerlerle karşılaştırılarak, bazaltların farklı alanlarda kırmataş olarak kullanılabilirliği irdelenmiştir.

3.1 Beton agregası ve mıcır olarak kullanılabilirlik

Bazaltların beton agregası olarak kullanılabilmesi için, Tablo 1'de verilen özelliklerin laboratuvar çalışmaları ile belirlenmesi ve elde edilen değerlerin ulusal ve uluslararası standartlarda verilen sınır değerlere uygun olması gerekmektedir. Bu çalışmada incelenen bazalt agregalarının bütün özellikleri, standartlarda verilen sınır değerlere uygun olduğundan, bazaltlar beton agregası olarak kullanılabilir özelliktedir.

Ancak, kayaçların agregata olarak kullanımında dikkat edilmesi gereken en önemli özelliklerden birisi de alkali-agregata (AAR) reaksiyonlarıdır. Alkali-silis reaksiyonu (ASR) ve alkali-karbonat reaksiyonu (ACR) olarak iki farklı şekilde gelişen bu reaksiyonlar, etkileri ile betonun dayanımını yitirmesine neden olabilmektedirler. ASR, çimento içerisindeki sodyum ve potasyum gibi alkaliler ile aktif silis bileşenleri içeren agregalar arasındaki kimyasal bir reaksiyon olarak

tanımlanmaktadır ve en fazla reaktif formların opal, kalsedon ve tridimit olduğu belirtilmektedir [50].

Bilindiği gibi bazaltların petrografik ve kimyasal bileşimleri ASR'nin ortaya çıkmasında oldukça etkilidir. Bu konuda yapılmış olan çalışmalarda [9],[10],[15],[16] özellikle camı malzeme içeren bazaltların ASR açısından potansiyel kayaç türü olduğu ifade edilmektedir. Katayama ve diğ. [51] ise bazaltlardaki SiO₂ içeriğinin %50'den fazla olması durumunda potansiyel reaktif agregata özelliği gösterebildiğini belirtmektedir. Çalışma alanındaki bazaltların hem petrografik hem de kimyasal bileşimleri, bu bazaltların ASR açısından değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bazaltlarda yapılan petrografik incelemeler bazaltların az da olsa volkan camı içerdiğini göstermektedir. Ayrıca, bazaltların kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla ana oksit analizleri yaptırılmıştır (Tablo 2). Bu analiz sonuçlarına göre bazaltların SiO₂ içeriğinin %54.44'dür. Bu bulguların bazaltların ASR'ye neden olabileceğine işaret etmesi nedeniyle CSA, A23.2-94 [52] standardına göre hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri gerçekleştirilmiş ve 21 günlük genleşme miktarları belirlenmiştir. Bu standarda göre 21 günlük genleşmelerin %0.1'den fazla olması durumunda agregalar, reaksiyon açısından sakıncalı olarak değerlendirilmektedir. Bu deneylerden ortaya çıkan sonuçlar (Tablo 1), bazaltlardaki genleşme miktarlarının %0.1'den büyük olmadığı ancak yakın değerlerde bulunduğunu göstermektedir. Bu nedenle, bazaltların ASR açısından yavaş reaktif olduğu söylenebilir.

Alkali-karbonat reaksiyonu (ACR) ise daha çok Mg içeren dolomitik kireçtaşlarından elde edilen agregaların kullanıldığı durumlarda ortaya çıkan bir reaksiyon tipidir. Ozol [53] ve Swenson ve Gillott [54] ACR'nin çözünmeyen artık madde veya kil içeriğinin %5-25 arasında olması, kayacın %40-60'ının dolomitten oluşması, kil matriks içerisindeki bağlantısız dolomit kristallerinin varlığı, beton üretiminde ince taneli agregata ve yüksek alkali içeriğine sahip çimento kullanımı durumlarında ortaya çıktığını ifade etmektedirler. Bu bilgiler ışığında değerlendirildiğinde, çalışma alanındaki bazaltların ACR açısından herhangi bir risk içermediğini söylemek mümkündür.

Laboratuvar deney sonuçları standartlardaki sınır değerleri ile karşılaştırıldığında, bazaltların mıcır olarak kullanılabilir özellikte olduğu görülmektedir.

Tablo 3: Hızlandırılmış harç çubuğu deneyi 21 günlük genleşme miktarları.

Örnek No	Genleşme (%)
1	0.067
2	0.082
3	0.056
4	0.088
5	0.070
6	0.083
7	0.069

3.2 Balast olarak kullanım yönünden değerlendirilmesi

Balast, üst yapı elemanlarına (ray, travers) istenen esneklikte mesnetlik ederek yol yatağının duraylılığının sağlanması, dingil yüklerinden kaynaklanan normal gerilmelerin alt katmanlara yayılarak azaltılması, yüzey sularının drene edilmesi, tren titreşimlerini sönmümlendirilmesi ve yeterli elektrik yalıtımının sağlanması amacıyla demiryolu güzergahına serilen malzemedir [62]. Genel olarak 31.50 mm

ile 63.00 mm çapında, köşeli ve gelecek olan yüke göre belirli bir tabaka kalınlığında serilen balastın elde edildiği kayacın türü, şekli, donatı, aşınmaya ve parçalanmaya karşı dayanımı yukarıda verilen amaçları sağlayabilmesi açısından önem taşımaktadır [63]. Türkiye’de demiryollarında kullanılacak balastın sahip olması gereken özellikler TS EN 13450 [64] standardı ile belirlenmiştir. Kayacın balast olarak kullanılabilmesi verilen sınır değerlerine uygun olmasına bağlıdır. Bu çalışmada incelenen bazaltların balast olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceğini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen laboratuvar çalışmaları elde edilen sonuçlar TS EN 13450 [64] sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır (Tablo 4). Bazaltların tek eksenli sıkışma dayanımı ve 500 devirdeki Los Angeles aşınma kaybı değerlerinin, standartta verilen sınır değerlere çok yakın olmasına karşın bazaltların demiryollarında balast malzemesi olarak kullanımının uygun olduğunu söylemek mümkündür.

Tablo 4: Bazaltların balast olarak kullanım yönünden TS EN 13450 [64]’a göre uygunluğu.

Deneyler	Sınır Değerler	Bazalt	Değerlendirme
Özgül ağırlık (t/m ³)	>2.50	2.89-2.92 2.91*	Uygun
Su emme (%)	<2.00	0.68-0.84 0.75*	Uygun
Magnezyum sülfat don kaybı (%)	<5	1.08-1.32 1.26*	Uygun
Sodyum sülfat don kaybı (%)	<10	2.97-3.20 3.14*	Uygun
Tek eksenli sıkışma dayanımı (kg/cm ²)	>1000	822-1306 1093*	Uygun
Los Angeles aşınma kaybı (500 devir) (%)	<10	8.66-12.53 9.84*	Uygun
Los Angeles aşınma dayanımı (1000 devir) (%)	≤30	10.43-14.58 11.26*	Uygun
Organik madde miktarı	<0.50	0.00	Uygun

*Ortalama değer

3.3 Tahkimat malzemesi ve anroşman olarak kullanılabilirlik

Karayollarında tahkimat olarak kullanılacak malzemenin Karayolları Teknik Şartnamesi’nde [65] verilen özellikleri taşıması gerekmektedir. Çalışma alanındaki bazaltların özellikleri, Karayolları Teknik Şartnamesi [65] dikkate alınarak değerlendirildiğinde (Tablo 5), tüm özelliklerin şartnamede öngörülen sınır değerleri sağladığı ve tahkimat malzemesi olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir.

Dalgakıranlarda kullanılan anroşmanların performansı dalga etkisi altında uzun süreli yapısal dayanıklılık ile ilişkilidir. Kıyı yapıları uzun süreli çevresel dinamik koşullardan etkilendiği için, bu yapılara ait performans ve dayanıklılık değerlendirmeleri diğer mühendislik yapılarından farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle anroşman kalite değerlendirme konusunda önerilen sınıflamalarda [19],[66]-[69] kaya malzemesinin dayanımı, bozunma derecesi, petrografik bileşimi, yoğunluğu, porozitesi, su emmesi ve süreksizlik özellikleri girdi parametresi olarak kullanılmaktadır.

Hidrodinamik etki altında kalması nedeniyle, anroşman olarak kullanılan kayaların özellikle petrografik bileşimi, bozunma ve süreksizlik özellikleri büyük önem taşımaktadır. Bazaltların anroşman olabilme özelliği konusunda yaptıkları çalışmada Özvan ve diğ. [18] farklı tipteki kayaların anroşman olabilme özelliklerini beş farklı değerlendirme yöntemine göre

incelemişlerdir. Araştırmacılar, anroşman olabilme açısından masif bazalt ve mikritik kireçtaşlarının veziküler bazalt ve kristalize kireçtaşlarından daha iyi mühendislik özelliklerine sahip olduklarını, anroşman, filtre ve çekirdek malzemesi olarak kullanılabilirliklerini, ancak veziküler bazalt ve kristalize kireçtaşlarının ise sadece çekirdek malzemesi için kullanıma uygun olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, veziküler bazaltların olivinlerin ayrışma ürünü olan iddingsit, kristalize kireçtaşlarının ise stilolit yapıları içerdiğini, bu özelliklerin kayacın kalitesini ve dayanımını olumsuz yönde etkilediğini ifade etmektedirler. Acır [70] Doğu Karadeniz Limanlarında anroşman olarak kullanılan kayalar üzerinde yaptıkları çalışmada, anroşmanların bozunma süreçlerine bağlı olarak performans kayıplarını incelemiştir. Araştırmacı, taş ocağından derlenen sağlam ve limandan derlenen bozunmuş kaya örnekleri üzerinde yaptıkları incelemede, pH ve tuzluluğun bazalt kökenli anroşmanların bozunma süreçlerini az da olsa hızlandırıcı etkiye sahip olduğunu ve anroşman duraylılıklarının incelenmesinde deniz suyunun kullanılmasının daha gerçekçi sonuçlar verdiğini belirlemiştir.

Bu çalışmada anroşmanların kalite ve dayanıklılık değerlendirmesi, dünyaca kabul görmüş CIRIA/CUR [19] tarafından önerilen sınıflama kullanılarak değerlendirilmiştir (Tablo 6). CIRIA/CUR sınıflaması anroşman malzemesinin çeşitli deneylerdeki performansını dikkate alan bir yöntemdir ve anroşmanları zayıf, orta, iyi ve çok iyi olmak üzere dört ayrı sınıfa ayırmaktadır.

Tablo 5: Bazaltların karayolları teknik şartnamesi’ne [65] göre uygunluğu.

Deneyler	Sınır Değerler	Bazalt	Değerlendirme
Petrografik görünüm	Kristaller iyi kenetlenmiş, kil minerali ve eriyebilen mineral olmayacaktır	Yok	Uygun
Doğgun (yüzey kuru) özgül ağırlık, (gr/cm ³)	≥2.60	2.85-2.91 2.87*	Uygun
Hacimce su emme (%)	≤2.00	0.88-1.94 1.56*	Uygun
Tek eksenli sıkışma dayanımı (kg f/cm ²)	≥500	822-1306 1093*	Uygun
Los Angeles aşınma dayanımı (%) (1000 devir)	≤25	10.43-14.58 11.26*	Uygun
Sodyum sülfat don kaybı, (%)	≤2.00	2.97-3.20 3.14*	Uygun
Sürtünme ile aşınma kaybı (cm ³ /50cm ²)	≤15	10.69-14.05 12.77*	Uygun
Islanma-kuruma etkisi (35 döngü sonrası)	Önemli derecede çatlak oluşumu ve gelişimi olmayacaktır Ana boyutta kırılma olmayacak ve çatlak oluşmayacaktır Ocak yerinde 12 ay bekleme süresinde çatlak oluşumu, parçalanma ve ayrışma olmayacaktır	Yok	Uygun
Arazi düşürme testi		Yok	Uygun
Arazi bekletme-yerinde gözlem		Yok	Uygun

Tablo 6: Bazaltların CIRIA/CUR [19] sınıflamasındaki sınır değerlerine göre uygunluğu.

Deney veya Gözlem	Koruyucu Tabakalar	Filtre Tabakaları	Çekirdek/Dolgu	Bazalt	Değerlendirme
Ayrışma derecesi	I-II	I-II	I-II	II	Uygun
Süreksizlik aralığı (m)	1.00+	0.50+	0.20+	0.17	Uygun değil
RQD (%)	80-100	75-100	55-100	66	Çekirdek/dolgu için uygun
Porozite (%)	0-5	0-10	0-10	2.88	Uygun
Su emme (%)	<2.0	<2.5	<3.0	0.75	Uygun
Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)	>100	>100	>50	107.19	Uygun
Yoğunluk (kg/m ³)	>2600	>2600	>2000	2910	Uygun

Bazaltlarda yapılan gözlem ve deneylere ait sonuçların CIRIA/CUR sınıflamasındaki sınır değerleri ile karşılaştırılması sonucunda, bazaltların içerdiği eklemlerin ortalama ara uzaklığının ve buna bağlı olarak da RQD değerinin düşük, blok boyutunun da küçük olması nedeni ile anroşman olarak kullanılamayacağı belirlenmiştir.

4 Sonuçlar ve öneriler

Yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarının değerlendirilmesi sonucunda;

1. Bazaltların tüm özellikleri beton agregası olarak kullanımına uygun olduğunun belirlenmesine rağmen, bazaltların volkan camı içermesi ve SiO₂ içeriğinin de %50'den fazla olması nedeniyle, alkali-silis reaktivitesine neden olabilecekleri düşünülerek, harç çubuğu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Harç çubuklarının boylarında meydana gelen genleşme miktarları %0.1'den büyük olmamasına rağmen ortalama genleşme miktarı %0.074 olarak belirlenmiştir. Bu değer bazaltların alkali-silis reaktivitesi açısından yavaş reaktif özellikte olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bazaltların beton agregası olarak kullanılması durumunda, düşük alkaliniteye sahip çimento kullanılması ve beton içerisine pulozonik maddelerin katılması uygun olacaktır. Bazaltlar alkali-karbonat reaksiyonu açısından herhangi bir risk taşımamaktadır,
2. Yapılan çalışmalar, bazaltların mıcır olarak kullanılması açısından herhangi bir sakınca olmadığını göstermektedir,
3. Bazaltlarda gerçekleştirilen laboratuvar çalışmalarına ait sonuçların TS EN 13450 standardındaki [60] sınır değerleri ile karşılaştırılması sonucunda, bazaltların balast malzemesi olarak kullanılabilir olduğu belirlenmiştir,
4. Bazaltlar, Karayolları Teknik Şartnamesi'nde [61] verilen özelliklerin tümünü taşımaktadır ve karayollarında tahkimat malzemesi olarak kullanılmalarında sakınca bulunmamaktadır,
5. Bazaltların, anroşman malzemesi olarak kullanılabilirliği ise, CIRIA/CUR [19] tarafından önerilen sınıflama kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda bazaltların sınıflamalarda verilen birçok özelliği karşılamasına karşın, eklemler arasında uzaklığı değerinin çok düşük olması nedeniyle anroşman malzemesi olarak kullanılamayacağı düşünülmüştür.

5 Kaynaklar

- [1] Hartle A. "A Review of the geological factors influencing the mechanical properties on road surface aggregates". *Geoscience: Engineering Geology*, 7(1), 69-100, 1974.
- [2] Ramsay DM, Dhir RK, Spence IM. "The role of rock and clast fabric in the physical performance of crushed-rock aggregate". *Engineering Geology*, 8(3), 267-285, 1974.
- [3] Lees G, Kennedy CK. "Quality, shape and degradation of aggregates". *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 8, 28-35, 1975.
- [4] Kazi A, Al-Mansour ZR. "Influence of geological factors on abrasion and soundness characteristics of aggregates". *Engineering Geology*, 15(3-4), 195-203, 1980.
- [5] Özturan T, Çeçen C. "Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strengths". *Cement and Concrete Research*, 27(2), 165-170, 1997.
- [6] Tasong WS, Lynsdale CJ, Cripps JC. "Aggregate-cementpaste interface: II. Influence of aggregate physical properties". *Cement and Concrete Research*, 28 (10), 1453-1465, 1998.
- [7] Zarif IH, Tuğrul A, Dursun G. "İstanbul'daki kireçtaşlarının agrega kalitesi yönünden değerlendirilmesi". *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 16(1), 61-70, 2003.
- [8] Zarif IH, Tuğrul A. "Aggregate properties of Devonian limestones for use in concrete in Istanbul, Turkey". *Bulletin Engineering Geology and the Environment*, 62(4), 379-388, 2003.
- [9] Korkanç M, Tuğrul A. "Evaluation of selected basalts from Niğde, Turkey, as source of concrete aggregate". *Engineering Geology*, 75(3-4), 291-307, 2004.
- [10] Fookes PG. "An introduction to the influence of natural aggregates on the performance and durability of concrete". *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 13(4), 207-229, 1980.
- [11] Postacıoğlu B. *Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton*. 2. basım. İstanbul, Türkiye, Teknik Kitaplar Yayınevi, 1987.
- [12] Neville AM. *Properties of Concrete*. 4th ed. Pitman, London, 1995.
- [13] Bell FG. *Engineering Geology*. 3rd ed. Blackwell, Oxford, 1998.
- [14] Smith MR, Collis L. *Aggregates: Sand, Gravel and Crushed Rock Aggregates for Construction Purposes*, Geological Society, Engineering Geology Special Publication 17. The Geological Society, London, 2001.

- [15] Arnould M. "Alkali-reaction with silica alkaline aggregates result of recent researches in France". *Proceedings of the International Three Gorges Project Technical Seminar*, Yichang, China, 26-28 November 1997.
- [16] Wakizaka, Y. "Alkali-silica reactivity of Japanese rocks". *Engineering Geology*, 56(1-2), 211-221, 2000.
- [17] Çetin H, Laman M, Ertunc A. "Settlement and slaking problems in the world's fourth largest rock-fill dam, the Atatürk Dam in Turkey". *Engineering Geology*, 56(3-4), 225-242, 2000.
- [18] Özvan A, Dinçer İ, Acar A. "Quality assessment of geo-materials for coastal structures (Yumurtalık, Turkey)". *Marine Georesources & Geotechnology*, 29(4), 299-316, 2011.
- [19] CIRIA/CUR. "The Rock Manual: The Use of Rock in Hydraulic Engineering". Construction Industry Research and Information Association Publication, London, 2007.
- [20] Ketin İ. "Anadolu'nun tektonik birlikleri". *MTA Dergisi*, 66, 20-34, 1966.
- [21] Perinçek D. "Palu-Karabegon-Elazığ-Sivrice-Malatya Alanının Jeolojisi ve Petrol İmkânları". TPAO, Ankara, Türkiye, 1361, 1979.
- [22] Perinçek D, Özkaya İ. "Arabistan kıtası kuzey kenarının tektonik evrimi". *Yerbilimleri*, 8, 91-102, 1981.
- [23] Yazgan E. "Doğu Toroslar'da etkin bir paleo-kıta kenarı etüdü". *Yerbilimleri*, 7, 83-104, 1981.
- [24] Bingöl AF. "Elazığ-Pertek-Kovancılar arası volkanik kayaların petrografik ve petrolojik incelenmesi". *Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1, 9-21, 1982.
- [25] Bingöl AF. "Geology of the Elazığ area in the Eastern Taurus Region". *International Symposium on the Geology of the Taurus Belt*, Ankara, Türkiye, 26-29 September 1983.
- [26] Bingöl AF. "Petrographical and petrological features of intrusive rocks of Yüksekova Complex in the Elazığ region (Eastern Taurus, Turkey)". *Journal of Fırat University Science and Technology*, 3 (2), 1-17, 1988.
- [27] Turan M. Baskil-Aydınlar (Elazığ) Yöresinin Stratigrafisi ve Tektoniği. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 1984.
- [28] Sungurlu O, Perinçek D, Kurt G, Tuna E, Dülger S, Çelikdemir E, Naz H. "Elazığ-Palu-Hazar alanının jeolojisi". *Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Dergisi*, 29, 83-191, 1985.
- [29] Gürocaç Z. Sivrice (Elazığ) Çevresinin Jeolojisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 1993.
- [30] Kaya A. Gezin-Maden (Elazığ) Çevresinde Jeolojik Araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 1993.
- [31] Kaya A. Keban (Elazığ) Civarındaki Metamorfitlelerin Yapısal Analizi ve Tektonik Evrimi. Fırat Üniversitesi, Doktora Tezi, Elazığ, Türkiye, 2001.
- [32] Kaya A. "Gezin (Maden-Elazığ) çevresinin jeolojisi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10 (1), 41-50, 2004.
- [33] Kaya A. "Keban metamorfitlelerinin stratigrafisine ilişkin yeni yaş bulguları". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(3), 189-199, 2016.
- [34] Kaya A. "Tectono-stratigraphic reconstruction of the Keban metamorphites based on new fossil findings, Eastern Turkey". *Journal of African Earth Sciences*, 124, 245-257, 2016.
- [35] Perinçek D. *The geology of Hazro-Korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani-Hazar Malatya area*. Ankara, Turkey, Geological Society of Turkey, 1979.
- [36] Perinçek D. "Arabistan kıtasında kuzeyindeki tektonik evrimin, kıta üzerine çökme istifteki etkileri". *Türkiye 5. Petrol Kongresi*, Ankara, Türkiye, 14-17 Nisan 1987.
- [37] Turan M, Bingöl AF. "Kovancılar-Baskil (Elazığ) arası bölgenin tektono-stratigrafik özellikleri". *Ahmet Acar Jeoloji Sempozyumu*, Adana, Türkiye, 16-18 Ekim 1989
- [38] Bingöl AF, Beyarslan M. "Elazığ Magmatitleri'nin jeokimyası ve petrolojisi". *KTÜ 30. Yıl Sempozyumu*, Trabzon, Türkiye, 16-20 Ekim 1995.
- [39] ISRM. "The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006". Kozan Ofset, Ankara, 2007.
- [40] Palmström A. "Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD)". *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20(4), 362-377, 2005.
- [41] Yazgan E, Chessex R. "Geology and tectonic evolution of the Southeastern Taurides in the region of Malatya". *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 3(1), 1-42, 1991.
- [42] Rigo De Righi M, Cortesini A. "Gravity tectonics in foothill structure of southeast Turkey". *American Association Petroleum Geologist Bulletin*, 48(12), 1911-1937, 1964.
- [43] Özkaya İ. "Ergani-Maden yöresinin stratigrafisi" *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 21, 129-139, 1978.
- [44] Erdoğan B. "Ergani-Maden yöresindeki Güneydoğu Anadolu Ofiyolit Kuşağının jeolojisi ve volkanik kayaları". *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 25, 49-60, 1982.
- [45] Yazgan E. "A geotraverse between the Arabian platform and the Munzur nappes". *Proceedings of the International Symposium on the Geology of the Taurus Belt*, Ankara, Turkey, 26-29 September 1983.
- [46] Yazgan E. "Geodynamic evolution of the Eastern Taurus region". *International Symposium on the Geology of the Taurus Belt*, Ankara, Turkey, 1984.
- [47] Hempton MR. "Results of detailed mapping near Lake Hazar (Eastern Taurus Mountains)". *International Symposium on the Geology of the Taurus Belt*, Ankara, Turkey, 1984.
- [48] Aktaş E, Robertson AHF. *The Maden Complex SE Turkey; evolution of the Neotethyan active margin*. Editors: Dixon, JE, Robertson AHF. The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, London, UK, The Geological Society Publishing House, 1984.
- [49] Hempton MR. "Structure and deformation history of the Bitlis suture zone near Lake Hazar south-eastern Turkey". *Geological Society of American Bulletin*, 96(2), 233-243, 1985.
- [50] Swamy RN. "Expansion of concrete due to alkali-silica reaction". *ACI Materials Journal*, 85(1), 33-40, 1988.
- [51] Katayama T, St John DA, Futagawa T. The petrographic comparison of rocks from Japan and New Zealand-Potential reactivity related to interstitial glass and silica minerals. *8th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction*, Kyoto, Japan, 17-20 July 1989.

- [52] CSA, A23.2-94. "Test Method for Detection of Alkali-Silica Reactive Aggregate by Accelerated Expansion of Mortar Bars. Methods of Test for Concrete". Canadian Standards Association, Ontario, Canada, 1994
- [53] Ozol MA. Alkali-carbonate rock reaction, significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials, West Conshohocken, Pennsylvania, 2006.
- [54] Swenson EG, Gillott JE. "Alkali reactivity of dolomitic limestone aggregate". *Magazine of Concrete Research*, 19(59), 95-104, 1967.
- [55] TS EN 1097-6. "Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğuve Su Emme Oranının Tayini". Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2013.
- [56] TS EN 1367-1. "Beton Agregalarında Dona Dayanıklılık Tayini". Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2001.
- [57] TS EN 1097-2. "Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini için Metotlar". Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2010.
- [58] ASTM D1664-80. "Test Method for Coating and Stripping of Bitumen-Aggregate Mixture". American Society for Testing and Materials Standards. PA-USA, 1985.
- [59] TS EN 933-10. "Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini". Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2010.
- [60] TS 706 EN 12620. "Beton Agregaları". Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2003.
- [61] BS 812-105.2. "Testing Aggregates. Methods for Determination of Particle Shape. Elongation Index of Coarse Aggregate" British Standards Institution, London, UK, 1990.
- [62] Arıoğlu E, Kurt G, Yoldaş R, Yalçın H. "Kimi kayaçların çok yüksek devirli (>500) Los Angeles aşınma değerleri". 5. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 1-2 Aralık 2009.
- [63] Huang H. Discrete Element Modeling of Railroad Ballast Using Imaging Based Aggregate Morphology Characterization. PhD thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois, 2010.
- [64] TS EN 13450. "Demiryolu Balastları için Agregalar". Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2013.
- [65] Karayolları Teknik Şartnamesi. "Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tünel, Üst Yapı ve Çeşitli İşler". Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2006.
- [66] CIRIA/CUR. "Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering". Construction Industry Research and Information Association, CIRIA Special Publication 83/ CUR Report 154, 1991.
- [67] Lienhart DA. "Rock engineering rating system for assessing the suitability of armourstone sources". *Engineering Geology Special Publication*, 13, 91-106, 1998.
- [68] Winkler EM. "A durability index for stone". *Bulletin of the Association of Engineering Geology*, 30, 99-101, 1986.
- [69] Fookes PG, Gourley CS, Ohikere C. "Rock weathering in engineering time". *The Quarterly Journal of Engineering Geology*, 21(1), 33-57, 1988.
- [70] Acır Ö. Doğu Karadeniz Limanlarında Anroşman Olarak Kullanılan Bazaltların Kalite ve Dayanıklılığının Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.