

## ELAZIĞ ÇEVRESİNDEKİ KAYAÇLARIN BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

**Zülfü GÜROCAK**

*F.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ/Türkiye*

**Selçuk ALEMDAĞ**

*G.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane/Türkiye*

**ÖZET:** Bu çalışmada, Elazığ çevresinde yüzeyleyen kayaçların beton agregası olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Keban Metamorfileri, Elazığ Magmatitleri, Harami Formasyonu, Maden Karmaşığı, Kirkgeçit Formasyonu ve Karabakır Formasyonu'ndan farklı noktalardan kaya örnekleri alınmış, kaya ve agrega örneklerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Petrografik ve kimyasal özellikleri belirlemek için, kimyasal analizler ve ince kesitlerde petrografik çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, kaya örneklerinin birim hacim ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme, porozite, doluluk oranı, serbest basınç dayanımı belirlenmiştir. Çeneli kırıcı yardımıyla standart boyutta agrega örnekleri hazırlanmış, bu agregaların alkali agrega reaktivitesi, magnezyum sülfat çözeltisinde don kaybı, özgül ağırlık, su emme, yıkanabilir madde içeriği ve Los Angeles aşınma dayanımı belirlenmiştir. Deney sonuçları TSE standartlarındaki sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Keban Metamorfileri, Elazığ Magmatitleri ve Kirkgeçit Formasyonu'nun düşük Los Angeles aşınma direncine ve özgül ağırlığa sahip olması nedeniyle, bu kayaçların beton agregası olarak kullanılması uygun değildir. Maden Karmaşığı ve Karabakır Formasyonu'na ait bazaltların tüm fiziko-mekanik özellikleri beton agregası olarak kullanılabilme açısından uygundur ve bu kayaçlar beton agregası olarak kullanılabilirler.

## POSSIBLE USE OF ROCKS IN AROUND OF ELAZIĞ AS CONCRETE AGGREGATE

**ABSTRACT:** The aim of this study is to determine characteristics of rocks which are exposed around Elazığ using as concrete aggregate. For this purpose, rock samples from Keban Metamorphics, Elazığ Magmatics, Harami Formation, Maden Complex, Kirkgeçit Formation and Karabakır Formation were collected from different locations and experimental studies were conducted on the rock and aggregate samples. To determine petrographical and chemical characteristic, chemical analysis and petrographic studies in thin section were carried out. Furthermore, unit weight, water absorption in weight, water absorption in volume, porosity, fullness ratio and uniaxial compressive strength of the rocks were determined. Standard size aggregates were

*prepared from block samples using a laboratory jaw crusher. The aggregate properties such as alkali aggregate reactivity, magnesium sulphate soundness, specific gravity, water absorption, fine content and Los Angeles abrasion were determined. The results were compared with the typical acceptance limit in TSE standards. According to the results, it was obtained that Keban Metamorphics, Elazığ Magmatics and Kırkgeçit Formation were not suitable for using as concrete aggregate, because Los Angeles abrasion and specific gravity of these rocks were less than acceptance limits in TSE standards. However, all physico-mechanic properties of the basalts belong to the Maden Complex and Karabakır Formation were suitable for using as concrete aggregate and these basalts can be used as concrete aggregate.*

## 1. GİRİŞ

Gelişen toplumun ihtiyaçlarına karşılık verecek şekilde hızla büyüyen inşaat sektörünün malzeme ihtiyacı da aynı hızla artmaktadır. Artan bu ihtiyaca paralel olarak kayaçların kırma taş şeklinde beton agregası olarak kullanımı yaygınlaşmıştır. Agregası olarak kullanılan bu kayaçların agrega olabilme özellikleri Türk Standardları Enstitüsü tarafından belirlenmiş ve bu özelliklere sahip olmayan kayaçların beton agregası olarak kullanılamayacağı belirtilmiştir. Nitelikli beton üretimine katkıda bulunmak amacıyla TS 706 EN 12620 (2003)'e uygun kırma taş üretilmesine yönelik olarak bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada Elazığ çevresinde yüzeyleyen Keban Metamorfikleri'ne ait mermerler, Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltlar, Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları, Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları, Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar ve Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlar TSE standartları esas alınarak incelenmiştir. Arazi çalışmaları ile bu kayaçların yüzeyleme verdiği alanlardan laboratuvar deneylerinde kullanılmak

üzere blok örnekler derlenmiştir. Laboratuvar çalışmaları sırasında örneklerin jeokimyasal ve petrografik analizleri yapılmıştır. Ayrıca, blok örneklerden hazırlanan prizmatik örneklerin birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, hacimce su emme, porozite, doluluk oranı ve serbest basınç dayanımları belirlenmiştir. Blok örneklerden kırıcı yardımıyla elde edilen agrega örneklerinde ise alkali agrega reaktivitesi, özgül ağırlık, su emme, don kaybı, yıkanabilir madde oranı ve Los Angeles aşınma dayanımı belirlenmiştir.

Çalışma alanı ve yakın civarını ilgilendiren çalışmaları amaçlarına göre aşağıdaki şekilde gruplandırmak mümkündür.

Ketin (1946) ve Kipman (1976, 1981) tarafından Keban metamorfikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Özkaya (1978) tarafından Maden Karmaşığı, Yazgan (1981, 1983, 1984) ve Bingöl (1982, 1984, 1988) tarafından da Elazığ Magmatitleri detaylı olarak incelenmiştir. Bingöl ve Beyarslan (1996) ise Elazığ Magmatitleri'nin kökenine ait yeni

yorumlar getirmişlerdir. Özkul (1982) Kırkgöçit Formasyonu'nun sedimantolojik özelliklerini incelemiştir. Aktaş ve Robertson (1984), Sungurlu v.d. (1985), Turan ve Bingöl (1991), Gürocak (1993) ve Kaya (1993) tarafından, inceleme alanı ve yakın dolayının tektonik gelişimi, litolojik birimlerin birbiri ile olan tektonik ilişkileri ile ilgili olarak araştırma yapmışlardır.

## **2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ**

Elazığ bölgesinde yaşları Paleozoyik'ten Kuvaterner'e kadar değişen, farklı litolojilere sahip kayaçlar yüzeylenmektedir. Bu birimler yaşlıdan gence doğru; Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfitleleri, Üst Kretase yaşlı Elazığ Magmatitleri, Maastrichtiyen yaşlı Harami Formasyonu, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı, Lütisiyen- Üst Oligosen yaşlı Kırkgöçit Formasyonu, Üst Miyosen- Alt Pliyosen yaşlı Karabakır Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır (Şekil 1).

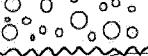



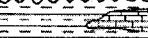
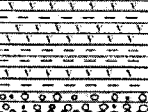

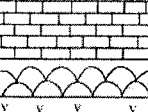
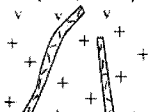
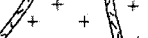
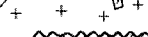



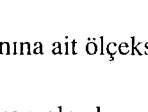
### **2.1. Keban Metamorfitleleri**

İnceleme alanının en yaşlı birimi, ilk defa Özgül (1976) tarafından adlandırılan, Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfitleleri'dir. Özellikle Elazığ'ın doğu ve kuzey kesimlerinde ve Elazığ'a bağlı Keban ilçesi civarında yüzeylenmektedir (Şekil 2). Keban Metamorfitleleri ilk defa Kipman (1976, 1981) tarafından ayrıntılı olarak incelenmiş ve metamorfitleler yaşlıdan gence doğru; mermer, rekristalize kireçtaşı-kalkışist, meta-konglomera ve kalkfillit formasyonlarına ayrılmıştır.

Kaya (2001) tarafından Keban Metamorfitleleri'nde yapılan çalışmada ise birbirleriyle stratigrafik olarak uyumlu olan birimler yaşlıdan gence doğru; Erken Permiyen yaşlı Arapgir rekristalize kireçtaşları, Geç Permiyen yaşlı Nimri formasyonu, Permo-Triyas yaşlı Keban mermeri ve Geç Triyas yaşlı Delimehmet formasyonu olarak ayırt edilmiştir. Kaya (2001), Keban mermeri üyesinin Keban ilçesi yakın çevresinde Nimri formasyonu üzerine uyumlu olarak geldiğini ve Fırat nehri'nin doğusunda yüzeyleme sunduğunu belirtmektedir. Oldukça masif, beyaz-sarımsı renklerde ve çatlaklı bir yapıya sahiptir. Üye her zaman mermer özelliği sunmamakla birlikte bazı seviyelerinde rekristalize kireçtaşı özelliğine sahiptir. Kipman (1976, 1981), rekristalize kireçtaşları içerisinde bulunduğu fosile dayanarak Keban Metamorfitleleri'ne Permo-Karbonifer, meta-konglomera-kalkfillit formasyonuna ise Triyas yaşını vermiştir. Bu çalışmada Elazığ il merkezine yakın ve çok geniş alanlarda yüzlek vermesi göz önünde tutularak Keban mermerlerinin beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

### **2.2. Elazığ Magmatitleri**

Birim ilk kez Hakkari İli Yüksekova İlçesi civarında Perinçek (1979b) tarafından tanımlanmıştır. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda (Perinçek, 1979a, 1980; Perinçek ve Özkaya, 1981; Yazgan, 1981, 1983, 1984; Bingöl, 1982, 1984, 1988) bu isim benimsenmiş ve kullanılmıştır. Ancak sonraki yıllarda

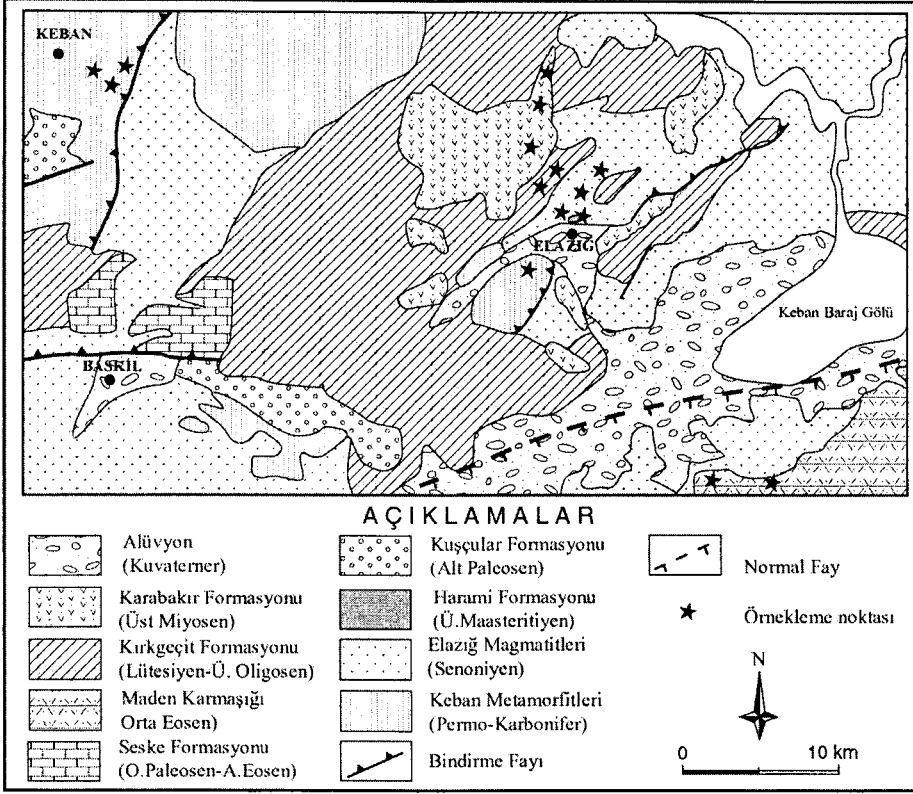
YAŞ	GRUP	FORM	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR
Kuvaterner				Alüvyon
T E R S İ Y E R	ÜST MİYOSEN ALİ PLİYOSEN	KARABAKIR		Gölsel kireçtaşları
				Bazaltik-andezitik lav akıntıları
				Kireçtaşları
	LÜTESİYEN ÜST OLIĞOSEN	KIRKGEÇİT		Kumtaşı-çamurtaşı-mam ardalanması
				Çakıltası
				Gri renkli kireçtaşları
K R E T A S E	ORTA EÖSEN	MADEN KARMAŞIĞI		Volkanik arakatlı çamurtaşı-kireçtaşı
				Çakıltası
				Kireçtaşı
	SENONİYEN	ELAZIĞ MAGMATİTLERİ		Bazaltik yastıklavlar
				Piroklastikler
				Gabro ve diyabaz daykları
P E R M O - T R İ Y A S	KEBAN METAMORFİTLERİ			Rekristalize kireçtaşları
				Fillitler Metakonglomeralar Mermerler Gözenekli ve kristalize kireçtaşları Kritalize kireçtaşları

Şekil 1. İnceleme alanına ait ölçeşiz stratigrafik dikme kesit.

Elazığ bölgesinde yapılan çalışmalarda (Bingöl ve Beyarslan, 1996; Beyarslan, 2000, 2005) Elazığ Magmatitleri olarak isimlendirilmiştir.

Elazığ çevresinde çok geniş alanlarda

yüzlek veren Elazığ Magmatitleri (Şekil 2), Keban Metamorfite ile intrüzif dokanağa sahiptir. Bazı alanlarda Harami Formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülen magmatitler, özellikle Elazığ



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası (Aksoy, 1993; Aktaş ve Robertson, 1984; Kaya, 2001 ve Turan, 1984 'den yararlanılarak hazırlanmıştır).

kuzeyindeki alanlarda Kırkgeçit Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Birim, tabanda çoğunlukla diyorit, monzodiyorit ve tonalit ile bunların üzerinde yer alan bazaltik yastık lavlar, andezitik lav akıntıları, piroklastikler ile bunlarla ardalanmalı volkanosedimenter ve tüm bu istifi kesen granodiyorit ve granitten oluşan derinlik kayaçları, dasit dayk ve domlardan oluşmaktadır. Magmatitlere ait volkanik kayaçlar özellikle Elazığ'ın kuzey ve doğusunda çok geniş alanlarda yüzeylemektedir.

Bu volkanitler, bazaltik yastık lav ve lav akıntıları, andezitik lav akıntıları ve piroklastiklerden oluşmaktadır. Bölgede yapılmış olan çalışmalarda (Bingöl ve Beyarslan, 1996; Beyarslan, 2000, 2005) Elazığ Magmatitleri'nin yaşı Senoniyen olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, Elazığ iline yakın alanlarda yer alan bazaltik lav akıntılarının beton agregası olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

### 2.3. Harami Formasyonu

Formasyon ilk defa Erdoğan (1975) tarafından Adıyaman İli Gölbaşı İlçesi

kuzeyindeki Harami köyü yakınında tanımlanmış ve Elazığ bölgesinde yapılan bütün çalışmalarda (Aksoy, 1993; Özgen vd., 1993; Aksoy vd., 1999) bu isim benimsenerek kullanılmıştır. Elazığ Magmatitleri üzerine uyumlu olarak gelen birim, Kırkgeçit Formasyonu tarafından uyumuz olarak örtülmektedir. Özellikle Harput civarında ve Elazığ güneyinde (Şekil 2) yüzeyleme sunan formasyon, tabandan tavana doğru iri-ince taneli kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Aksoy vd., (1999) tarafından bölgede yapılan çalışmada formasyondaki fosillere dayanılarak Senoniyen yaşı verilmiştir. Formasyon sınırlı alanlarda yüzeyleme sunmasına karşın, kalınlığının fazla olması ve Elazığ iline yakın alanlarda yüzeyleme sunması nedeniyle bu çalışma kapsamına alınmış ve formasyona ait kireçtaşlarının beton agregası olabilme özelliği incelenmiştir.

#### 2.4. Maden Karmaşığı

İlk defa Rigo de Righi ve Cortesini (1964) tarafından Maden birimi olarak adlandırılmıştır. Sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda, Özkaya (1972) birimi Sason-Baykan Grubu, Erdoğan (1977, 1982) Maden Grubu olarak tanımlamışlardır. Birim, Maden Karmaşığı olarak ilk defa Perinçek (1979b) tarafından tanımlanmış ve bölgede yapılan çalışmalarda (Sungurlu vd., 1985; Yazgan, 1981, 1983; Aktaş ve Robertson, 1984; Gürocağ, 1993; Kaya, 1993) bu isim tercih edilmiştir. Özellikle Elazığ'ın güney kesimlerinde ve Maden İlçesi civarında en iyi gözlenen (Şekil 2)

birim Elazığ Magmatitleri üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Vadi tabanlarında ise alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Karmaşık, tabandan tavana doğru konglomera kumtaşı, kırmızı ve yeşil renkli çamurtaşı-mamlar ile ara katkılı andezit ve bazaltlar ile en üst seviyelerinde ise devamlılığı bulunmayan gri renkli kireçtaşı litolojisi sunmaktadır. Bölgede yapılan çalışmalarda fosil bulgularına dayanılarak, karmaşığa Orta Eosen yaşı verilmiştir. Bu çalışma kapsamında, Maden Karmaşığı'na ait bazaltların beton agregası olabilirliği incelenmiştir.

#### 2.5. Kırkgeçit Formasyonu

Formasyon ilk defa Van İli kuzeyindeki Kırkgeçit köyü civarında tanımlanmış (Perinçek, 1979a) ve daha sonraki yıllarda yapılan tüm çalışmalarda (Turan, 1984; Bingöl, 1984, 1988; Aksoy ve Tatar, 1990; Turan ve Bingöl, 1991) bu isim benimsenmiş ve kullanılmıştır.

Lütesiyen – Üst Oligosen yaşlı olan formasyon, Elazığ İli ve civarında çok geniş alanlarda yüzlek sunmaktadır (Şekil 2). Formasyon, daha yaşlı birimler üzerine uyumsuz olarak gelirken, Karabakır Formasyonu ve akarsu yataklarında alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Tabandan tavana doğru konglomera, kumtaşı, silttaşı, marn ve kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Formasyonun en üst seviyelerini oluşturan kireçtaşları, kumlu ve bol Nummulitli şelf kireçtaşları özelliğindedir ve özellikle Elazığ İli kuzeybatısındaki Körpe ve Altınkuşak köyleri civarında

gözlenmektedir. Halen kaplama malzemesi olarak değerlendirilen bu kireçtaşlarının beton agregası olabilme özelliği incelenmiştir.

## **2.6. Karabakır Formasyonu**

Formasyon ilk defa Naz (1979) tarafından, Tunceli İli Pertek İlçesi Karabakır Köyü civarında tanımlanmış ve Karabakır Formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Bölgede sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda da bu isim benimsenmiş ve kullanılmıştır. Bölgede, Kırkgeçit Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelen birim, akarsu yataklarında alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Elazığ ve çevresinde çok geniş alanlarda yüzlek veren birim (Şekil 2), volkano-sedimanter özelliktedir. Kırmızı renkli çamurtaşı ara seviyeli bazaltik akıntılar ile, bazı bölgelerde devamsız özelliğe sahip gölsel kireçtaşı litolojisindedir. Bazalt akıntıları bazı bölgelerde 15-20 m kalınlığa kadar ulaşabilmektedir. Özellikle Elazığ'ın kuzeybatısındaki alanda gaz boşluklu bir özelliğe sahiptir. Ancak, daha kuzey bölgelerde, özellikle Altıncuşak Köyü civarında daha az gaz boşluğu içeren olivinli bazaltlarla temsil edilmektedir. Sirel vd. (1975) tarafından fosil bulgularına dayanılarak formasyona Üst Miyosen yaşı verilmiştir. Bu çalışma kapsamında, gaz boşluğu içermeyen bölgelerdeki bazaltik lav akıntılarının beton agregası olabilirliği incelenmiştir.

## **2.7. Alüvyonlar**

Kuvaterner yaşlı birim, bölgedeki vadi,

akarsu yatakları ve düzlük alanlarda yüzeyleme verir. Bölgede yüzeyleme veren kayaçlardan türemiş, blok, çakıl, kum, silt ve kil boyutunda, gevşek haldeki malzemelerden oluşmuştur.

## **3. KAYAÇLARIN JEOKİMYASAL, PETROGRAFİK VE MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ**

### **3.1. Birimlerin Jeokimyasal ve Petrografik Özellikleri**

İnceleme alanında yüzeyleyen ve beton agregası olabilme özelliği incelenen birimlerin jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, Kanada Acme Analytical laboratuvarlarında ICP-ES yöntemiyle Harami Formasyonu'na ait kireçtaşlarında ana oksit analizi yaptırılmıştır. Diğer birimlerin ana oksit değerleri için de, önceki yıllarda aynı yöntemle yapılmış olan jeokimyasal analiz sonuçları kullanılmıştır. Birimlere ait majör element analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Beton üretiminde kullanılan agreganın kimyasal özellikleri, betonun kalitesini ve dayanımını önemli oranda etkilemektedir. Agregalarda silis bulunması durumunda; özellikle kumda ve ince tanelerde reaktif silis bulunması halinde, çimentodan gelen alkaliler ile reaksiyona girmekte (alkali-silis reaktivitesi) ve nemin varlığında genleşen ürünler oluşabilmektedir. Ayrıca, agregaların özellikle dolomit kökenli olmaları, içerilerinde Mg bulunması da alkali karbonat reaksiyonuna sebep olabilmektedir. Yine agregaların çok ince olması yani reaksiyona girebilecek incelikte olmaları durumunda ve MgO

**Çizelge 1.** İnceleme alanındaki birimlere ait jeokimyasal analiz sonuçları.

BİRİMLER	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Toplam
Keban										
Metamorfitleri (1)	0.79	0.22	0.78	5.83	0.01	0.00	54.51	0.02	0.04	62.24
Elazığ										
Magmatitleri (2)	54.44	15.80	10.21	4.06	0.21	5.64	4.55	1.02	0.16	96.09
Harami										
Formasyonu	0.65	0.38	0.26	0.59	0.34	0.25	54.93	0.12	0.19	57.71
Maden										
Karmaşığı (3)	54.15	15.63	12.06	6.24	0.16	3.00	3.42	0.59	0.05	95.30
Kırkgeçit										
Formasyonu (4)	1.20	0.00	0.60	4.80	0.00	0.00	42.75	0.00	0.00	49.35
Karabakır										
Formasyonu (5)	47.94	17.64	9.32	4.44	1.64	5.20	8.36	2.17	0.59	97.30
(1) Altunbey (1996)										
(2) Bölücek ve Altunbey (2001)										
(3) Altunbey ve Çelik (2005)										
(4) Çetindağ and Ünsal (2004)										
(5) Kürüm vd. (2006)										

agregadan kolayca ayrışabilir durumda ise kendisi de su ile reaksiyona girerek genleşme reaksiyonları (dedolomitasyon) oluşturabilmektedir. Bu durum özellikle dolomitik kökenli veya MgO oranı yüksek kayaçların çimento üretiminde kullanılması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Agregada sülfat bulunması durumunda ise, eğer sülfat iyonları agregadan ayrışabilir halde ise; sülfat iyonları çimentodaki C3A bileşeni ile reaksiyona girerek, betonun çatlamasına yol açabilen genleşen reaksiyonlara sebep olabilmektedir (Baradan vd., 2001).

İncelenen birimlere ait kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde, Elazığ Magmatitleri, Maden Karmaşığı ve Karabakır Formasyonu'na ait kayaçların

oldukça yüksek SiO<sub>2</sub> oranına sahip olduğu görülmektedir. Ancak, yapılan petrografik incelemelerde bu kayaçların amorf silis mineralleri içermediği, alkali silis reaktivitesinin de amorf silis minerallerinden kaynaklandığı dikkate alınırsa (Baradan vd., 2001), analizlerde ortaya çıkan yüksek SiO<sub>2</sub> oranının betonda alkali silis reaktivitesine yol açmayacağını söylemek mümkündür. Nitekim, agregalarda yapılan alkali silis reaktivitesi deneyleri de bu sonucu doğrulamaktadır.

Kimyasal analizler, Harami Formasyonu hariç diğer birimlerin MgO değerlerinin %4'den büyük olduğu göstermektedir. Yüksek MgO oranı, agreganın çok ince olması ve kolayca



ayrışabilir durumda alkali karbonat reaksiyonuna (dedolomitasyon) sebep olabilmektedir. İncelenen birimlerin MgO oranları dikkate alındığında, Harami Formasyonu hariç bütün formasyonlarda alkali karbonat reaksiyonu olasılığı mevcuttur.

İncelenen birimlerin petrografik özellikleri ise TS EN 932-3 (1997)'e göre belirlenmiştir. Araziden derlenen örneklerden, incelenen her birim için 3 adet ince kesit hazırlanmış ve polarizan mikroskopta petrografik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Keban Metamorfitleri'ne ait mermerler düzenli bir dokusal özellik sunmazlar. Dokular eş-boy taneli-girift ve poligonal özelliktedir. Esas olarak kalsit kristallerinden oluşan mermerlerde, kalsit kristalleri deformasyon ikizli olup, statik rekristalizasyon dan dolayı poligonal bir şekilde gelişmişlerdir.

Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltlar petrografik olarak, mikroporfirik ve intergranüler doku göstermektedir ve esas olarak plajiyoklas ve piroksen minerallerinden oluşmaktadır. Kuvars, kalsit, klorit ve epidot ikincil mineraller olarak bulunmaktadır. Opak mineraller ise tali bileşen olarak gözlenebilmektedir.

Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları esas olarak fosil parçaları (intraklast) ile %70'den fazla orana sahip olan ve intraklastları bağlayan spart çimentodan oluşmaktadır. Folk (1962) sınıflamasına göre intrabiyospartit olarak sınıflandırılmıştır.

Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar, esas olarak öz ve yarı öz şekilli plajiyoklas

fenokristalleri ile ayrışmamış piroksenlerden oluşmaktadır. Genel olarak vitroporfirik ve amigloidal doku gösterirler. Amigdaler klorit, kalsit ve zeolit gibi ikincil mineraller tarafından doldurulmuştur.

Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları, esas olarak Nummulites fosilleri ve ekstraklastlar ile bunları bağlayan karbonat çamurundan oluşmaktadır. Folk (1962) sınıflamasına göre ekstrabiyomikrittir.

Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlar, plajiyoklas, olivin ve daha az olarak da piroksen ve opak minerallerden oluşmuştur. Genel olarak pilotaksitik doku görülmekle beraber, veziküler ve amigloidal dokular da görülebilmektedir. Plajiyoklas mineralleri çoğunlukla yarı özşekilli ve fenokraitaller halinde, olivin mineralleri ise öz şekilsiz ve yarı öz şekillidir. İkincil mineral olarak kalsit ve zeolit gözlenmektedir.

### **3.2. Birimlerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri**

İnceleme kapsamındaki birimlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, araziden alınan blok örneklerden 18 adet 7x7x7 cm boyutlu prizmatik örnekler hazırlanmış ve TS 699 (1987) standardı esas alınarak, kuru ve doygun birim hacim ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme, porozite ve serbest basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar (Çizelge 2) birim hacim ağırlık - serbest basınç dayanımı, ağırlıkça su emme - serbest basınç dayanımı, hacimce su

**Çizelge 2.** İnceleme alanından alınan örneklerle ait fiziksel ve mekanik özellikler.

Birimler	Örnek sayısı	Birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Ağırlıkça su emme (%)	Hacimce su emme (%)	Porozite (%)	Doluluk oranı (%)	Serbest basınç dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> )
Keban Metamorfitleleri	18	2.53-2.68 2.55*	0.59-0.75 0.71*	1.73-1.97 1.91*	3.55-4.08 3.95*	94.05-94.37 94.10*	503.06-1021.61 738.64*
Elazığ Magmatitleri	18	2.64-2.74 2.68*	0.26-0.32 0.30*	0.68-0.92 0.82*	1.86-3.20 2.87*	94.96-96.14 95.04*	871.79-1619.15 1172.39*
Harami Formasyonu	18	2.54-2.72 2.60*	0.31-0.40 0.34*	0.88-1.24 0.92*	3.82-4.17 4.03*	93.73-94.22 94.20*	841.42-1119.36 1007.47*
Maden Karmaşığı	18	2.63-2.79 2.75*	0.24-0.34 0.28*	0.66-1.01 0.79*	1.24-1.669 1.09*	6.34-96.88 96.83*	872.71-1518.00 1287.96*
Kırkgeçit Formasyonu	18	2.29-2.43 2.37*	1.54-1.86 1.70*	3.47-4.50 4.25*	8.94-12.03 9.84*	86.09-89.34 88.43*	383.60-728.99 554.06*
Karabakır Formasyonu	18	2.69-2.80 2.76*	0.24-0.46 0.27*	0.55-0.81 0.76*	0.81-1.20 0.92*	96.76-97.22 97.18*	1329.78-1731.00 1592.63*

emme - serbest basınç dayanımı ve porozite - serbest basınç dayanımı arasındaki ilişkiler grafiksel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 3).

TS 699 (1987) standardına uygun olarak gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir. Birimlerden derlenen örneklerde gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlar incelendiğinde, Keban Metamorfitleleri'ne ait rekristalize kireçtaşları ve Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltlar, Moos ve Quervaini (1948) tarafından önerilen porozite sınıflamasına göre "Çok Kompakt Kaya", Harami Formasyonu'na ait

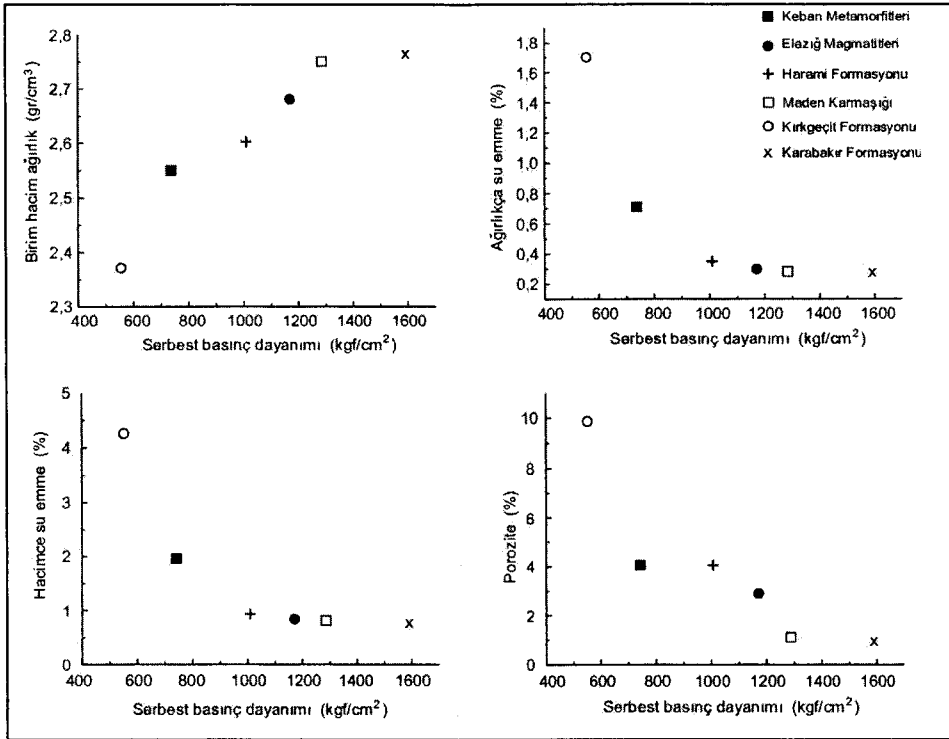
kireçtaşları, Maden Karmaşığı'na ve Karabakır Formasyonu'na ait bazaltların "Az Boşluklu Kaya", Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşlarının ise "Orta Boşluklu Kaya" sınıfında yer aldıkları görülmektedir.

Deer ve Miller (1966) tarafından önerilen ve serbest basınç dayanımını esas alan sınıflamaya göre, beton agregası olabilme özelliği incelenen birimlerden Elazığ Magmatitleri, Harami Formasyonu Maden Karmaşığı ve Karabakır Formasyonu "Yüksek Dayanımlı Kaya", Keban metamorfitleleri ile Kırkgeçit Formasyonu ise "Orta Dayanımlı Kaya"

sınıfında yer almaktadırlar.

Birimlerin fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde, serbest basınç dayanımı değerinin artmasıyla birim hacim ağırlık değerlerinin arttığı, ancak ağırlıkça ve hacimce su emme ile porozitenin ise azaldığı görülmektedir (Şekil 3).

emme değeri minimum %1.73 maksimum %1.97 ve ortalama %1.91, porozite değeri minimum %3.55, maksimum %4.08 ve ortalama %3.95, serbest basınç dayanımı değeri ise minimum 503.06 kgf/cm<sup>2</sup>, maksimum 1021.61 kgf/cm<sup>2</sup> ve ortalama 738.64 kgf/cm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Birimin porozite değerlerindeki artış ve



Şekil 3. Kayaçların serbest basınç dayanımı ile fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler

Keban Metamorfikleri'ne ait mermerlerin fiziko-mekanik özellikleri incelendiğinde, birim hacim ağırlığı minimum 2.53 gr/cm<sup>3</sup> ve maksimum 2.68 gr/cm<sup>3</sup> olup ortalama birim hacim ağırlık değeri 2.55 gr/cm<sup>3</sup>, ağırlıkça su emme değeri minimum %0.59 maksimum %0.75 ve ortalama %0.71, hacimce su

buna bağlı olarak serbest basınç dayanımı değerinin azalması, kayacın içerdiği mikro çatlaklardan kaynaklanmaktadır.

Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltların birim hacim ağırlığı değeri minimum 2.64 gr/cm<sup>3</sup> ve maksimum 2.74 gr/cm<sup>3</sup> olup ortalama birim hacim ağırlık değeri 2.68 gr/cm<sup>3</sup>, ağırlıkça su emme değeri

minimum %0.26 maksimum %0.32 ve ortalama %0.30, hacimce su emme değeri minimum %0.68 maksimum %0.92 ve ortalama %0.82, porozite değeri minimum %1.86, maksimum %3.20 ve ortalama %2.87, serbest basınç dayanımı değeri ise minimum 871.79 kgf/cm<sup>2</sup>, maksimum 1619.15 kgf/cm<sup>2</sup> ve ortalama 1172.39 kgf/cm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.

Harami Formasyonu'na ait kireçtaşlarının birim hacim ağırlığı değeri minimum 2.54 gr/cm<sup>3</sup> ve maksimum 2.72 gr/cm<sup>3</sup> olup ortalama birim hacim ağırlık değeri 2.60 gr/cm<sup>3</sup>, ağırlıkça su emme değeri minimum %0.31 maksimum %0.40 ve ortalama %0.34, hacimce su emme minimum %0.88 maksimum %1.24 ve ortalama %0.92, porozite değeri minimum %3.82, maksimum %4.17 ve ortalama %4.03, serbest basınç dayanımı değeri ise minimum 841.42 kgf/cm<sup>2</sup>, maksimum 1119.15 kgf/cm<sup>2</sup> ve ortalama 1007.47 kgf/cm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Birimin fosil içermesi, kayacın porozite değerinin ve buna bağlı olarak ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerinin artmasına, buna bağlı olarak da serbest basınç dayanımı değerinin azalmasına neden olmuştur.

Beton agregası olarak kullanılabilirliği incelenen birimlerden Maden Karmaşığı'na ait bazaltların birim hacim ağırlık değeri minimum 2.63 gr/cm<sup>3</sup>, maksimum 2.79 gr/cm<sup>3</sup> ortalama değer ise 2.75 gr/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Bu bazaltların ağırlıkça su emme değeri minimum %0.24 maksimum %0.34 ve ortalama %0.28, hacimce su emme değeri minimum %0.66 maksimum %1.01 ve ortalama %0.79, porozite değeri minimum

%1.24, maksimum %1.66 ve ortalama %1.09, serbest basınç dayanımı değeri ise minimum 872.71 kgf/cm<sup>2</sup>, maksimum 1518.00 kgf/cm<sup>2</sup> ve ortalama 1287.96 kgf/cm<sup>2</sup> dir.

Kırkgeçit Formasyonu'na ait kayaçların fiziko-mekanik özellikleri incelendiğinde, bu kireçtaşlarının birim hacim ağırlığı değerlerinin minimum 2.29 gr/cm<sup>3</sup> maksimum 2.43 gr/cm<sup>3</sup> ortalama 2.37 gr/cm<sup>3</sup> olduğu, ağırlıkça su emme değerlerinin minimum %1.54, maksimum %1.86, ortalama %1.70, hacimce su emme değerinin minimum %3.47, maksimum %4.50, ortalama %4.25, porozite değerinin minimum % 8.94, maksimum %12.03, ortalama % 9.84, serbest basınç dayanımı değerinin ise minimum 383.60 kgf/cm<sup>2</sup>, maksimum 728.99 kgf/cm<sup>2</sup> ve ortalama 554.06 kgf/cm<sup>2</sup> olduğu görülmektedir. Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları farklı tane boyutlu ekstraklastlar içermekte olup, bol fosillidir. Fosil içeriği ve boşluklu yapısı serbest basınç dayanımının azalmasına, diğer fiziksel özelliklerin ise olumsuz şekilde artmasına neden olmaktadır.

Elazığ bölgesinde oldukça geniş alanlarda yüzeyleme veren ve baskın olarak bazaltik kayaçlarla temsil edilen Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlar, bölgenin en genç birimi olması nedeniyle tektonizmadan oldukça az etkilenmişlerdir. Bu nedenle birime ait bazaltlarda tektonizmadan kaynaklanan eklem ve çatlaklar yok denecek kadar azdır ve masif bir özelliğe sahiptir. Ayrıca, gaz boşluğu içermeyen seviyelerde boşluksuz olmaları nedeniyle oldukça

düşük porozite, ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri ile oldukça yüksek serbest basınç dayanımı değerine sahiptir. Bazaltların birim hacim ağırlığı minimum  $2.69 \text{ gr/cm}^3$ , maksimum  $2.80 \text{ gr/cm}^3$ , ortalama  $2.76 \text{ gr/cm}^3$ , ağırlıkça su emme değeri minimum %0.24, maksimum %0.46, ortalama %0.27, hacimce su emme değeri minimum %0.55, maksimum %0.81, ortalama %0.76, porozite değeri minimum %0.81, maksimum %1.20, ortalama %0.92, serbest basınç dayanımı değeri ise minimum  $1329.78 \text{ kgf/cm}^2$ , maksimum  $1731.00 \text{ kgf/cm}^2$  ve ortalama  $1592.63 \text{ kgf/cm}^2$  olarak belirlenmiştir.

#### **4. AGREGALARIN KİMYASAL, FİZİKSEL ve MEKANİK ÖZELLİKLERİ**

Bu çalışma kapsamında, beton agregası olarak kullanılabilirliği incelenen birimlerden çeneli kırıcı yardımıyla hazırlanan agrega örneklerinde TS 706 EN 12620 (2003) standardına göre laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Agregaların alkali silis reaktivitesi TS 2517 (1977) standardına, magnezyum sülfat ( $\text{MgSO}_4$ ) çözeltisindeki don kaybı TS EN 1367-2 (1999) standardına, mineral dolgu malzemesinin miktarı TS 3527 (1980) standardına, kuru yoğunluk, tane yüzeyi kuru doymuş yoğunluk, su emme TS EN 1097-6 (2002) standardına, darbe dayanımı TS EN 1097-2 (2000) ve Los Angeles aşınma dayanımı TS EN 1097-2 (2000) standardına göre gerçekleştirilmiştir.

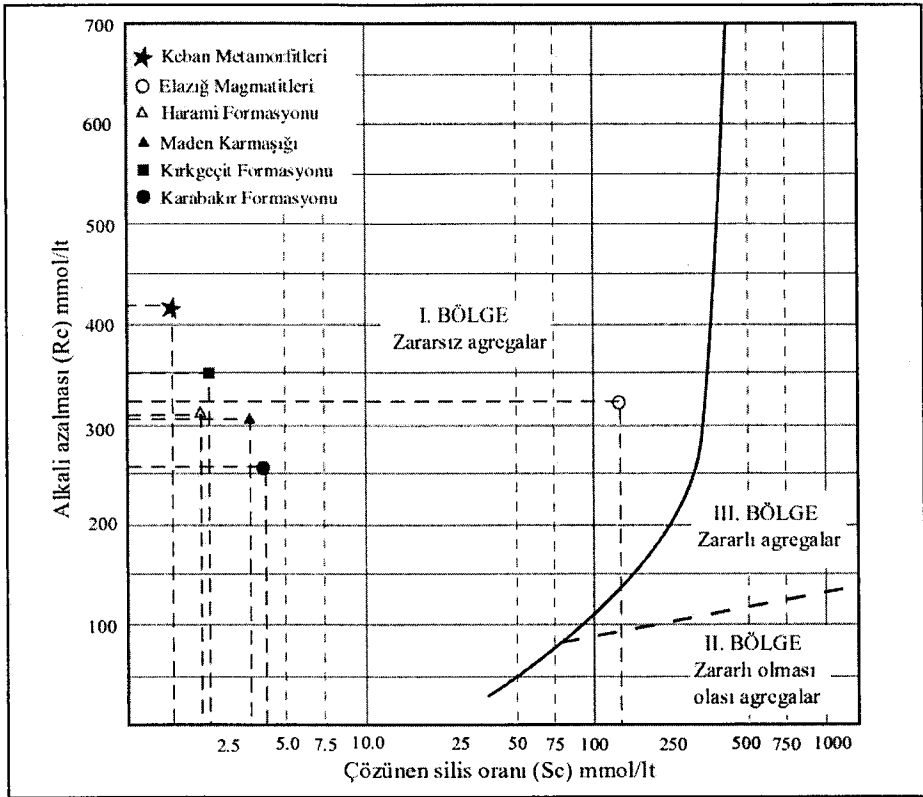
Agregalarda alkali silis reaktivitesi deneyine ait sonuçların değerlendirildiği

grafik Şekil 4'de, diğer deneylere ait sonuçlar ise Çizelge 3'de verilmiştir.

Keban Metamorfitleti'ne ait mermerlerden elde edilen agrega örneklerine ait deney sonuçları incelendiğinde, mermerlerde  $\text{MgSO}_4$  çözeltisindeki don kaybı, yıkanabilen ince madde oranı ve Los Angeles aşınma katsayısı (LA) değerlerinin standartlarda verilen sınır değerleri aştığı görülmektedir. Bu durum, mermerlerin iri taneli olması ve oldukça yoğun bir tektonizma sonucu birimde gelişmiş olan mikro çatlaklardan kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltların  $\text{MgSO}_4$  çözeltisindeki don kaybı değeri de limit değerlerin üzerinde olup, bu değer in fazla olmasının nedeni bölgede etkin olmuş olan aktif tektonizma ürünü mikro çatlaklardır.

Harami Formasyonu'na ait deney sonuçlarına göre, bu kireçtaşlarının Los Angeles aşınma katsayısı değeri LA35 tir ve TS EN 1097-2 standardına göre agrega olarak kullanılacak kayaçlarda bu değerin en fazla LA30 olması gerekmektedir. Harami Formasyonu'nun Los Angeles katsayısının yüksekliği, bu kireçtaşlarını oluşturan kalsit minerallerinin iri boyutlu olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek poroziteye sahip olması ve kum içermesi nedeniyle Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşlarının da kumlu ve boşluklu olması nedeniyle Los Angeles katsayısı değeri limit sınırın üzerinde çıkmıştır.

İncelenen birimlerde gerçekleştirilen alkali silis reaktivitesi deneyi sonuçlarının grafiksel olarak değerlendirilmesi sonucunda, tüm birimlerin zararsız agrega sınıfında gruplandıkları belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Birimlere ait agregaların alkali silis azalması (Rc) – çözülmüş silis oranı (Sc) diyagramı.

## 5. BİRİMLERİN AGREGA OLABİLME AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kayaçların beton agregası olarak kullanılabilirliği, kayaçlardan kırma işlemi sonucunda elde edilen agreganın TSE standartlarında öngörülen sınır şartlarına uygun olmasına bağlıdır. Bu nedenle, kayaçlardan elde edilen agregalarda TSE standartlarında belirtilen deneylerin gerçekleştirilmesi ve elde edilen deney sonuçlarının, standartlarda verilen sınır değerlerle karşılaştırılması gerekmektedir.

Çizelge 3’de verilen deney sonuçlarının

TSE standartları sınır değerlerine göre uygunluğu incelendiğinde, Maden Karmaşığı ve Karabakır Formasyonu’na ait bazaltların tüm özelliklerinin agrega olabilmeye uygun olduğu görülmektedir (Çizelge 4). Keban Metamorfileri’nin doygun özgül ağırlık, Los Angeles katsayısı, magnezyum sülfat çözeltisindeki don kaybı değerleri ve yıkanabilir madde oranı değerleri, Elazığ Magmatitleri’nin magnezyum sülfat çözeltisinde don kaybı ve doygun özgül ağırlık değerleri, Harami Formasyonu ve Kırkgeçit Formasyonu’nun ise doygun özgül ağırlık

**Çizelge 3.** Agreg a örneklerinin MgSO<sub>4</sub> çözeltisinde don kaybı, kuru, yüzey kuru doygun ve görünür özgül ağırlık, su emme, yıkanabilen ince madde oranı ve Los Angeles katsayısı değ erleri.

Birim	Örnek sayısı	MgSO <sub>4</sub> çözeltisinde don kaybı (%)	Kuru Özgül Ağırlık	Doygun Özgül Ağırlık (yüzey kuru)	Görünür Özgül Ağırlık	Su emme (%)	Yıkanabilen ince madde oranı (%)	Los Angeles katsayısı (LA)
Keban Metamorfitle ri	9	17.44-24.10	2.44-2.60 20.50*	2.47-2.61 2.52*	2.51-2.65 2.54*	0.74-1.51 2.58*	0.88-1.21 1.12*	LA40 1.046*
Elazığ Magmatitleri	9	13.90-23.98	2.46-2.58 18.77*	2.49-2.60 2.52*	2.53-2.69 2.54*	0.97-1.24 2.59*	0.039-0.044 1.09*	LA20 0.042*
Harami Formasyonu	9	6.14-8.82	2.26-2.55 7.62*	2.30-2.56 2.43*	2.28-2.61 2.45*	0.68-0.99 2.47*	0.025-0.054 0.81*	LA35 0.039*
Maden Karmaşı ğı	9	5.06-7.94	2.54-2.59 6.65*	2.48-2.59 2.56*	2.55-2.66 2.57*	0.28-0.81 2.59*	0.011-0.052 0.50*	LA15 0.024*
Kırkgeçit Formasyonu	9	9.80-15.00	2.27-2.36 12.04*	2.28-2.40 2.30*	2.37-2.44 2.34*	1.21-2.14 2.40*	0.016-0.14 1.75*	LA50 0.048*
Karabakır Formasyonu	9	4.23-5.14	2.50-2.62 4.80*	2.50-2.65 2.56*	2.57-2.73 2.57*	1.05-1.45 2.64*	0.008-0.023 1.26*	LA25 0.012*
* Ortalama değ er								

ve Los Angeles katsayısı değ erleri TSE standartlarında verilen limit değ erlere uygun değ ildir ve bu kayaçların agrega olarak kullanılması sakıncalıdır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Elazığ ili ve yakın çevresinde yüzeyleme veren Keban Metamorfitle ri'ne ait rekristalize kireçtaşları, Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltlar, Harami Formasyonu'na ait

kireçtaşları, Maden Karmaşı ğı'na ait bazaltlar, Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları ile Karabakır Formasyonu'na ait bazaltların beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmış tır. Bu amaçla arazi çalışmaları sırasında derlenen kayaç örneklerinin TSE standartlarına göre jeokimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve birimlerin beton agregası olabilme özellikleri ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmalardan elde

**Çizelge 4.** Deney sonuçlarına göre iri agrega örneklerinin TSE standartları sınır değerlerine uygunluğu.

Deneyler	TSE ve sınır değerleri	Keban Metamorfileri	Elazığ Magmatitleri	Birim			
				Harami Formasyonu	Maden Karmaşığı	Kırkgeçit Formasyonu	Karabakır Formasyonu
Alkali silis reaktivitesi	TS 2517	Zararsız agrega	Zararsız agrega	Zararsız agrega	Zararsız agrega	Zararsız agrega	Zararsız agrega
Magnezyum sülfat çözeltisinde don kaybı, MS (%)	TS EN 1367-2 $\leq$ %18	20.50	18.77	7.62	6.65	12.04	4.80
Doygun özgül ağırlık (yüzey kuru), r <sub>ssd</sub>	TS EN 1097-6 $>$ 2.55	2.54	2.54	2.45	2.57	2.34	2.57
Su emme, WA24 (%)	TS EN 1097-6 $<$ %3	1.12	1.09	0.81	0.50	1.75	1.26
Yıkabilir madde oranı, m <sub>y</sub> (%)	TS 3527 $<$ %05	1.046	0.042	0.039	0.024	0.048	0.012
Los Angeles aşınma dayanımı (LA)	TS EN 1097-2 LA30 ( $\leq$ %30)	LA40	LA20	LA35	LA15	LA50	LA25

edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Keban Metamorfilerine ait rekristalize kireçtaşları ve Elazığ

Magmatitleri'ne ait bazaltlar, Moos ve Quervaini (1948) tarafından önerilen porozite sınıflamasına göre "Çok Kompakt Kaya", Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları, Maden Karmaşığı'na ve



Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlar "Az Boşluklu Kaya", Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşlarının ise "Orta Boşluklu Kaya" sınıfında yer almaktadır.

2. Deer ve Miller (1966) tarafından önerilen ve serbest basınç dayanımını esas alan sınıflamaya göre, Elazığ Magmatitleri, Harami Formasyonu Maden Karmaşığı ve Karabakır Formasyonu "Yüksek Dayanımlı Kaya", Keban metamorfite ile Kırkgeçit Formasyonu ise "Orta Dayanımlı Kaya" sınıfındadır.

3. Keban Metamorfite'ne ait mermerlerde gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlara göre, mermerlerin serbest basınç dayanımları ve doymuş özgül ağırlık değerleri düşük, magnezyum sülfat çözeltisinde don kaybı, yıkanabilir madde oranı ve Los Angeles aşınma katsayısı değerleri de TSE standartlarında verilen limit değerlerin üzerindedir. Mermerlerin iri kristalli olması ile birlikte mikro çatlaklar içeriyor olması, serbest basınç dayanımında azalmaya, magnezyum sülfat çözeltisinde don kaybının, yıkanabilir madde oranının ve Los Angeles aşınma katsayısının artmasına neden olmaktadır. Bu sonuçlar dikkate alındığında, Keban Metamorfite'ne ait mermerlerin beton agregası olarak kullanılması sakıncalıdır.

4. Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltlara ait deney sonuçları magnezyum sülfat çözeltisinde don kaybı ve doymuş özgül ağırlık hariç, diğer bütün sonuçların TSE standartlarında verilen limit değerlere uygun olduğunu göstermektedir. Bazaltlarda magnezyum sülfat çözeltisinde don kaybı değerinin yüksek olmasının

nedeni, birimin oldukça yoğun bir tektonizmaya maruz kalmış olması ve bu tektonizma sonucunda kayada gelişmiş olan mikro çatlaklardır. Bu sonuçlar dikkate alındığında, birim beton üretiminde agrega olarak kullanılmamalıdır.

5. Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları ortalama 1007.47 kgf/cm<sup>2</sup> lik serbest basınç dayanımı ile yüksek dayanımlı kaya sınıfındadır. Birim, alkali agrega reaktivitesi açısından zararsız agrega sınıfında, magnezyum sülfat çözeltisindeki don kaybı, su emme ve yıkanabilir madde oranı TSE standartlarında verilen limit değerlere uygun olmasına karşın, doymuş özgül ağırlık değeri ile Los Angeles katsayısı limit değerlere uygun değildir. Kireçtaşlarını oluşturan kalsit minerallerinin iri boyutlu olması ve birimin fosil içermesi, Los Angeles aşınma direncini olumsuz olarak etkilemektedir ve birimden elde edilecek agreganın beton üretiminde kullanılması uygun değildir.

6. Maden Karmaşığı'na ait bazaltlardan elde edilen agrega örneklerinde gerçekleştirilen deney sonuçları, bu bazaltların tüm özelliklerinin beton agregası olarak kullanılabilmeye uygun olduğunu göstermektedir. Ancak, Maden Karmaşığı volkano-sedimanter özelliktedir ve homojen bir litolojiye sahip değildir. Özellikle bazalt ve andezit gibi yüzey kayaçları çamurtaşı ve kireçtaşları ile ardalanma sunmaktadır. Birimden beton agregası elde etmek için malzeme alınması sırasında, alınacak malzemenin mümkün olduğu kadar sadece bazaltların

yüzeylediği alanlardan alınması ve ara seviyeler halindeki çamurtaşlarının alınacak malzemeye karışmamasına özen gösterilmesi gereklidir. Özellikle, Maden İlçesi kuzeybatısında yüzeyleme veren ve sütun bazalt karakterindeki bazaltlar tercih edilmeli, diğer alanlarda yüzeyleme veren ve volkano-sedimanterlerle ardalanma sunan bazaltlardan kesinlikle malzeme alınmamalıdır. Ayrıca, birime ait bazaltların MgO oranının yüksek olması nedeniyle, alkali-karbonat reaksiyonunun oluşmasına engel olmak için beton üretiminde çok ince taneli agreganın kullanılmasından kaçınılmalıdır.

7. Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşlarının ortalama serbest basınç dayanımı  $554.06 \text{ kgf/cm}^2$  olarak belirlenmiştir ve orta dayanımlı kaya sınıfındadır. Birim, farklı tane boyutlu ekstraklastlar içermekte olup, bol fosillidir. Fosil içeriği ve boşluklu yapısı serbest basınç dayanımının ve Los Angeles aşınma katsayısı değerinin azalmasına neden olmaktadır. Birimin Los Angeles aşınma katsayısı LA50 dir ve standartlarda verilen limit değerlerin oldukça altında bir aşınma direncine sahiptir. Bu olumsuz özellikler dikkate alındığında, Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları kesinlikle beton agregası olarak kullanılmamalıdır.

8. Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlara ait laboratuvar deney sonuçları, birimin beton agregası olarak kullanılmasında herhangi bir sakınca olmadığını göstermektedir. Nitekim, Elazığ İl merkezine yakın ve geniş alanlarda yüzlek vermesi ve tüm

özelliklerinin beton agregası olarak kullanılmaya uygun olması nedeniyle, birime ait bazaltlar beton üretiminde çok yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, bu bazaltlar bütün sahada benzer özellikler sunmamaktadır. Elazığ ili yakın kuzeybatısındaki alanlarda, özellikle Şahinkaya ve Körpe köyleri civarındaki bazaltlar, oldukça fazla oranda ikincil mineraller tarafından doldurulmuş gaz boşluğu içermektedir. Bazaltların içerdiği ve ikincil mineraller tarafından doldurulmuş olan bu gaz boşlukları, özellikle özgül ağırlığı, su emme oranı, serbest basınç dayanımı ve Los Angeles aşınma dayanımı değerlerini olumsuz yönde etkilemekte ve TSE standartlarında verilmiş olan sınır değerlerine uygunluğunu ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca, formasyonun aynı alanlarda kilaşı ara seviyeleri içermesi de birimden yeterli kaliteye sahip agrega elde edilmesini engellemektedir. Bu durumlar dikkate alındığında, beton üretiminde kullanılacak olan agreganın gaz boşluğu içermeyen yüzeylemelerden elde edilmesi önem taşımaktadır. Özellikle Altunkuşak Köyü civarında 15 m kalınlığa ulaşabilen lav akıntıları şeklindeki bazaltların tercih edilmesi, üretilecek betonun kalitesi açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, birime ait bazaltların MgO oranının yüksek olması nedeniyle, alkali-karbonat reaksiyonunun oluşmasına engel olmak için beton üretiminde çok ince taneli agreganın kullanılmasından kaçınılmalıdır.

9. TSE standartlarına göre beton üretimi sırasında kullanılacak olan agreganın kübik şekilli olması

gerekmektedir. Bu nedenle, agreganın üretimi sırasında yassı tanelerin oluşumunu engellemek için mutlaka darbeli tipte çeneli kırıcıların kullanılması gerekmektedir. Böylece, üretim sırasında beton agregası için uygun olmayan tane şekline sahip üretim kayıpları da önlenmiş olacaktır.

10. Beton agregası olarak kullanılabilme açısından uygunluk gösteren Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar, Elazığ'ın Maden ilçesine yakın bölgelerde yüzeyleme sunmaktadır. Ulaşım açısından oldukça avantajlı bir bölgede bulunan bazaltlardan agreganın üretimi için yapılacak işletme çalışmalarının yeraltı suyu açısından herhangi bir etkisinin olacağı düşünülmemektedir. Çünkü, birim yeraltı suyu açısından çok fakir olduğu gibi, çok az miktarda yeraltı suyunun mevcut olduğu bölgelerde, bu yeraltı suyundan sulama veya kullanma amaçlı olarak faydalanan herhangi bir yerleşim birimi de bulunmamaktadır. Ancak, işletme sırasında bazaltlarla ara katkılı olan ve agreganın kullanılması özelliğine sahip olmayan çamurtaşlarının çevre kirliliğine olan etkisini azaltmak için, bu çamurtaşlarının belirlenecek uygun depolama alanlarında biriktirilmesi uygun olacaktır.

11. Karabakır Formasyonu'na ait bazaltların agreganın olarak işletilmesi sırasında da yeraltı suyu açısından herhangi bir olumsuz etki söz konusu olmayacaktır. Çünkü, Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlar, gaz boşluğu içermeyen oldukça düşük poroziteye sahip

bazaltlar ve gaz boşluklu bazaltlar olmak üzere iki tiptedir. Agreganın olarak kullanılmaya uygun olan bazaltlar gaz boşluğu içermeyen bazaltlardır ve bu bazaltların yüzlek verdiği alanlarda yeraltı suyu çok sınırlıdır ve kullanılabilecek bir miktara sahip değildir. Ancak, bu bazaltların işletilmesi sırasında da üretim artıklarının çevre kirliliğine olumsuz etki yapmasını engellemek için, bu üretim artıklarının önceden belirlenecek olan depolama alanlarında biriktirilmesi çevre kirliliğini önlemek açısından önem taşımaktadır.

## 7. KAYNAKLAR

Aksoy, E., 1993; *Elazığ batı ve güneyinin genel jeolojik özellikleri, Türk Yerbilimler Dergisi, 1 (1), 113-123.*

Aksoy, E. ve Tatar, Y., 1990; *Van ili doğu-kuzeydoğu yöresinin stratigrafisi ve tektoniği, TÜBİTAK Doğa Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi, 14, 628-644.*

Aksoy, E., Türkmen, İ., Turan, M. ve Meriç, E., 1999; *Harami Formasyonu'nun (Üst Kampaniyen-Maastrichtiyen) stratigrafik konumu ve çökeltme ortamıyla ilgili yeni bulgular, Elazığ güneyi, TPJD Bülteni, 11/1, 1-15.*

Aktaş, E. and Robertson, A. H. F., 1984; *The Maden Complex SE Turkey; evolution of the neotethyan active margin; Dixon, J. E. And Robertson, A.H. F., eds., The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean London, 375-402.*

Altunbey, M., 1996; *Tuzbaşı - Kanatburun - Ayazpınar (Pertek/Tunceli) yöresindeki demir cevherleşmelerinin jeolojisi ve kökeni. Fırat Üniversitesi Fen*

Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 156s.

Altunbey, M. ve Çelik, S., 2005; Anayatak (Maden – Elazığ) bakır cevherleşmesinin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri, *Geosound/ Yerbilimleri Dergisi*, 47, 63-90.

Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., 2001; *Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)*, DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın No:298 ISBN:975-442-289-1, İzmir.

Beyarslan, M., 2000; Serince-Harpüt (Elazığ) çevresindeki granitik kayalar ve kökeni, *Geosound*, 37, 105-117.

Beyarslan, M., 2005; *The Upper Cretaceous ophiolites and magmatic arc rocks in the Eastern Taurus, Turkey*, *Geological Society of India*. 66, 3 23-333.

Bingöl A.F., 1982; *Elazığ-Pertek-Kovancılar arası volkanik kayaların petrografik ve petrolojik incelenmesi.*, *F.Ü.Fen Fak. Dersigisi*, 1, 9-21. a.

Bingöl A.F., 1984; *Geology of the Elazığ area in the Eastern Taurus Region.*, *Proceed. of the Geology of the Taurus Belt*, MTA, Ankara, 209-216.

Bingöl A.F., 1988; *Petrographical and petrological features of intrusive rocks of Yüksekova Complex in the Elazığ region (Eastern Taurus, Turkey).*, *J. Fırat Univ.Sci. and Tech.*, 3/2, 1-17.

Bingöl, A.F. ve Beyarslan, M., 1996; *Elazığ magmatitleri'nin jeokimyası ve petrolojisi*, *KTÜ 30.Yıl Sempozyumu Bildiri Metinleri*, 1, 208-224.

Bölücek, C. ve Altunbey, M., 2001; *Oymaağaç (Elazığ) Yöresinde Elazığ Magmatitleri'nin petrografik-petrolojik ve metalojenik özellikleri*, *Geosound/*

*Yerbilimleri Dergisi*, 39, 39-54.

Çetindağ, B., and Unsal, N., 2004; *Hydrogeochemistry and groundwater flow path in unconfined aquifer in Hankendi Plain, Elazığ, Turkey*, *Journal Geol Soc India*, 63(2), 191-203.

Deere, D.U. and Miller, R.P., 1966; *Engineering classification and index properties for intact rock*. Air Force Weapons Lab. Tech. Report, Volume I and II, Leonard Hill, London, 270p.

Erdoğan, T., 1975; *Gölbaşı yöresinin jeolojisi*, TPAO Raporu Arşiv no:229, 18s.

Erdoğan, B., 1977; *Geology geochemistry and genesis of the sulphide deposits of the Ergani – Maden region SE Turkey.*, Ph. D. Thesis, Univ. New Brunswick.

Erdoğan, B., 1982; *Ergani – Maden yöresindeki Güneydoğu Anadolu Ofiyolit Kuşağının jeolojisi ve volkanik kayaları*, *TJK Bült.*, v. 25, pp. 49-60.

Folk, R., 1962; *Spectral subdivision of limestone types* In: W.G. Ham (ed.), *Classification of Carbonate Rocks*, American Association Petroleum Geologist Memoir, 1, 62-64.

Gürocağ, Z., 1993; *Sivrice (Elazığ) çevresinin jeolojisi*, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 65s.

Kaya, A., 1993; *Gezin-Maden (Elazığ) çevresinde jeolojik araştırmalar*, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 72s.

Kaya, A., 2001; *Keban (Elazığ) civarındaki metamorfitleerin yapısal analizi ve tektonik evrimi*, Doktora tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 133s.

Ketin, İ., 1946; *Elazığ-Palu ve Pertek*

yörelerinin jeolojik etüdüne ait rapor. MTA Enst. Der. Rap. No: 1708.

Kipman, E., 1976; Keban'ın jeolojisi ve volkanitlerinin petrolojisi, Doçentlik Tezi İstanbul Üniversitesi (yayınlanmamış).

Kipman, E., 1981; Keban'ın jeolojisi ve keban şaryajı, İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi, 1, 1-2, 75-81.

Kürüm, S., Akgül, B. and Erdem, E., 2006; Examples of Neogene volcanism in Eastern Turkey: comparative petrographic, geochemical and petrologic features of Malatya-Elazığ-Tunceli volcanics, J. Geological Society Of India, Vol.68, pp. 129-136.

Moos, A.V. and Querwaini, F., 1948; Technische gesteinkunde.S. 8-11, 52-53, Basel, Birkhauser.

Naz, H., 1979; Elazığ – Palu dolayının jeolojisi. TPAO Rapor No.1360.

Özgen, N., İnan, N. ve Akyazı, M., 1993; Harabekayış Formasyonu'nun (Elazığ) tanımlanması, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 8, 135-147.

Özgül, N., 1976; Toroslar' ın bazı temel jeoloji özellikleri. TJK Bült., 19, 65 - 78.

Özkaya, İ., 1972; The mio-eugeosynchinal thrust interface and releated petrolum impications inthe Sason-Baykan area, Southeast Turkey, Univ. Missouri at Rolla, Doktora Tezi, 157s.

Özkaya, İ., 1978, Ergani-Maden yöresinin stratigrafisi:TJK Bült., 2, 120-139.

Özkul, M., 1982, Güneyçayırı (Elazığ) bölgesinin sedimentolojisi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniv., (yayınlanmamış).

Perinçek, D., 1979a; Palu-Karabegan-Elazığ-Sivrice-Malatya alanının jeolojisi ve petrol imkanları. TPAO arşiv no: 1361.

Perinçek, D., 1979b; The geology of Hazro-korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani-Hazar Malatya area. guide book, TJK yayını,33s.

Perinçek, D., 1980; Arabistan kıtasında kuzeyindeki tektonik evrimin, kıta üzerine çökeltme istifteki etkileri: Tür.5.Petrol Kongresi, Tebliğler, Ankara, 77-93.

Perinçek, D. ve Özkaya, İ., 1981; Arabistan kıtası kuzey kenarının tektonik evrimi. Yerbilimleri,8, 91-101.

Rigo De Righi, M., and Cortesini, A., 1964; Gravity tectonics in foothill structure of southeast Turkey: Amer. Assoc. Petrol. Geologist Bull., 48, 1911-1937.

Sirel, E., Metin, S. ve Sözeri, B., 1975; Palu (KD Elazığ) denizel Oligosen'in stratigrafisi ve mikro-paleontolojisi, TJK Bülteni, 18, 2, 175-180.

Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir, E. ve Naz, H., 1985; Elazığ-Palu-Hazar alanının jeolojisi, Petrol İşleri Genel Müdürlüğü dergisi., 29, 83-191.

TS 699, 1987; Tabii yapı taşları – muayene ve deney metotları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS 2517, 1977; Alkali agrega reaktivitesinin kimyasal yolla tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS 3527, 1980; Boton agregalarında ince madde oranı tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS 706 EN 12620, 2003; Beton agregaları, Türk Standardları Enstitüsü,

Ankara.

TS EN 932-3, 1997; Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler Kısım 3: Basitleştirilmiş Petrografik Tanımlama İçin İşlem ve Terminoloji

TS EN 1097-2, 2000; Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2 : parçalanma direncinin tayini için metotlar

TS EN 1097-6, 2002; Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1367-2, 1999; Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler Bölüm 2, magnezyum sülfat Deneyi, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

Turan, M., 1984; Baskil-Aydınlar (Elazığ) yöresinin stratigrafisi ve tektoniği; Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst. 180s.

Turan M. ve Bingöl A.F., 1991; Kovancılar-Baskil (Elazığ) arası bölgenin tektono-stratigrafik özellikleri., Ahmet Acar Jeoloji Sempozyumu Bildirileri, Adana, 211-226.

Yazgan, E., 1981; Doğu Toroslar'da etkin bir paleo-kıta kenarı etüdü. H.Ü. Yerbilimleri Bülteni, 7, 83-104.

Yazgan, E., 1983; A geotraverse between the Arabian platform and the Munzur nappes, Int. Symp. on the Geology of the Taurus Belt, Field Guide Book, Exc. Ankara, V, 26-29.

Yazgan, E., 1984; Geodynamic evolution of the Eastern Taurus region. Int. Symp. on the geology of the Taurus Belt, Proceedings, Ankara, 199-208.