



Bozçaldağ Mermerlerinin Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması

Investigation of Bozçaldağ Marble's Effects on Physical and Mechanical Properties of Concrete

Gökhan Ekincioglu^{1*}, Serdar Korkmaz², Zeynel Başbüyük³

¹Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, 40100 ve Kırşehir, TÜRKİYE

²Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü, 40100 ve Kırşehir, TÜRKİYE

³Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 40300 ve Kırşehir, TÜRKİYE

Başyuru/Received: 19/10/2020

Kabul / Accepted: 07/01/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 29/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/06/2021

Öz

Bu çalışma kapsamında Kırşehir bölgesi Bozçaldağ formasyonu içerisinde dört farklı bölgeden temin edilen mermerlerin agregalar olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Temin edilen agregalar örneklerinin öncelikle kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında da fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Temin edilen agregalardan aynı şartlar ve aynı karışım oranlarında beton üretilmiş olup elde edilen beton karot örneklerinin mühendislik özellikleri incelenmiştir. Dolomit mineral içeriği yüksek olan A bölgesindeki agregalarla üretilen betonun ultrasonik ses dalgası, tek eksenli basınç dayanımı ve Schmidt sertlik değerlerinin diğer bölgelere göre yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışma bölgesindeki agregaların aynı formasyondan temin edilmesine rağmen farklı fiziksel ve jeokimyasal özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle beton üretiminde standardizasyonun sağlanması açısından ocaktan agregalar üretimi sonrasında belirli periyotlar halinde agregalar özelliklerinin standartlar çerçevesinde belirlenmesi önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler

"Agrega, Mermer, Betonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Kırşehir Bozçaldağ Formasyonu"

Abstract

Within the scope of this study, the usability of marbles obtained from four different regions in the Bozçaldağ formation of Kırşehir region as aggregate was investigated. First of all, chemical analyzes of the obtained aggregate samples were carried out. Then, its physical properties were determined. Concretes were produced in the same conditions and mixing ratios from the supplied aggregates. Afterwards, the engineering properties of the concrete core samples were examined. It has been determined that the concrete produced with aggregates in zone A with high dolomite mineral content has higher ultrasasic sound wave, uniaxial compressive strength and Schmidt hardness values compared to other regions. In the study, it was determined that the aggregates in its region have different physical and geochemical properties although they are obtained from the same formation. For this reason, it is important to determine the aggregate properties within the framework of the relevant standards in certain periods after the aggregate production from the quarry in order to achieve the desired standardization in concrete production.

Key Words

"Aggregate, Marble, Physical and Mechanical Properties of Concrete, Kırşehir Bozçaldağ Formation"

1. Giriş

Beton gerektiğinde kimyasal ve mineral katkı kullanılabilen ancak esasen çimento, su ve agregadan oluşan en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Betonun performansı bileşenlerinin karakteristik özelliklerine doğrudan bağlıdır (Tekin vd. 2017). Sertleşmiş beton hacminin %60-70'ini agrega hacmi, geriye kalan % 30'unu ise çimento hamuru ve hava boşluğu hacmi oluşturmaktadır. Agregaların tek başına bir bağlayıcılık özelliği yoktur. Beton bünyesinde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Agregaların bir arada tutabilmek için bağlayıcı malzeme olarak çimento kullanılmaktadır. Çimento hamurunun mukavemeti betonun mukavemetinden daha yüksektir. Fakat betonun sadece çimento hamuru ile üretilmesi ekonomik olmamaktadır. Dolayısıyla çimento hamuruna dolgu malzemesi olarak agrega ilave edilmektedir. Agreganın çimentodan daha kolay temin edilebilmesi ve daha ucuz olması, atmosfer etkilerine, çeşitli kimyasal etkilere ve aşınmaya karşı çimentodan dayanıklı olması, ayrıca çimentonun prizi sırasında meydana gelen şişme ve rötre gibi hacimsel hareketlerin agregada görülmemesi kullanımını zorunlu kılmaktadır (Güner ve Süme, 2001).

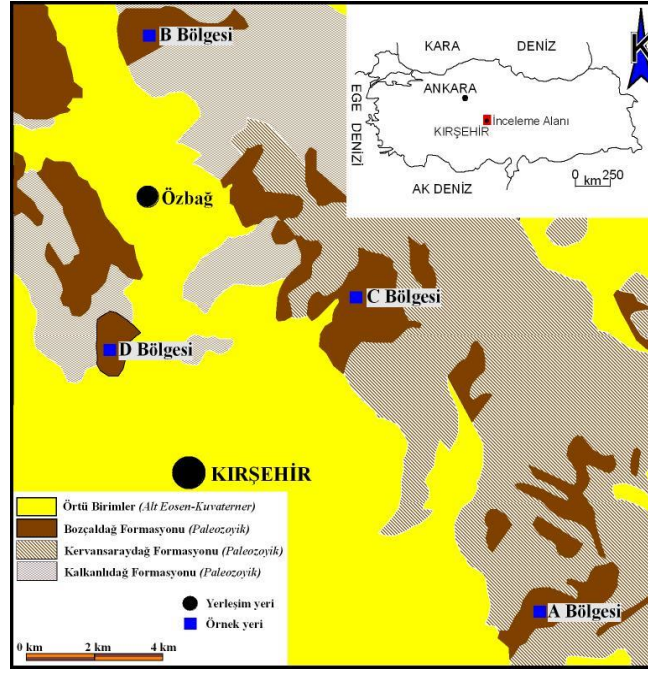
Agregaların çeşitli özellikleri betonun işlenebilirliğini, mukavemetini ve geçirimsizliğini önemli ölçüde etkilemektedir. İstenilen kalite de bir beton elde edebilmek için, beton üretiminde kullanılacak agregaların tane birim hacim ağırlığı, doluluk oranı (Kompasite), boşluk oranı (Porozite), tane dağılımı (Granülometri), aşınma dayanımı vb. özelliklerinin çok iyi incelenerek tespit edilmesi gereklidir (Beyazıt, 1988; Usta, 2012).

Kireçtaşları sahip oldukları yüksek dayanımları ve yoğunlukları, düşük poroziteleri (<%1) ile beton üretimi için iyi bir agrega kaynağıdır (West, 1996; McNally, 1998; Carlos vd., 2010, Elçi vd. 2014). Kireçtaşlarının beton agregası olarak tercih edilmesinin bir diğer nedeni de düşük termal genleşmeye sahip olmaları (French, 1991, Elçi vd. 2014) ve çimento hamuru ile iyi bir kimyasal bağ yapabilmeye özelliğidir (Akman, 1984; Baradan, 2004, Elçi vd. 2014). Ayrıca agrega yüzeylerinin pürüzlü olması da çimento hamuru ile agrega arasında kuvvetli bir aderans oluşturmasını sağlamaktadır (Demir, 2005).

Bu çalışma kapsamında Kırşehir bölgesinde üretimi gerçekleştirilen karbonat kökenli 4 farklı agrega ocağından temin edilen numunelerin agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmış, aynı karışım oranlarında üretilen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir.

2. Çalışma Alanı Jeolojisi

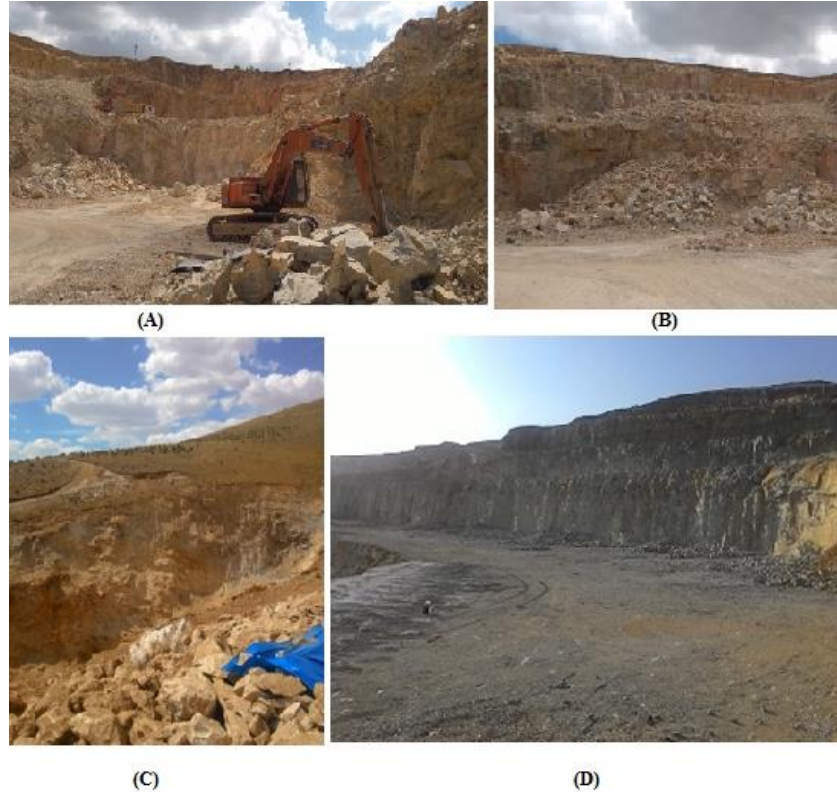
Bölgenin en yaşlı birimini Orta Anadolu metamorfikleri oluşturur. Orta Anadolu Metamorfikleri 3 formasyondan oluşur (Seymen 1981; Kara 1991). Bunlar yaşlıdan gence doğru, Kalkanlıdağ, Kervansaraydağ ve Bozçaldağ Formasyonlarıdır. Kalkanlıdağ Formasyonu, metamorfik temelin en yaşlı birimi olup, başlıca lökokrat ve daha yaygın mesokrat ve melenokrat gnayslar, biyotitlişistler, amfibollişist gibi görülen piroksenlişistler, yer yer rastlanabilen ince mermer bantları ve bunlara eşlik eden vollastonitli, diopsitli kalkışistler Kervansaraydağ Formasyonuna geçişte, kalsilikatiklişistler metakuvarsit ve kuvarslişistlerden oluşmaktadır. Kervansaraydağ Formasyonu, mermer ve kalkışist ardalanmasından meydana gelmektedir. Kervansaraydağ Formasyonundaki şist ara düzeylerinin üste doğru giderek incelmeye ve seyrekleşmesiyle boyutları mm-cm hatta dm büyüklüğünde iri kristalli som mermerlerden oluşan Bozçaldağ Formasyonuna geçilir (Seymen, 1981). İnceleme alanı ve yakın çevresinde Orta Anadolu Metamorfikleri, Eosen – Kuvaterner yaşlı denizel ve karasal kaya birimleri tarafından örtülmektedir (Kara 1991). Çalışmada kullanılan agregalar Kırşehir bölgesindeki Bozçaldağ Formasyonu içerisindeki 4 farklı lokasyondan temin edilmiştir. İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası Kara (1991) tarafından hazırlanan haritaların yeniden düzenlenmesiyle çizilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanı jeoloji haritası

3. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında Kırşehir bölgesinde bulunan hali hazırda beton üretimi amacıyla kullanımda olan karbonat kökenli üç farklı agrega ocağı işletmesi ve bir potansiyel saha olmak üzere 4 farklı bölgeden agrega temin edilmiştir. Temin edilen agregaların beton fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada öncelikli olarak arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de 4 farklı bölgeden (A, B, C, D) temin edilen agrega ocaklarının görünümü verilmiştir.



Şekil 2. Agregaların temin edildiği ocaklarının görünümü

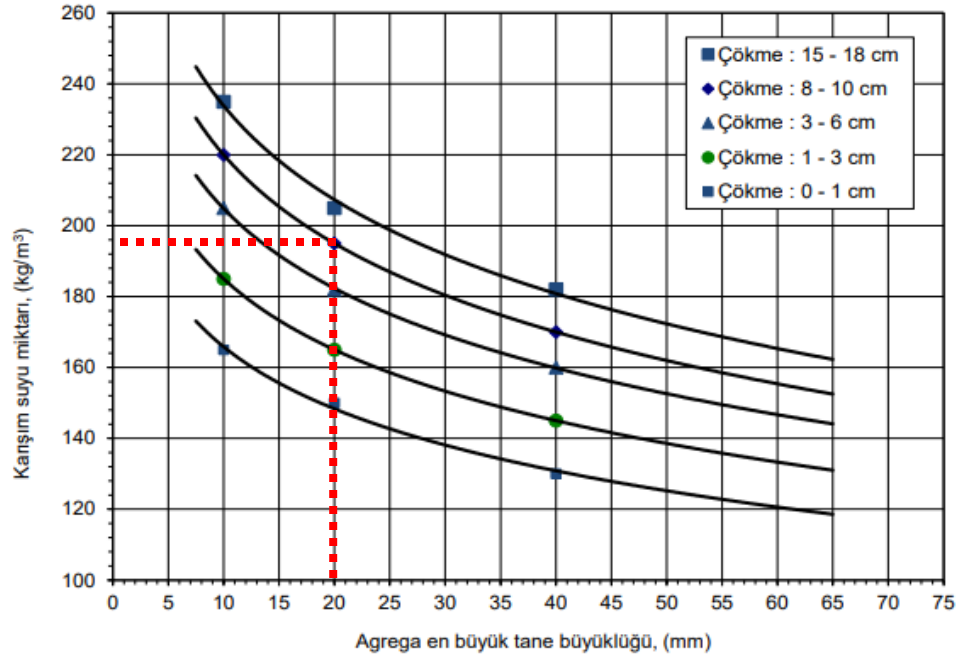
Temin edilen agregaların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu Doğal Taş Analiz Laboratuvarı ve İnşaat Bölümü Beton Teknolojisi Laboratuvarlarında belirlenen elek aralıklarında agregalar sınıflandırılmış olup su emme, birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, Los Angeles aşınma deneyleri yapılmıştır. Şekil 3'te sınıflandırılmış agregalar ve gerçekleştirilen deneylerin görünümü verilmiştir. Ayrıca Kütahya Üniversitesi İleri Teknoloji Merkezi (İLTEM) Laboratuvarında agregaların jeokimyasal özellikleri belirlenmiştir.



Şekil 3. Agregaların fiziksel özellik deneylerinden görünümü

Agregaların fiziksel özellikleri belirlendikten sonra beton karışım hesabı TS 802-2016 standardına göre dizayn edilmiştir. XF3 sınıfı genel olarak “Buz çözücü madde içermeyen suyla yüksek derecede doygun, yağmura ve donmaya maruz yatay beton yüzeyler” i kapsamaktadır. Bu araştırma için yatay plak halinde beton dökümü yapılmış; 7 günlük su küründe bekletilen plaklardan karot alımı yapılmıştır. Üretim sonrası numunelerin su küründe bekletilecek olması, yatay plak halinde beton dökümü yapıldıktan sonra karot alınacak olması sebebiyle XF3 çevresel etki sınıfı seçilmiştir. TS 802-2016 Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları’ ndaki sınırlar dikkate alınarak XF3 çevre etki sınıfı için beton sınıfı C25/30 ön görülerek hesaplamalar yapılmıştır (TS802-2016,2016).

Farklı bölgelerden agregalar dört farklı elek sınıfında (0-4,75, 4,75-10, 10-12,5, 12,5-20) temin edilmiştir. Hesaplamalar için $D_{max} = 20$ mm kullanılmıştır. Şekil 4’ten faydalanılarak 1 m^3 beton içerisindeki su miktarı 8-10 cm çökme değeri için 195 kg olarak bulunmuştur. Su/Çimento oranı 0,50 sabit olarak kabul edildiğinden 1 m^3 beton içerisindeki çimento miktarı $195/0,50 = 390 \text{ kg/ m}^3$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Kırma taş agrega kullanılan farklı en büyük agrega tane büyüklüğü ve farklı beton çökme değerlerine sahip kimyasal katkısız ve hava sürüklenmiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarları (TS 802-2016, 2016)

Aynı çimento dozajı ve su/çimento (%0,5 S/Ç) oranında 60x60x12 cm boyutlarında plaklar halinde betonlar dökülmüş ve vibratör kullanılarak sıkıştırılmıştır. Beton üretiminde CEM-I 42.5R tipi çimento kullanılmıştır. Beton plaklar dökümden sonra 7 gün plak halinde kür havuzunda +20 °C' de bekletilmiştir. Daha sonrasında karot makinesi ile karot alma işlemine geçilmiştir. Alınan karotlar 52 mm çapında olup yüksekliği de beton kesme makinesi ile 104 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. 7, 28 ve 90 günlük tek eksenli basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımları ve Schimidt sertlik değerlerinin belirlenebilmesi için karotlar su küründe bekletilmiştir. Şekil 5'te karot alımı sonrasında gerçekleştirilen deneylerin görünümü verilmiştir.



Şekil 5. Beton döküm işlemi sonrası karot alımı ve gerçekleştirilen deneylerin görünümü

4. Bulgular

4.1. Agregaların Kimyasal Analizleri

Çalışma kapsamında agregalar öncelikle KAEÜ Kaman Meslek Yüksekokulu Kaya Mekanığı Laboratuvarındaki çeneli kırıcıda kırılmış ve bilyalı değirmende öğütülerek kimyasal analiz boyutu olan 100 µm'nin altına indirilmiştir. Öğütülmüş numunenin kimyasal analizi Kütahya Dumlupınar Üniversitesi İLTEM Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. A ve B lokasyonlarındaki agregaların yüksek MgO değerleri dolomit minerali içeriğinden, D lokasyonundaki agregaların SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, K₂O ve Na₂O değerleri mermerler içerisine bulaşan kalkıştı seviyelerindeki silikat minerallerinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 1. Agregaların kimyasal analiz değerleri

Agrega bölgesi	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	LOI
A	32,22	20,72	0,79	0,47	0,07	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	45,24
B	45,94	8,35	0,35	0,61	0,08	<0,01	<0,01	0,04	<0,001	43,92
C	56,03	0,94	0,15	0,23	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,001	41,86
D	51,66	0,68	2,61	2,01	1,04	0,46	0,19	0,02	0,06	40,71

4.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Betonda kullanılan agregaların fiziksel özelliklerinden özgül ağırlık, görünür özgül ağırlık, su emme ve gerçek porozite değerleri ilgili standarda göre belirlenmiştir (TS EN 1097-6, 2013). Araziden temin edilen agregaların fiziksel özelliklerini belirlemek için öncelikli sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Sınıflandırma işleminde 0mm-4,75mm, 4,75mm-10mm, 10mm-12,5mm, 12,5mm-20mm elekler kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Agregaların fiziksel özellikleri

Agrega bölgesi	Agrega boyutu (mm)	Özgül Ağırlık	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Su Emme (%)	Gerçek Porozite (%)
A	0-4,75	2,87	2,62	3,06	8,71
	4,75-10		2,63	2,84	8,33
	10-12,5		2,66	1,45	7,46
	12,5-20		2,68	1,16	6,59
B	0-4,75	2,81	2,59	2,94	7,83
	4,75-10		2,61	2,44	7,19
	10-12,5		2,62	2,04	6,62
	12,5-20		2,66	1,29	5,52
C	0-4,75	2,73	2,55	2,76	6,59
	4,75-10		2,57	2,09	5,79
	10-12,5		2,62	1,46	4,03
	12,5-20		2,66	0,86	2,67
D	0-4,75	2,76	2,58	2,67	6,52
	4,75-10		2,61	1,69	5,47
	10-12,5		2,63	1,30	4,57
	12,5-20		2,67	0,80	3,30

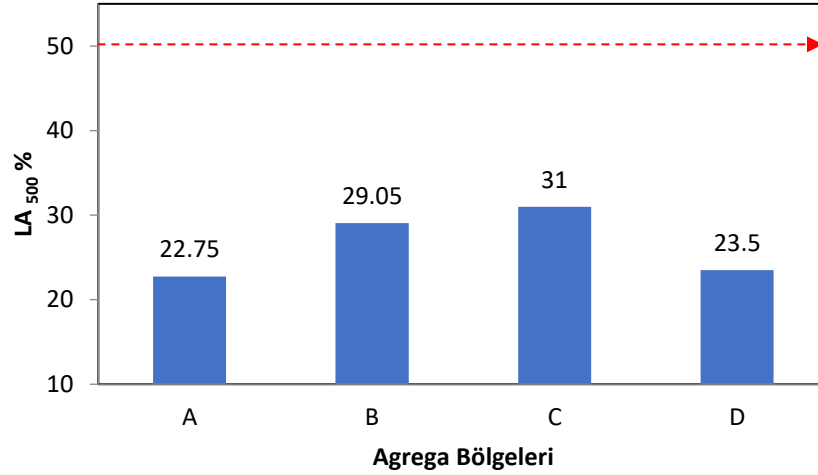
Tablo 2 incelendiğinde tüm bölgelerde tane boyu arttıkça su emme oranlarının azaldığı gözlenmiştir. İnce agregalar sınıfında su emme değerleri A, B, C, D bölgelerinde sırayla %3,06, %2,94, %2,76 ve %2,67 olarak belirlenmiştir. İri agregaların su emme oranları incelendiğinde her elek sınıfında en düşük su emme değeri D bölgesi agregalarındadır. İri agregaların su emme oranlarında en yüksek değer; 4,75mm-10mm elek açıklığında A bölgesi agregasında (%2,84), 10mm-12,5 mm ve 12,5mm-20mm elek açıklığında B bölgesi agregasında (sırasıyla %2,04 ve %1,29) tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar kapsamında agregaların özgül ağırlıkları incelendiğinde A bölgesinde en yüksek (2,87); C bölgesinde ise en düşük (2,73) olduğu görülmüştür. Agregaların birim hacim ağırlıkları değerlerinde de benzer bir sıralama elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında agregaların parçalanmaya karşı dayanımlarını belirlemek amacıyla Los Angeles aşınma deneyi TS EN 1097-2 standardına uygun olarak beton agregası için 500 devirde gerçekleştirilmiştir (TS EN 1097-2, 2020). Elde edilen veriler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Los Angeles Aşınma (LA₅₀₀) Deneysel Sonuçları

Agrega Bölgesi	LA ₅₀₀ , %
A	22,75
B	29,05
C	31,00
D	23,50

TS EN 1097-2 standardına göre agrega aşınma değerlerinin 500 devir için %50' yi geçmemesi istenmektedir. Los Angeles aşınma deneyi sonuçları incelendiğinde 4 farklı lokasyondan temin edilen tüm agregaların standarda uygunluk gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 6'da agregaların LA₅₀₀ değerleri değişimi verilmiştir. Agregaların A bölgesinde dolomit, D bölgesinde ise silikat minerali içermesi nedeni ile A ve D bölgesindeki LA₅₀₀ değerleri B ve C bölgesindeki göre daha düşüktür.

**Şekil 6.** Agregaların LA₅₀₀ değerleri değişimi

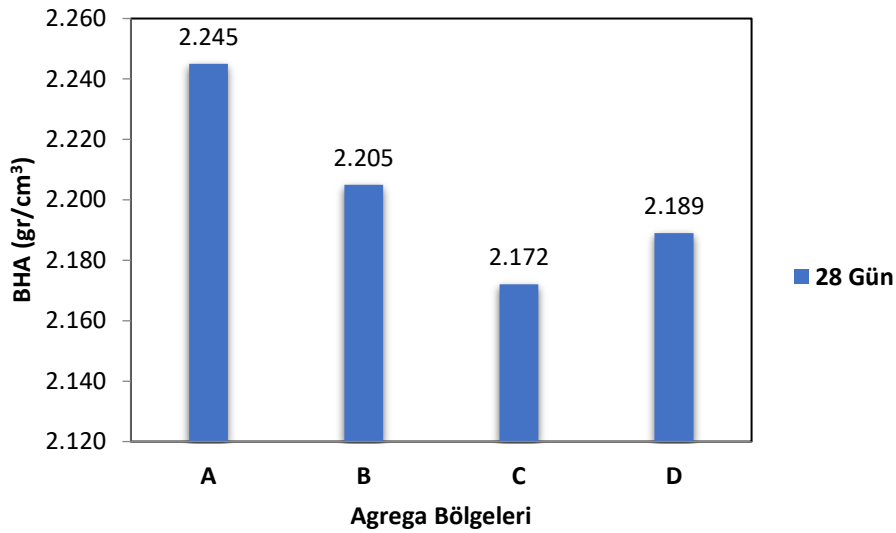
4.3. Betonların Fiziksel Özellikleri

28 günlük kür süresi sonunda beton karot örneklerinin birim hacim ağırlık ve ultrasonik ses dalgası yayılma hızı tayini gibi fiziksel özellikleri ilgili standartlara (TS EN 12390-7, 2019; TS EN 12504-4, 2012) göre belirlenmiştir. Tablo 4'te birim hacim ağırlık değerleri (BHA) verilmiştir.

Tablo 4. 28 günlük kür süresinde beton birim hacim ağırlık (BHA) değerleri

Agrega bölgesi	BHA (gr/cm ³)
A	2,245
B	2,205
C	2,172
D	2,189

4 farklı bölge agregasından üretilen betonlara ait birim hacim ağırlık verileri incelendiğinde en yüksek değer A bölgesinde en düşük değer ise C bölgesinde elde edilmiştir. Şekil 7'de farklı bölgelerden temin edilen agregalarla üretilen beton örneklerine ait 28 günlük birim hacim ağırlık değerleri verilmiştir.



Şekil 7. Agregaların 28 günlük BHA değerleri değişimi

Ultrasonik ses dalgası yayılma hızı, beton için tahribatsız deney türlerinden biri olarak bilinmektedir. Beton numunesine gönderilen ses dalgalarının, iletim hızına göre betonun yoğunluğu, sertliği, porozitesi, bağ kuvveti ve dolayısıyla dayanımı hakkında bilgi vermektedir (Gürsel ve Erenson, 2017). Çalışma kapsamında dört farklı bölgeden temin edilen agregalar kullanılarak aynı şartlarda üretilen betonların kalitesinin belirlenmesi amacıyla 28 günlük kür süresi sonunda belirlenen ultrasonik ses dalgası yayılma hızı (V_p) (km/s) değerleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Ultrasonik ses dalgası yayılma hızı (V_p) ölçüm değerleri

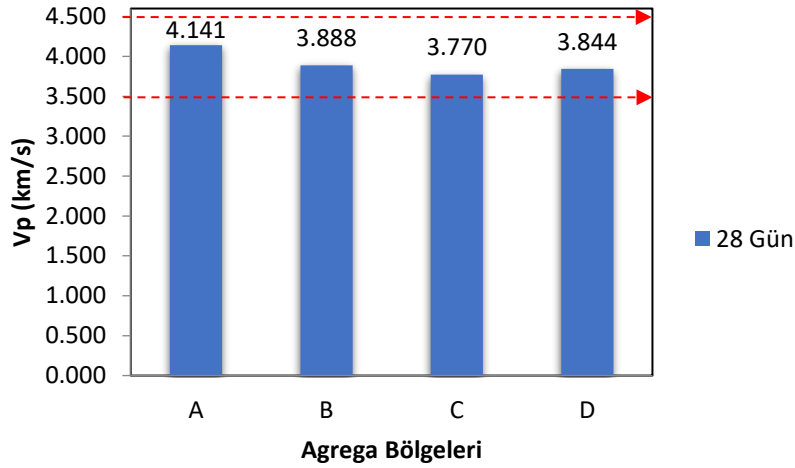
Agrega bölgesi	V_p (km/s)
A	4,14
B	3,89
C	3,77
D	3,84

28 günlük kür süresinde elde edilen ultra ses değerleri incelendiğinde 3,77 ile 4,14 km/s değerleri arasında değiştiği gözlenmekte olup $A > C > B > D$ bölgesi olarak sıralanmışlardır. Erdoğan (2003)’e göre beton kalitelerinin iyi sınıfında oldukları belirlenmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile beton kalitesi tayini (Erdoğan, 2003)

Ultrasonik ses (V_p) km/s	Beton kalitesi
>4,5	Mükemmel
3,5-4,5	İyi
3-3,5	Şüpheli
2-3	Zayıf
<2	Çok zayıf

Şekil 8’de 4 farklı bölgelerden temin edilen agregalarla üretilen beton örneklerine ait 28 günlük ultrasonik ses dalgası yayılma hızı değerleri değişimleri verilmiştir.



Şekil 8. Beton örneklerinin 28 günlük ultrasonik ses dalgası yayılma hızı değerleri değişimi

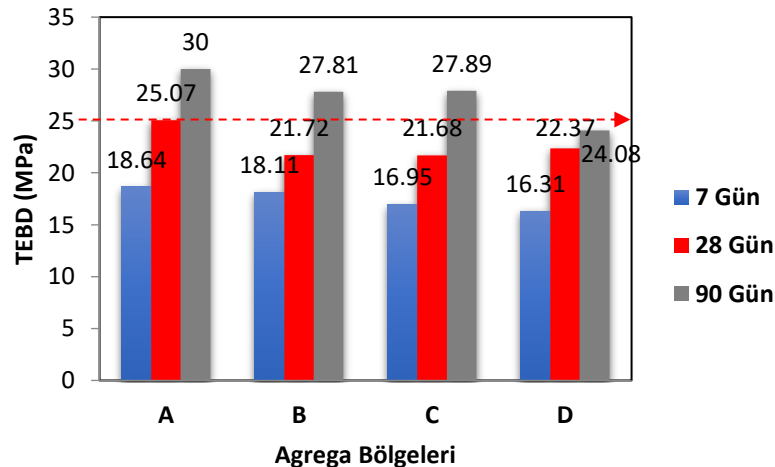
4.4. Betonların Mekanik Özellikleri

Çalışma kapsamında 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda beton örneklerinin mekanik özelliklerinden tek eksenli basınç dayanımı TS EN 12390-3, yarmada çekme dayanımı TS EN 12390-6 ve Schmidt sertlik değerleri TS EN 12504-2 standartlarına göre belirlenmiştir (TS EN 12390-3,2019; TS EN 12390-6, 2010; TS EN 12504-2, 2013) Karot l/d oranı (104mm/52mm=2) olarak alınmış; ASTM C42' ye göre farklı boy/çap oranları karot numuneleri için düzeltme katsayısı 1.00'a göre basınç dayanımı değerleri alınmıştır (ASTM C42, 2020). Bu değerler Tablo 7' de gösterilmiştir.

Örneklerin tek eksenli basınç dayanımları (TEBD) incelendiğinde (Tablo 7) tüm agrega bölgelerinde beton kür süresi arttıkça dayanımın da arttığı görülmüştür (Şekil 9). 7, 28 ve 90 günlük beton kür süresinde en yüksek basınç dayanımını A bölgesi agregası ile üretilen beton örneklerinde (18,64 MPa, 25,07 MPa ve 30,00 MPa) görülmüştür. Çalışmada 28 günlük kür süresi sonrasında A bölgesinden temin edilen agregaların C25/30 beton standardına ulaştığı gözlenirken B ve C bölgelerinin ise standart değere 90 günlük kür süresi sonrasında ulaştığı belirlenmiştir. Standartlarda belirtilen değerlere ulaşılması hususunda B, C, D bölgesi agregaları ile farklı su/çimento oranlarında veya farklı doğal katkıları ile ayrıca çalışmalar yapılabilir.

Tablo 7. Tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) değerleri

Agrega bölgesi	TEBD (MPa)		
	Kür süreleri		
	7 Gün	28 gün	90 gün
A	18,64	25,07	30
B	18,11	21,72	27,81
C	16,95	21,68	27,89
D	16,31	22,37	24,08

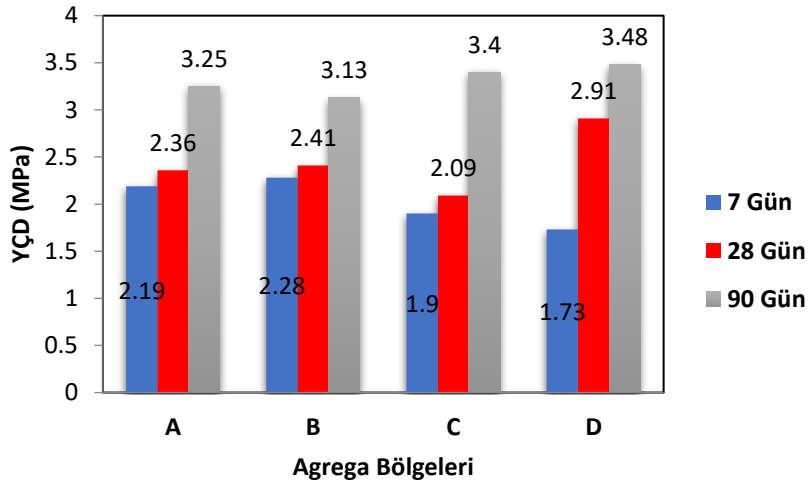


Şekil 9. Beton örneklerinin, 7, 28 ve 90 günlük TEBD değerleri değişimi

Çekme dayanımı, betonda çekme etkisi oluşturacak kuvvetlerin neden olabileceği şekil değiştirmelere ve kırılmalara karşı betonun gösterebildiği direnme kabiliyeti olarak bilinmektedir. Tablo 8’de verilen yarmada çekme dayanımı (YÇD) değerleri incelendiğinde 28 günlük kür süresi sonunda en yüksek YÇD değerinin D bölgesi agregası ile üretilen beton örneğinden (2,91 MPa) en düşük YÇD değerinin ise C bölgesi agregasından üretilen betondan (2,09 MPa) örneğinden elde edildiği görülmektedir. Şekil 10’da beton örneklerinin, 7, 28 ve 90 günlük YÇD değerleri değişimi verilmiştir.

Tablo 8. Yarmada çekme dayanımı (YÇD) (MPa) değerleri

Agrega bölgesi	YÇD (MPa)		
	Kür süreleri		
	7 Gün	28 gün	90 gün
A	2,19	2,36	3,25
B	2,28	2,41	3,13
C	1,90	2,09	3,40
D	1,73	2,91	3,48



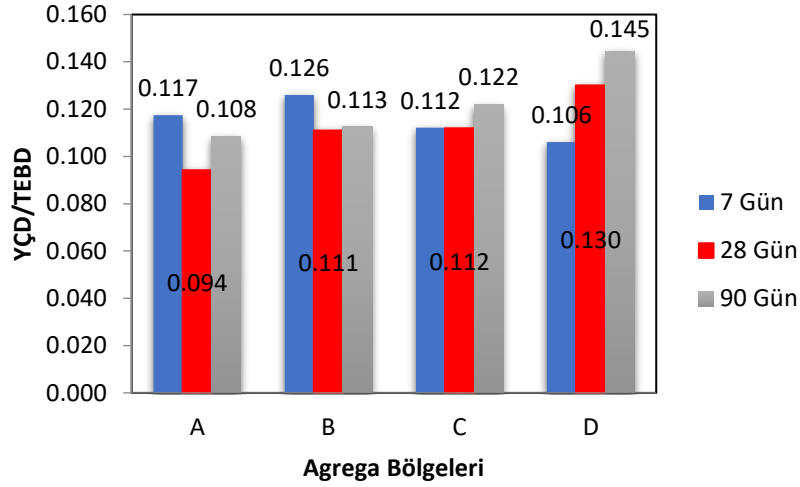
Şekil 10. Beton örneklerinin, 7, 28 ve 90 günlük YÇD değerleri değişimi

Basınç dayanımı betonun en önemli özelliklerin başında gelmektedir. Yapıların tasarım hesaplarında genellikle kullanılmakta olan dayanım türü, betonun basınç dayanımıdır. Ancak, oldukça gevrek bir malzeme olan betonun çekme kuvvetlerine karşı direnme kabiliyeti çok düşük olduğundan, çekme dayanımının değeri betonun içerisindeki çatlakların oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Genellikle, yapıdaki betona doğrudan çekme kuvveti uygulanmamaktadır. Fakat beton elemanların üzerlerine gelen basınç ve eğilme kuvvetleri betonun üzerinde dolaylı olarak çekme kuvvetlerinin oluşmasına sebebiyet vermektedir (Gürsel ve Erenson, 2017).

Çekme/basınç dayanımı oranı malzemenin yük altındaki gevreklik ölçütünü ortaya koymaktadır. Gevrek malzemede bu oran küçülürken, sünek davranışta ise büyümektedir (Arioğlu vd. 2002). Tek eksenli basınç dayanımı kür süresine bağlı olarak artış gösterdiğinde YÇD/TEBD oranı azalmaktadır. Agregatürü, agregat özellikleri, kür süresi, ortalama tane boyutu YÇD/TEBD oranını etkileyen belli başlı faktörlerdir. YÇD/TEBD oranı küçüldükçe beton ‘gevrek’ hale gelirken; YÇD/TEBD oranı büyüdükçe beton ‘sünek’ yapıda olmaktadır. Tablo 9’da YÇD/TEBD oranları incelendiğinde en gevrek beton örneğinin 28 günlük A bölgesi betonu (0,094) olduğu görülmektedir. 28 günlük beton basınç dayanımlarında en yüksek değeri veren yine bu örnektir. Dolayısıyla basınç dayanımı artışı ile gevreklik arasındaki ilişkiyi doğrulamıştır. YÇD/TEBD oranları incelendiğinde en sünek beton örneğinin 90 günlük D bölgesi betonu (0,145) olduğu belirlenmiştir. 90 günlük beton basınç dayanımında da en düşük dayanım değeri yine bu örnekte tespit edilmiştir. Bu örnekte de basınç dayanımı ve süneklik arasındaki ilişki doğrulanmıştır. Şekil 11’de beton örneklerinin, 7, 28 ve 90 günlük YÇD/TEBD değerlerinin değişimi verilmiştir.

Tablo 9. Beton örneklerinin, 7, 28 ve 90 günlük YÇD/BD değerleri

Agrega bölgesi	YÇD/TEBD		
	Kür süreleri		
	7 Gün	28 gün	90 gün
A	0,117	0,094	0,108
B	0,126	0,111	0,113
C	0,112	0,112	0,122
D	0,106	0,130	0,145



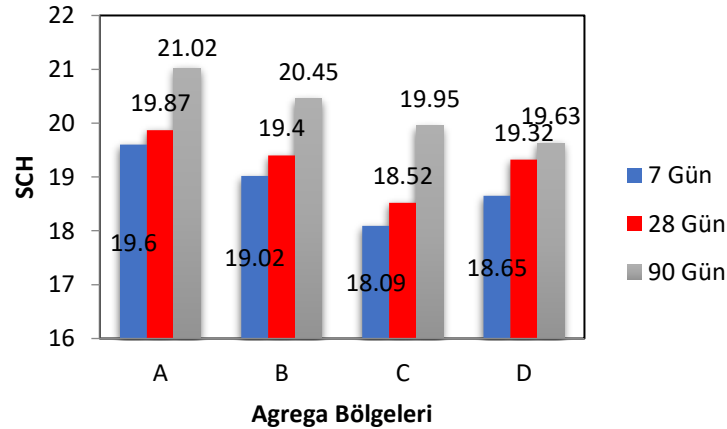
Şekil 11. Beton örneklerinin, 7, 28 ve 90 günlük YÇD/TEBD değerleri değişimi

Schmidt geri sıçrama sertlik değerleri numunenin su içeriği, yüzey pürüzlülüğü, betonun homojenliği (agregaların beton içerisindeki dağılımı, çekiç temasının çimento veya agregaya gelmesi) ve benzeri birçok faktörün etkisi altındadır (Güçlüer vd. 2017). Standartlarda “geri sıçrama” testi olarak bilinen, uygulanmasında “Schmidt çekici” kullanılan deneyin, betonun sertliği ve buna bağlı olarak betonu oluşturan kristallerin bağ kuvvetleri hakkında çok kesin sonuçlar olmasa da bilgi verdiği standartlarda belirtilmiştir (TS EN 12504-2). Çalışma kapsamında 4 farklı bölgeden temin edilen agregaların aynı şartlar altında üretilen betonların yüzey sertlikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla Schmidt darbe çekici ile yüzey sertlik okumaları gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri betonların tek eksenli basınç dayanımlarının belirlenmesinde kullanılan numuneler üzerinde belirlenmiş olup sonrasında dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. Schmidt darbe çekici ölçümleri sonucunda elde edilen veriler Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. Schmidt darbe çekici (SCH) ölçümleri

Agrega bölgesi	SCH Değerleri		
	Kür süreleri		
	7 Gün	28 gün	90 gün
A	19,6	19,87	21,02
B	19,02	19,40	20,45
C	18,09	18,52	19,95
D	18,65	19,32	19,63

Ölçümler sonucunda birbirine yakın sertlik değerleri olmakla beraber 28 günlük numunelerden en yüksek sertlik değerinin A bölgesinde (19,87) en düşük ise C bölgesinde (18,52) olduğu belirlenmiştir. Şekil 12’de beton örneklerinin, 7, 28 ve 90 günlük SCH değerleri değişimi verilmiştir.



Şekil 12. Beton örneklerinin, 7, 28 ve 90 günlük SCH değerleri değişimi

5. Sonuçlar ve Öneriler

Türkiye deprem kuşağında olan bir ülkedir. Binaların sağlam ve uzun ömürlü olmalarında kullanılan beton malzemelerinin kalitesi önemli rol oynamaktadır. Özellikle betonun %70-80'lik içeriğini oluşturan agregaların doğru seçilmesi beton kalitesi açısından önemli bir husustur. Öz kaynakların verimli bir şekilde değerlendirilmesi noktasında beton içerisinde kullanılması planlanan agrega özellikleri belirlenmeli ve bu özellikler neticesinde kullanım alanı ortaya konmalıdır. Bu çalışma kapsamında Bozçaldağ Formasyonunda yer alan 4 farklı bölgeden temin edilen mermerlerin agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmış olup aynı şartlar ve karışım oranlarında üretilen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma ile beton üreticilerine agrega seçiminin önemi vurgulanmaya çalışılmıştır.

Araştırma kapsamında elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Çalışmada kullanılan agregalardan en yüksek özgül ağırlığa sahip olan A bölgesi agregası ile üretilen betonların dayanımları 7, 28 ve 90 günlük kür sonunda tek eksenli basınç dayanımları sırasıyla 18,64 MPa, 25,07 MPa, 30,00 MPa olarak elde edilmiş olup diğer bölgelere göre yüksektir. Dört farklı bölgeden alınan agregalarla elde edilen betonların 28 gün sonundaki karakteristik basınç dayanımları (f_{ck}) incelendiğinde basınç dayanımının %10 düşük olma koşulunu sadece A bölgesi agregası ile üretilen betonun sağladığı; diğer üç bölge agregası ile üretilen betonun bu koşulu sağlamadığı görülmüştür. B ve C bölgelerindeki agregalar ile üretilen beton numunelerinin 90 günlük kür sonrası basınç dayanımları incelendiğinde C25/30 basınç dayanımını tüm bölgelerin sağladığı ve D Bölgesinde agregasında standart değere yakın (24,08 MPa) olduğu görülmektedir. D bölgesi agregalarıyla üretilen betonda; farklı S/Ç oranı, iri-ince agrega oranı, doğal ve yapay katkı beton karışımları ile deneme çalışmaları yapılarak standartta öngörülen değerlere ulaşılabilir.
- 90 günlük kür süresi sonrası elde edilen basınç dayanımı değerlerinde 28 günlük kür süresi verilerine göre artış gözlenmiştir. Bu durum hidrasyonun devam ettiğinin bir göstergesidir.
- Ultrasonik ses dalgası yayılma hızı değerleri incelendiğinde 28 günlük kür süresi sonrasında A bölgesi agregası ile üretilen betonların en iyi sonucu verdiği (4,14 km/s) görülmektedir.
- Agregası aşınma değerleri incelendiğinde tüm agrega bölgelerine ait agregaların TS EN 706 12620+A1 standardını sağladığı belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre aşınmaya en dayanıklı agrega A bölgesinde bulunmaktadır.
- Beton numunelerinde en yüksek çekme dayanımı değeri 7 günlük kür süresi sonunda B bölgesi agregası ile üretilen beton numunesinden (2,28 MPa), 28 ve 90 günlük kür süresi sonunda D bölgesi agregası ile üretilen beton numunesinden (2,91 MPa ve 3,48 MPa) elde edilmiştir. Tüm kür sürelerine bakıldığında çekme dayanımının kür süresi arttıkça arttığı gözlemlenmiştir.
- Yarmada çekme dayanımı (YÇD) değerleri incelendiğinde en yüksek YÇD değerinin 28 ve 90 günlük kür süresi sonunda D bölgesi agregası ile üretilen beton örneğinden (2,91-3,48 MPa) elde edildiği görülmüştür.
- YÇD/TEBD oranları incelendiğinde en gevrek beton örneğinin 28 günlük A bölgesi betonu (0,094) olduğu görülmektedir. 28 günlük beton basınç dayanımlarında en yüksek değeri veren yine bu örnektir. Dolayısıyla basınç dayanımı artışı ile gevreklik arasındaki ilişkiyi doğrulamıştır. YÇD/TEBD oranları incelendiğinde en sünek beton örneğinin 90 günlük D bölgesi betonu (0,145) olduğu belirlenmiştir. 90 günlük beton basınç dayanımında da en düşük dayanım değeri yine bu örnekte tespit edilmiştir. Bu örnekte de basınç dayanımı ve süneklik arasındaki ilişki doğrulanmıştır.
- Schmidt darbe çekici ölçümleri sonucunda birbirine yakın sertlik değerleri olmakla beraber 28 günlük numunelerden en yüksek sertlik değerinin A bölgesinde (19,87) en düşük ise C bölgesinde (18,52) olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan agregalar aynı formasyonun 4 farklı bölgesinden alınmış olmasına rağmen farklı fiziksel ve jeokimyasal özelliklere sahiptir. A bölgesindeki agregalarda MgO oranı %20,72 olup diğer bölgelere göre daha az kalsit minerali ve daha fazla dolomit minerali içermektedir. A bölgesi agregalarından üretilen betonun ultrasonik ses dalgası, tek eksenli basınç dayanımı ve Schmidt sertlik değerlerinin diğer bölgelere göre yüksek olmasının nedeni içerisindeki dolomit minerali miktarının yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Agrega olarak kullanılacak malzemenin aynı formasyon içerisinde olsa bile farklı mineralojik ve jeokimyasal içerik gösterebileceği göz ardı edilmemelidir. Bunun sonucunda agreganın, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine doğrudan etkisi olduğu bu çalışma ile de görülmüştür. Bu nedenle beton üretiminde istenen standardizasyonun sağlanması açısından taş ocaklarından elde edilen kırma taş agrega özelliklerinin belirli periyotlar halinde TS EN 1097-2, TS EN 1097-6, TS 706 EN 12620+A1 standartlar çerçevesinde izlenmesi önem arz etmektedir.

Referanslar

Akman, S. M. (1978). Dolomit kökenli beton agregalarında alkali-reaktivitesi olasılığı. İTÜ Dergisi, 36 (3), 55-59

Arioğlu, E., Girgin, C., & Arıoğlu, N. (2002). Betonda çekme/basınç dayanımı oranının irdelenmesi. Hazır Beton dergisi. Ocak-Şubat, 58-63

- ASTM C42/42M-20, (2020). Standard test method of obtaining and tested drilled cores and sawed beams of concrete, American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, United States of America.
- Baradan, B. (2004). Yapı Malzemesi II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yayın No. 207.
- Beyazıt, Ö.L. (1988). "Beton ve Deneyleri", Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Carlos, A., Masumu, I., Hiroaki, M., Maki, M., & Takahisa, O., (2010). The effects of limestone aggregate on concrete properties. *Construction and Building Materials*, 24, 2363-2368
- Demir, İ. (2005). Kırşehir yöresi kayaçlarının kırmataş agrega olarak kullanılabilirlik özellikleri. *Politeknik Dergisi*, 8(1), 111-121
- Elçi, H., Türk, N., & İşintek, İ. (2014). İzmir Karaburun yarımadasındaki farklı kireçtaşlarının beton agregası olarak değerlendirilmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 38(2), 103-134
- Erdoğan, T. Y. (2003). Beton, M. E. T. U. Press Publishing Company.
- French, W. J. (1991). Concrete Petrography: a review. *Quarterly Journal Engineering Geology*, 24, 17-48.
- Güçlüer, K., Günaydın, O., Tekin, Ö. F., & Şahan, M. F. (2017). Farklı tipte agrega kullanımının betonun mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 107-114
- Güner, M.S., & Süme, V. (2001). Yapı Malzemesi ve Beton", İstanbul, Aktif Yayınevi, 336 s.
- Gürsel, E., & Erenson, C. (2017). Agregası türü ve mekanik özelliklerinin yüksek dayanımlı betonların mekanik özellikleri üzerindeki etkisi, Hazır Beton Kongresi, İstanbul.
- Kara, H. (1991). 1:100.000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji Haritaları serisi, Kırşehir-J32 paftası. MTA yayınları.
- McNally, G.H. (1998). *Soil and Rock Construction Materials*, E & FN Spon, London, 403 p.
- Seymen, İ. (1981). Kaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir masifinin stratigrafisi ve metamorfizması. *TJK Bült.* 24, 2, 101-108. (in Turkish).
- Tekin, İ., Kotan, T., Yurdakul, M. & Öner, E. (2017). Bayburt bölgesinde bulunan farklı agrega tipleri ile üretilen geleneksel betonların mekanik mukavemetleri üzerine bir çalışma. *Politeknik Dergisi* 20.3
- TS EN 1097-2. (2020). Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini için Metotlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6. (2013). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3. (2019). Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri– Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara.
- TS EN 12390-6. (2010). Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri– Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımı Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara.
- TS EN 12390-7. (2019). Beton deneyleri- Bölüm 7: Sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara.
- TS EN 12504-2. (2013). Yapılarda beton deneyleri- Bölüm 2: Tahribatsız muayene- Geri sıçrama sayısının belirlenmesi. Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara.
- TS EN 12504-4. (2012). Beton deneyleri- Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara.
- TS 706 EN 12620+A1. (2009). Beton Agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara
- TS 802-2016 (2016) Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara.

Usta, S. (2012). Agregada granölometrisinin beton bileşimindeki teorik malzeme miktarları ile betonun kompasite ve porozite değerleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt:8, No:1,1-15s.

West, G. (1996). *Alkali-aggregate reaction in concrete roads and bridges*. Thomas Telford, London 163 p.