



## BALIKESİR CİVARINDA YÜZEYLEYEN İZMİR- ANKARA ZONU MESOZOYİK KİREÇTAŞLARININ MALZEME VE BETON AGREGASI ÖZELLİKLERİ

Hakan ELÇİ<sup>1\*</sup>, Şener CERYAN<sup>2</sup>, Özge ÖZSU<sup>3</sup>, Gökhan BÜYÜKKAHRAMAN<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Geoteknik Programı, İzmir, Türkiye

<sup>2,4</sup> Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Balıkesir Türkiye

<sup>3</sup> Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Kireçtaşı, Agrega, Beton, Alkali Silika Reaksiyonu, İzmir-Ankara Zonu.</i>	Bu çalışmada; İzmir - Ankara Zonu'nun (İAZ), Balıkesir ve Manisa illeri arasında yüzeyleyen Orta Triyas - Kretase yaşlı kireçtaşlarının malzeme özellikleri, agrega özellikleri ve bu agregaların beton üretimine uygunluğu araştırılmıştır. Bölgedeki kireçtaşları düşük poroziteli orta derecede dayanımlı kireçtaşlarıdır ve bu kireçtaşlarından normal yoğunlukta agregalar elde edilebilir. Bu agregalar 0,58 su/çimento oranında karıştırıldığında hedeflenen beton sınıfı dayanımına erken yaşlarda ulaşılmıştır. Alkali silika reaksiyonu yönünden de reaktif olmayan bölgedeki İAZ'nin Orta Triyas - Kretase yaşlı kireçtaşları beton yapımında kullanıldığında (28 günlük), 40 MPa basınç dayanımına sahip (normal dayanımlı) betonlar elde etmek mümkündür.

## MATERIAL AND CONCRETE AGGREGATE PROPERTIES OF MESOZOIC LIMESTONES OF İZMİR-ANKARA ZONE OUTCROPPING AROUND BALIKESİR PROVINCE

Keywords	Abstract
<i>Limestone, Aggregate, Concrete, Alkali Silica Reaction, İzmir-Ankara Zone.</i>	In this study; material and aggregate properties of Middle Triassic-Cretaceous limestones between Balıkesir and Manisa from İzmir-Ankara Suture Zone (IASZ), and their suitability for concrete production were investigated. The limestones in the region are low porosity, moderately strength limestones and normal density aggregates can be obtained from those. When these aggregates are mixed at the ratio of 0.58 water / cement, the target concrete class strength has been reached at an early age. When the Middle Triassic - Cretaceous limestones of İAZ in the non-reactive region in terms of alkali silica reaction are used in concrete production, it is possible to obtain concrete with a compressive strength of 40 MPa (normal strength).

### Alıntı / Cite

Elçi, H., Ceryan, Ş., Özsu, Ö., Büyükkahraman, G., (2021). Balıkesir Civarında Yüzeyleyen İzmir- Ankara Zonu Mesozoyik Kireçtaşlarının Malzeme ve Beton Agregası Özellikleri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 655-665.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
H. Elçi, 0000-0003-2945-2548	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> 25.02.2021
Ş. Ceryan, 0000-0002-1927-6985	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b> 18.03.2021
Ö. Özsu, 0000-0003-3324-8531	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b> 18.03.2021
G. Büyükkahraman, 0000-0003-2217-9825	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b> 20.06.2021

### 1. Giriş (Introduction)

Bu çalışmada, 384 km uzunluğundaki İzmir- İstanbul Otoyolu'nun 224,300-317,284 km'leri arasında yer alan Balıkesir- Manisa yöresindeki 93 km'lik ana güzergâh ile 15 km'lik bağlantı yollarının yapımında kullanılan kireçtaşlarının malzeme özellikleri ve bu kireçtaşlarından üretilen agregaların beton agregası özellikleri incelenmiştir. Bölgede yer alan kireçtaşları içerisinde 3 adet kırma taş ocağı açılmıştır. Bu ocaklar, Balıkesir ili sınırları içerisinde yer alan Bakacak (B) ve Kızılören (K) ile Manisa ili sınırları içerisinde yer alan Zambak (Z) kırma

\* İlgili yazar / Corresponding author: hakan.elci@deu.edu.tr, +90-232-853-1828-142

taş ocaklarıdır (Tablo 1, Şekil 1). Bu kırma taş ocaklarından toplam 6,4 milyon m<sup>3</sup> dolgu malzemesi, asfalt ve beton agregası olarak, söz konusu bölgedeki 108 km'lik İzmir-İstanbul oto yolunun yapımında kullanılmıştır (Tablo 1).

**Tablo 1.** Balıkesir-Manisa Arasında Yer Alan Kırma Taş Ocakları ve Bu Ocaklardan Kullanılan Agregata Miktarları  
(Quarries Located Between Balıkesir and Manisa and The Amount of Aggregate Used From These Quarries)

Kullanım Amacı ↓	Ocak adı →	Bakacak (B) Ocağı	Kızılören (K) Ocağı	Zambak (Z) Ocağı	Toplam
		Miktar (m <sup>3</sup> )			
Dolgu		168506.117	286055.312	811655	1266217
Beton agregası		615520.205	317111.088	389078	1321709
Asfalt agregası		857839	1952263	971713	3781815
Toplam kullanılan agregata miktarı					6369741

Çalışmada, İAZ'nin, Balıkesir ve Manisa illeri arasında yüzeyleyen Orta Triyas - Kretase yaşlı kireçtaşlarının mineralojik, petrografik ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra bu kireçtaşlarının malzeme özellikleri ile bu kireçtaşlarından elde edilen agregaların fiziksel, mekanik ve termal özellikleri belirlenmiştir. Son olarak bu kireçtaşlarından elde edilen agregalardan üretilen betonların taze, sertleşmiş beton özellikleri ve bu agregaların alkali agregata reaktifliği araştırılmıştır. Böylelikle bölgede yer alan İAZ'nin kireçtaşlarından üretilen agregaların kalitesi ve bu agregalardan üretilen betonların kalitesi ortaya konulmuştur.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Bölgedeki kireçtaşları İAZ'ye ait kireçtaşlarıdır (Okay ve Tüysüz, 1999). Yapılan önceki çalışmalarda bölgenin batısında yer alan İzmir ilinin beton ve asfalt agregata kaynağının % 90'ının İAZ'ye ait kireçtaşlarından karşılandığı ve İAZ'ye ait kireçtaşlarının iyi bir beton agregası olma özelliğine sahip olduğu rapor edilmiştir (Elçi vd., 2014).

Kireçtaşları sahip oldukları orta-yüksek dayanımları, yoğunlukları ve genelde düşük poroziteleri ile beton üretimi için iyi bir agregata 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) ve çimento hamuru ile iyi bir kimyasal bağ yapabilme özelliğidir (Akman, 1984; Baradan, 2004). Bununla birlikte kireçtaşları kırıldıkları zaman yassı ve uzun parçalardan ziyade köşeli ve çoğunlukla küresel parçalar verme eğilimi gösterir (Bell, 2006). Saf kireçtaşları alkali silis reaksiyonu (ASR) yönünden risk oluşturmazlar (West, 1996; Zarif vd., 2003; Carlos vd., 2010; Elçi vd., 2014) Fakat bileşiminde kalsit ile birlikte karbonat olmayan mineralleri (asitçe çözülmeyen kalıntı) bulduran, kireçtaşları ile üretilen betonlarda, ASR olayı gerçekleşmekte ve bu da betonun dayanımını önemli ölçüde azaltmaktadır (Lorenzi vd., 2001; Qian vd., 2001; Qian vd., 2002; Katayama, 2004; RILEM, 2005; Alptuna, 2009; Hasdemir vd. 2012). Karbonat olmayan bu bileşenler, kireçtaşlarının bileşiminde yer alan ve saflıklarını bozan düzensiz yapıdaki silisli minerallerden ileri gelmektedir (Smith ve Collis, 2001; Lorenzi vd., 2001; Binal, 2004; Baradan, 2004; Elçi vd., 2014).

### 2.1. Çalışma Alanının Jeolojisi (Geology of the Study Area)

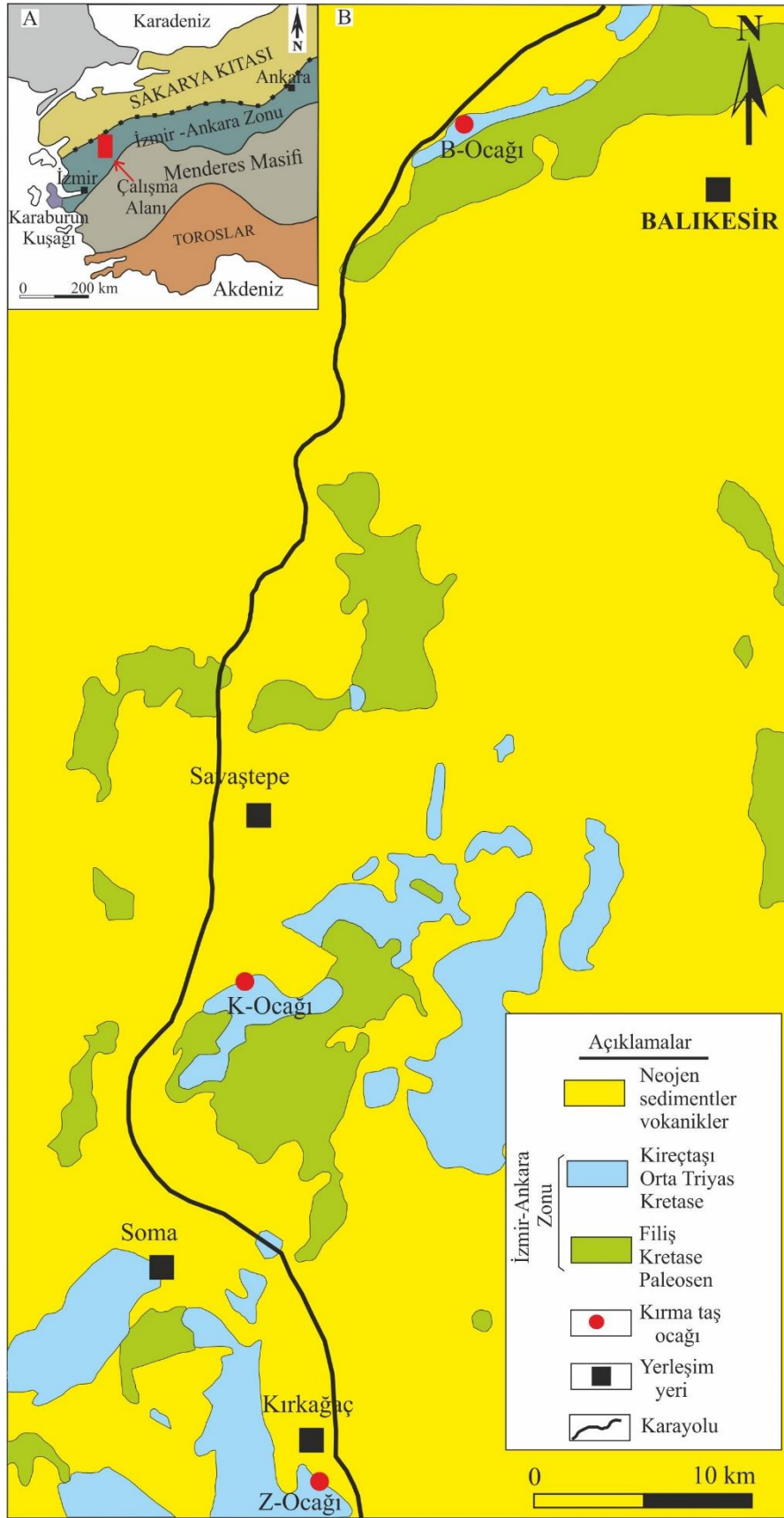
İlk kez Brinkmann (1966, 1972, 1976) tarafından tanımlanmış olan İAZ, fliş türü kayalardan, farklı özelliklerdeki kireçtaşlarından ve mafik, ultramafik kayalardan oluşmuştur. İAZ içerisinde Alt Triyas'tan Alt Kretase'ye kadar devamlı bir platform türü olarak bir karbonat istifli yer alır ve bu istifli kayalar Geç Kretase'de, fliş fasiyesindeki kayalara geçer (Erdoğan, 1990). Erdoğan (1990) İAZ'nin nap tektoniği ile Menderes masifi üzerine itilmesiyle içeriğinin ileri derecede karmaşık olduğunu, stratigrafi özelliklerinin tanınmayacak ölçüde bozulmuş olduğunu ve içeriğindeki neritik kireçtaşları kütlelerinin köksüz megabloklar şekliyle bulunması nedeniyle dokanaklarının silinmiş olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte İAZ'nin batısında yer alan Manisa-İzmir bölgesinin Karaburun Yarımadası karbonat istifli ile benzer olduğunu, litolojik ve paleontolojik karşılaştırmalar da bu blokların Karaburun istifine ait parçalar olduğunu göstermiştir.

İzmir-Balıkesir arasındaki bölgede, İAZ kayaları, kuzeyde Sakarya Zonu'na ait Karakaya Kompleksi, güneyde Anatolid-Torid Bloğu ve batıda ise Bornova Fliş Zonu ile çevrilidir (Şekil 1A). İzmir ile Balıkesir arasında, Balıkesir'in kuzeydoğusunda bulunan Kepsut bölgesi hariç, İAZ kayaları neredeyse tamamen Neojen yaşlı sedimanter ve volkanik kayalarla örtülüdür. Bornova Fliş Bölgesi, Triyas ve Kretase karbonatların yanı sıra mavişist bloklarla kuvvetli olarak kesilmiş türbitler ile temsil edilir (Okay ve Tüysüz, 1999) (Şekil 1B).

## 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışma üç aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada kireçtaşlarının mineralojik ve petrografik, kimyasal ve malzeme özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada bu kireçtaşlarından üretilen agregaların, genel agregata

özellikleri, üçüncü aşamada ise bu agregalarla üretilen betonların taze ve sertleşmiş beton özellikleri ile birlikte alkali agrega reaktifliği incelenmiştir.



**Şekil 1.** A: Batı Anadolu'nun Tektonik Kuşakları (Erdoğan 1990). B: Çalışma Alanının ve Yakın Çevresinin Jeolojisi (Okay ve Tüysüz, 1999). (A: Tectonic Belts of Western Anatolia (Erdoğan 1990). B: Geology of The Study Area And Surroundings (Okay ve Tüysüz, 1999)).

Kireçtaşlarının mineralojik ve petrografik özelliklerini belirlemek için kırma taş ocaklarının genelini temsil edecek şekilde örnekleme yapılmış ve her ocağa ait kireçtaşlarından beş adet ince kesit hazırlanmıştır. Hazırlanan ince kesitlere TS 10088 EN 932-3 A1 (TSE, 2006)'a göre Olympus CX31 marka polarizan mikroskopta çift nikol 10X büyütmede petrografik analiz yapılarak mineral içerikleri belirlenmiştir. Kireçtaşlarının kimyasal özellikleri ise Acme Laboratuvarında (Kanada) Endüktif Eşleşmiş Plazma Emisyon Spektrometresi (ICP-ES) metodu kullanılarak ana oksitleri (%) ve iz elementleri (ppm) belirlenmiştir.

Kireçtaşlarının malzeme özellikleri TS 699 (TSE, 2009a)'da önerilen yöntemlere göre karot örnekler üzerinde yoğunlukları, gözeneklikleri, su emme değerleri ile basınç dayanımları ve nokta yükü dayanım indeksleri belirlenmiştir.

Kireçtaşı agregalarının fiziksel, mekanik ve termal özellikleri TS 706 EN 12620 A1 (TSE, 2009b)'e göre belirlenmiştir. Ocaklardan TS 10088 EN 932-1 (TS, 1997a)'e göre numune alınmış ve alınan bu numuneler laboratuvar ortamında TS EN 932-2 (TS, 1997b)'e göre gerekli deney miktarı için azaltılmıştır. Bu agregalardan üretilen taze betonun çökme değerleri TS EN 12350-2 (TSE, 2019a)'e göre birim hacim ağırlığı da TS EN 12350-6 (TSE, 2019b)'e göre belirlenmiştir. Sertleşmiş betonun basınç dayanımı ise TS EN 12390-3 (TSE, 2019c)'e göre belirlenmiştir. Kireçtaşı agregalarının alkali silika reaksiyonu ise CAN/CSA-A23.2-25A-14, (CAN, 2014)'e göre belirlenmiştir.

#### 4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

##### 4.1. Kireçtaşlarının Mineralojik ve Petrografik Özellikleri (Mineralogical and Petrographic Properties of Limestone)

Yapılan mineralojik petrografik analiz ile bölgede yer alan B ocağına ait kireçtaşının bağlayıcısı sparittir. Kayaç, büyük oranda (% 97) kalsit mineralinden oluşmuştur. Dolomit oranı % 2'yi geçmez ve kuvars oranı ise %1'den azdır (Tablo 2). Kayacın genelinde farklı yönlerde ikincil kalsit damarları olağandır. Taneler büyük oranda intraklast olup, daha az oranda ise pellet ve fosil parçalarından oluşmuştur. Folk (1962) kireçtaşı sınıflamasına göre B ocağına ait kireçtaşları intrabiyosparit-intrapelbiyosparit olarak adlandırılmıştır (Tablo 2).

K ocağına ait kireçtaşlarında kalsitlerin ikiz düzlemleri oldukça bükülmüş ve kıvrılmıştır. Mörtel dokusuna benzer bir dokunun görülmesi, bu kayacın düşük derecede metamorfik etkilere maruz kalmış olduğunun göstergesidir (Şekil 2). Kayaçta kalsit minerali % 95, dolomit minerali ise %5 oranındadır. Kayaçta çok az oranda demiroksit içerikli damarlar izlenmiştir. K ocağına ait kireçtaşları, Folk (1962) sınıflamasına göre sparitik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır (Tablo 2).

Z Ocağına ait kireçtaşlarında ise kalsit kristalleri oldukça ince tanelidir. Bol miktarda fosil ve pellet içerir. Kalsit minerallerindeki ikiz düzlemlerinin varlığı, K ocağına ait kireçtaşları gibi düşük derecede metamorfizma etkisiyle bükülmüş ya da kıvrılmış olduklarına işaret eder. Kayacın tamamına yakını (%99) kalsit mineralinden oluşmakta olup, Folk (1962) sınıflamasına göre sparitik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır (Tablo 2).

**Tablo 2.** Kireçtaşlarının Modal Analizi (Modal Analysis of Limestones)

Mineral (%)	B Ocağı	K Ocağı	Z Ocağı	Sınıflama (Folk, 1962)
Kalsit	%97	%95	>%99	Intrabiyosparit-intrapelbiyosparit
Dolomit	%2	%5	<1	Sparitik kireçtaşı
Kuvars	%1	-	-	Sparitik kireçtaşı intrabiyosparit

##### 4.2. Kireçtaşlarının Kimyasal Özellikleri (Chemical Properties of Limestone)

Kireçtaşı numunelerinden yaptırılan kimyasal analizlere ait ana oksitleri (%) ve iz elementlere ait veriler (ppm) Tablo 3'de verilmiştir. Kireçtaşı numunelerinin CaO miktarı B ocağında %55,03, K ocağında %53,58, Z ocağında %55,94'dır. MgO miktarı ise K ocağında % 2 diğer ocaklarda % 1'in altındadır. SiO<sub>2</sub> miktarı ise tüm ocaklarda % 0,5'in altındadır (Tablo 3).



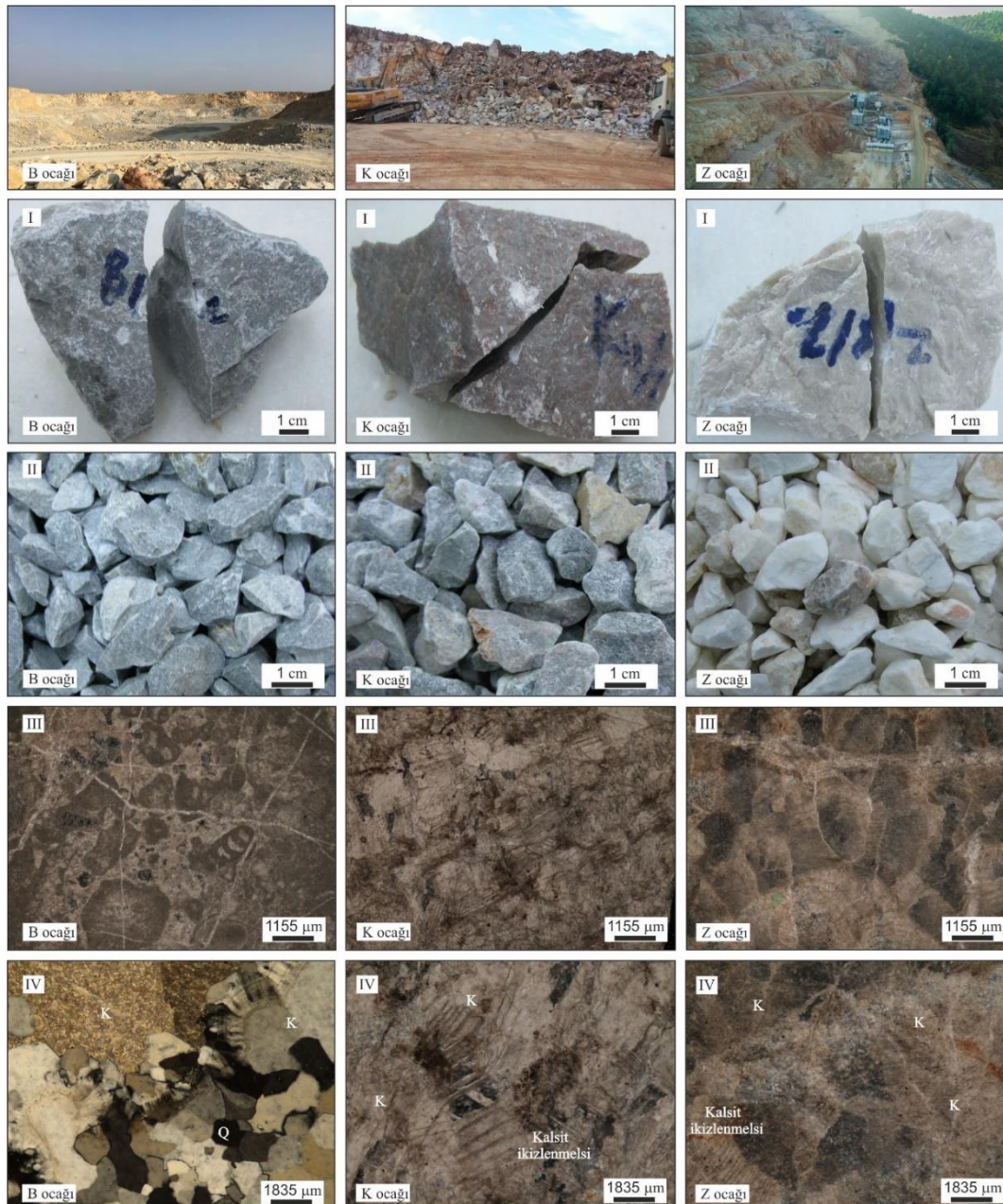
**Tablo 3.** Kireçtaşlarının Ana Oksitleri ve Bazı Nadir Elementleri (Major Oxides And Some Rare Elements of Limestone)

No	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ba	Ni	Sr	Zr	Y	Nb	Sc	KK*
%											ppm								
B	0,51	0,02	0,05	0,65	55,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,002	<5	<20	211	<5	<3	<5	<1	43,7
K	0,22	0,04	0,09	2,04	53,58	<0,01	<0,01	<0,01	0,11	<0,01	<0,002	<5	<20	144	<5	<3	<5	<1	43,8
Z	0,15	0,02	0,06	0,16	55,94	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,002	<5	<20	86	<5	<3	<5	<1	43,6

\*KK/LOI: Kızdırma kaybı/Lost on ignition

#### 4.3. Kireçtaşlarının Malzeme Özellikleri (Material Properties of Limestone)

Bölgedeki İAZ'ye ait kireçtaşlarının görünür yoğunluğu B ocağında ve K ocağında 2700 kg/m<sup>3</sup> iken Z ocağında yoğunluk 2688 kg/m<sup>3</sup>'e kadar düşmektedir. Gözeneklilik ise B ocağında ve K ocağındaki kireçtaşlarında % 0,2-0,25 arasında iken Z ocağında ise % 0,37'ye kadar çıkmaktadır. Buna bağlı olarak su emme değerleri de nispeten farklılıklar göstermektedir. B ocağındaki ve K ocağındaki kireçtaşlarının su emme değeri % 0,3 iken Z ocağında % 0,57'ye kadar çıkabilmektedir. Kireçtaşlarının nokta yükü dayanım indeksi değerleri 2,2-2,9 MPa arasında değişirken basınç dayanım değerleri ise 64-97 MPa arasında değişim göstermektedir (Tablo 4).



**Şekil 2.** I: Kireçtaşlarının El Örneği, II: Agregası, III-IV: İnce Kesit Görüntüsü, Q: Kuvars, K: Kalsit. (I:Hand Sample, II: Aggregate, III-IV: Thin Section View of Limestones, Q: Quartz, K: Calcite)

#### 4.4. Kireçtaşlarının Agregata Özellikleri (Aggregate Properties of Limestone)

Bölgedeki kireçtaşı ocaklarından alınan agregaların gevşek yığın yoğunlukları ve tane yoğunlukları tane çapına göre değişmekle birlikte ocaklar bazında bir farklılık göstermemektedir. Gevşek yığın yoğunluğu 12-22 mm tane çapındaki agregalarda 1416-1419 kg/m<sup>3</sup> arasında olup, tane yoğunlukları ise 2692-2701 kg/m<sup>3</sup> arasındadır. Aynı tane çapına sahip agregalarda su emme değerleri ise % 0,35-0,46 arasında değişmektedir. Tüm ocaklarda donma-çözülme deneyi sonrası kütle kaybı değeri %1'in altında bulunmuştur. Kireçtaşı agregalarının parçalanma direnci B ve Z ocağında sırasıyla % 23 ve 24 iken K ocağında bu değer % 29' lara kadar artmaktadır. Aşınma dirençleri ise tüm ocaklarda % 23-24 arasındadır (Tablo 5).

**Tablo 4.** Kireçtaşlarının Malzeme Özellikleri, \*Nokta Yükü Dayanım İndeksi, N: Deney Sayısı  
(Material Properties of Limestones, \* Point Load Strength Index, N: Number of Test)

Özellik	n	B Ocağı	K Ocağı	Z Ocağı	Standart
Görünür Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	6	2703 ± 8	2699 ± 3	2688 ± 7	TS EN 1936
Gerçek Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	6	2706 ± 8	2708 ± 2	2705 ± 2	TS EN 1936
Açık Gözeneklilik (%)	6	0,199 ± 0,059	0,255 ± 0,017	0,373 ± 0,198	TS EN 1936
Toplam Gözeneklilik (%)	6	0,308 ± 0,086	0,308 ± 0,043	0,567 ± 0,042	TS EN 1936
Su Emme (%)	6	0,074 ± 0,022	0,095 ± 0,006	0,163 ± 0,074	TS EN 13755
*Is <sub>50</sub> - Kuru (MPa)	6	2,94 ± 0,81	2,34 ± 0,84	2,75 ± 0,89	TS 699
*Is <sub>50</sub> - Doygun (MPa)	6	2,90 ± 0,94	2,18 ± 0,63	2,50 ± 0,91	TS699
Basınç Dayanım (MPa)	6	81,53 ± 3,70	64,24 ± 6,17	96,85 ± 11,62	TS EN 1926

**Tablo 5.** Kireçtaşlarının Agregata Özellikleri. \*Donma-Çözülme Sonrası Kütle Kaybı, N: Deney Sayısı.  
(Aggregate Properties of Limestone. Loos of Mass After Freezing And Thawing, N: Number of Test)

Özellik	n	B Ocağı	K Ocağı	Z Ocağı	Standartı	
Gevşek Yığın Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	0-5 mm	6	1578 ± 48	1593 ± 22	1603 ± 4	TS EN 1097-3
	5-12 mm	6	1466 ± 13	1447 ± 15	1450 ± 14	
	12-22 mm	6	1416 ± 7	1419 ± 2	1419 ± 1	
Sıkışık Yığın Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	0-5 mm	6	1898 ± 1	1904 ± 1	1913 ± 1	TS EN 1097-3
	5-12 mm	6	1636 ± 2	1665 ± 1	1663 ± 2	
	12-22 mm	6	1581 ± 1	1555 ± 2	1546 ± 1	
Tane Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	0-5 mm	6	2624 ± 22	2657 ± 14	2652 ± 26	TS EN 1097-6
	5-12 mm	6	2692 ± 6	2686 ± 6	2693 ± 3	
	12-22 mm	6	2702 ± 4	2692 ± 8	2697 ± 2	
Su Emme (%)	0-5 mm	6	1,31 ± 0,2	1,30 ± 0,0	1,11 ± 0,2	TS EN 1097-6
	5-12 mm	6	0,56 ± 0,2	0,60 ± 0,1	0,55 ± 0,1	
	12-22 mm	6	0,35 ± 0,1	0,46 ± 0,1	0,40 ± 0,1	
*Donma-Çözülme (%)	6	0,67 ± 0,15	0,77 ± 0,36	0,66 ± 0,26	TS EN 1367-2	
Parçalanma Direnci (%)	6	23,14 ± 0,85	28,62 ± 0,40	24,10 ± 0,97	TS EN 1097-2	
Aşınma Direnci (%)	6	23,73 ± 0,72	22,84 ± 0,96	24,50 ± 0,44	TS EN 1097-1	
Metilen Mavisi (g/kg)	3	0,66 ± 0,23	0,72 ± 0,16	0,50 ± 0,19	TS EN 933-9	
Kum Eşdeğeri (%)	3	71 ± 3	68 ± 2	72 ± 2	TS EN 933-8	
Organik madde tayini	6	Renksiz	Renksiz	Renksiz	TS EN 1744-1	
Kil Topağı Tayini (%)	0-5 mm		0,235 ± 0,183	0,075 ± 0,064	0,028 ± 0,008	ASTM C-142
	5-12 mm		0,094 ± 0,048	0,135 ± 0,233	0,010 ± 0,005	
	12-22 mm		0,077 ± 0,045	0,145 ± 0,282	0,008 ± 0,003	
Yassılık İndeksi (%)	20 mm	3	8.80	7.2	7.3	TS EN 933-3
	12,5 mm	3	12.17	9.075	9.45	
	10 mm	3	9.87	12.65	11.58	
	6,3 mm	3	7.73	16.325	13.08	
Şekil indeksi (%)	10-14 mm	3	13,70 ± 0,36	9,85 ± 1,33	13,05 ± 1,81	TS EN 933-4

Organik madde yönünden üç ocakta da bir kirlilik söz konusu değildir. İnce malzeme miktarları metilen mavisi değeri olarak 0,50-0,71 g/kg, kum eşdeğeri olarak da % 68-72 arasındadır. Kireçtaşı agregalarının yassılık indeksi

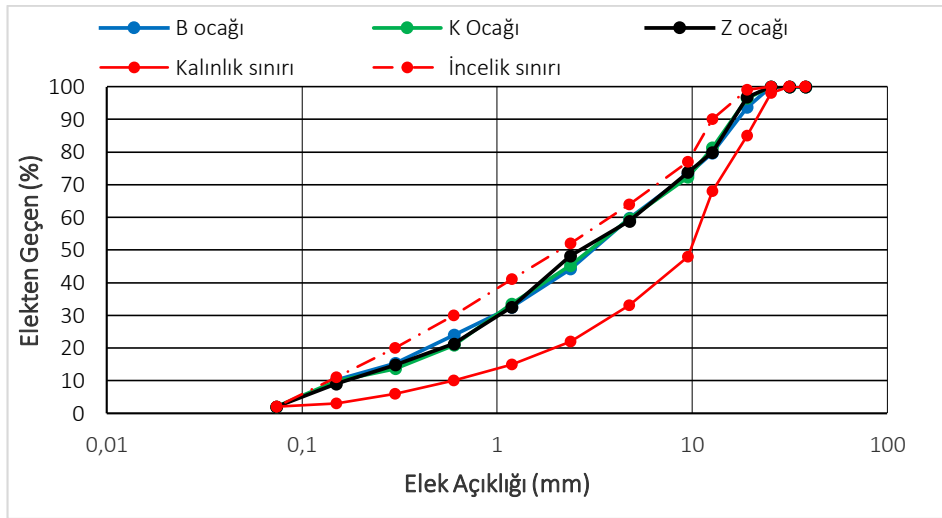
değerleri en fazla 6,3 mm tane çapına sahip agregalarda belirlenmiştir ve bu değer % 16'dır. Şekil indeksi değerleri ise % 9,85 -13,7 arasındadır (Tablo 5).

#### 4.5. Kireçtaşı Agregaları ile Üretilen Taze ve Sertleşmiş Betonun Özellikleri (Properties of Fresh and Hardened Concrete Produced with Limestone Aggregates)

Ocaklardan alınan kireçtaşı agregalarının beton kalitesini belirlemek için laboratuvarında 3 seriden oluşan deneme betonları üretilmiştir. Deneme beton üretiminde kullanılan agrega gradasyonu Şekil 3'de verilmiştir. Deneme betonlarının üretiminde Portland, CEM I 42.5 R tipi düşük alkali içerikli çimento, 0,58 su/çimento (s/ç) oranında kullanılmıştır (Tablo 6). Kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 7'da verilmiştir. Tüm beton karışımlarında çimento miktarı sabit tutulmuştur. Ayrıca işlenebilirliği arttırmak ve su/çimento oranını sabit tutmak için % 0,9-1,1 oranında akışkanlaştırıcı, su azaltıcı özellikte INKA BSC 950 kimyasal katkı kullanılmıştır (Tablo 6).

Sertleşmiş betonun dayanım özelliklerini belirlemek için Şekil 3'de verilen ideal agrega karışımı ve Tablo 6'da verilen karışım oranları kullanılarak hazırlanan taze betonlar 15x15x15 cm boyutunda kalıplara yerleştirilmiştir (Şekil 4). Üretimden 24 saat sonra betonlar kalıplarından çıkarılarak TS EN 12390-2'e göre (TSE, 2019d) 20 C° de sıcaklıkta su ile dolu kür havuzunda bekletilmişlerdir. Daha sonra bu beton küp örneklerinin TS EN 12390-3'e göre (TSE, 2010), 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri bulunmuştur (Şekil 5).

Kireçtaşı agregalarından üretilen deneme betonlarında yoğunluk 2369 -2377 kg/m<sup>3</sup> arasında, çökme değeri ise 200-210 mm arasında ölçülmüştür (Tablo 8). Kireçtaşı agregalarından üretilen deneme betonlarının basınç dayanımları K ve Z agregaları ile üretilen betonlarda C25/30 basınç dayanımı sınıfına 2. günde ulaşmıştır. B agregası ile üretilen beton 7. gün sonunda C25/30 dayanım sınıfı değerini ulaşmıştır. 28 gün sonunda basınç dayanımı testinde en yüksek dayanımı 45,2 MPa değer ile Z betonu vermiştir. K ve B agregaları ile üretilen betonlar sırasıyla 40,4 MPa ve 33,1 MPa değerlerini vermiştir (Tablo 9).



Şekil 3. Beton Üretiminde Kullanılan Agrega Karışım Oranları  
(Aggregate Mixing Ratios Used in Concrete Production)

Tablo 6. Deneme Betonlarında Kullanılan Agrega, Su/Çimento (S/Ç) ve Katkı Oranları.  
(Aggregate, Water/Cement and Additive Ratios Used in Production Concretes).

Beton Adı	Çimento		Gradasyon (% - kg)						s/ç	Katkı	
	Tipi	Doz (kg)	0-5 mm		5-12 mm		12-22 mm			%	kg
			%	kg	%	kg	%	kg			
B Betonu	42,5 R	290	52	984	23	444	25	483	0,58	1,1	3,2
K Betonu	42,5 R	290	56	1066	18	346	26	500	0,58	1	2,9
Z Betonu	42,5 R	290	55	1037	22	425	23	444	0,58	0,9	2,6

**Tablo 8.** Kireçtaşı Agregaları İle Üretilen Taze Betonun Özellikleri, N: Deney Sayısı.  
(Properties of Fresh Concrete Produced with Limestone Aggregates, N: Number of Test)

Taze Beton Deneyleri	n	B Ocağı	K Ocağı	Z Ocağı	Standart
Sıcaklık (°C)	3	17,5	21,1	17,6	
Slump (mm)	3	200	200	210	TS EN 12350-2
Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	3	2370	2377	2369	TS EN 12350-6

**Tablo 7.** Beton Üretiminde Kullanılan CEM I 42,5 Çimentosunun Özellikleri  
(Properties of CEM I 42.5 R Cement Used in The Production Concretes)

Çimento Özelliği	CEM I 42,5 R	TS 197-1
<b>Kimyasal Özellikler</b>		
MgO (%)	1,53	-
Na <sub>2</sub> O (%)	0,46	-
K <sub>2</sub> O (%)	0,73	-
SO <sub>3</sub> (%)	2,87	≤ 4,0
Kızdırma Kaybı (%)	3,44	≤ 5,0
Cl-Klor (%)	0,006	≤ 0,10
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,35	≤ 5,0
C <sub>3</sub> S-Trikalsiyum silikat (%)	70,33	-
C <sub>2</sub> S-Dikalsiyum silikat (%)	0,14	-
C <sub>3</sub> A-Trikalsiyum alüminat (%)	6,65	-
C <sub>4</sub> AF-Tetrakalsiyum (%)	10,23	-
<b>Fiziksel Özellikler</b>		
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3,13	-
Özgül Yüzey (g/cm <sup>2</sup> )	3370	-
İncelik (0,090 mm elek üstü)	0,6	-
Hacim Sabitliği (mm)	0,5	≤ 10
Priz süresi (dk)	Başlangıç: 170 dk	≥ 60
	Sona Erme: 270 dk	-
<b>Basınç Dayanımı (MPa)</b>		
2 gün	31,45	≥ 18
7 gün	43,40	-
28 gün	55,15	42,5-62,5



**Şekil 4.** Çökme Deneyi ve Taze Betonun Kalıplara Yerleştirilmesi  
(Slump Test and Placing Fresh Concrete Into Molds)





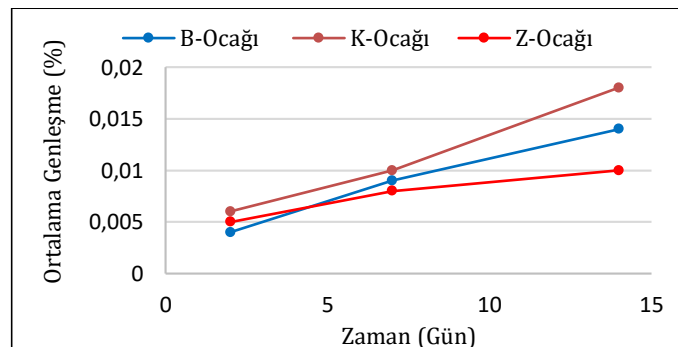
Şekil 5. Kür Havuzu ve Beton Basınç Dayanımı Testi  
(Curing Pool and Concrete Compressive Strength Test)

Tablo 9. 2, 7 ve 28 Günlük Beton Basınç Dayanımları  
(Concrete Compressive Strength for 2, 7 and 28 Days)

Beton Adı	Basınç Dayanımı (MPa)					
	Yaş (Gün)					
	2.	Ortalama	7.	Ortalama	28.	Ortalama
B Betonu	28,8	28,9	35,8	35,7	40,4	40
	29,0		35,7		39,0	
	28,9		35,5		40,6	
K Betonu	32,0	32,2	37,6	37,6	41,3	40,4
	32,2		37,5		40,9	
	32,4		37,6		39,1	
Z Betonu	33,4	33,1	39,4	39,2	45,6	45,2
	32,9		39,0		44,8	
	33,0		39,1		45,2	

#### 4.6. Alkali Silika Reaksiyonu (Alkaline Silica Reaction)

Alkali silika reaksiyonu deneyleri 0-5 mm tane boyutuna sahip kireçtaşı agregalarında CANADA CSA 23.2–25A'ya (2014) göre yapılmıştır. Deneyde alkali içeriği % 0.6'dan büyük olan CEM I 42,5 R sınıfı çimento kullanılmıştır. 2,25 agrega/çimento ve 0,47 su/çimento oranında hazırlanan karışım 25 x 25 x 285 mm boyutlarındaki harç çubukları kalıplarına dökülmüştür. Çubuklar 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış ve saf suda bekletilmiştir. 24 saat suda bekletilen çubukların boy ölçümleri alınmıştır. Daha sonra 80 °C sıcaklıkta NaOH çözeltisine maruz bırakılan çubukların, 2 gün, 7 gün ve 14 günlük boy ölçümleri alınarak genleşme % değerleri hesaplanmıştır. 14 günün sonunda beton çubukların boyca genleşme değerleri limit değer olan % 0,15'in altında kaldığı, böylelikle ocaklardan elde edilen agregaların alkali silis yönünden reaktif agregalar olmadığı görülmüştür (Şekil 6).



Şekil 6. Harç Çubuklarının Genleşme Değerleri (Mortar Bars Expansion Values)

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

İncelenen kireçtaşları İzmir –Ankara Zonu’na ait Orta Triyas-Kratase yaşlı kireçtaşlarıdır. Bakacak ve Kırkağaç yöresi kireçtaşları büyük oranda (% 97-99) kalsit mineralinden oluşan kireçtaşlarıdır. Kızılören yöresine ait olanlar ise kalsit (% 95) minerali ile birlikte az oranda dolomit (% 5) minerali de içerdiğinden, dolomitik kireçtaşı özelliğindedir.

Bu kireçtaşları düşük poroziteli (% 0,2-0,37), (NBG, 1985), orta derecede dayanımlı ( $\sigma = 65-97$  MPa), (Deere ve Miller, 1966) kayaçlardır. Bu kayaçlar düşük su emme değerlerine (< % 0,5) sahip normal yoğunlukta (2400-2800 kg/m<sup>3</sup>) kayaçlar olup, konkasör ile kırıldıklarında köşeli ve küresel tane şekline sahip agregalar elde edilmektedir. Bu agregalar, ilgili standartlarda verilen yöntemlere göre test edildiğinde ince malzeme ve organik madde miktarları bakımından temiz agregalar olup, donma-çözülme etkisine de dayanıklı agregalardır.

Bakacak ve Kırkağaç yöresi ocaklarından üretilen kireçtaşı agregalarının Los Angeles (parçalanma) kategorisi 25, Kızılören yöresi kireçtaşlarında bu kategori 30’dur. Mikro Deval (aşınma) kategorisi değerleri ise tüm ocaklarda 25’dir.

Yöredeki kireçtaşı ocaklarından üretilen agregalar büyük oranda karbonat minarelerinden oluşur. Karbonat olmayan minerallerin toplam ana oksitleri % 0,6’dan azdır. Bu neden ile alkali silika reaksiyonu testlerinde belirgin bir genleşmeye sebep olmamıştır.

Bu kireçtaşlarından elde edilen agregalar ile üretilen betonlar erken yaştaki (7 günlük) C25/30 sınıfı beton dayanımına ulaşmıştır. Standart yaştaki (28 günlük) beton dayanımları ise 40 ila 45 MPa değerlerini vermiştir. Sonuç olarak yöredeki, İzmir-Ankara Zonu’na ait kireçtaşları beton üretimi için uygun agrega kaynağıdır.

## Teşekkür (Acknowledgement)

Yazarlar katkılarından dolayı Nurol İnşaat firmasına, makalenin değerlendirme aşamasında önerileri ile katkılar sağlayan hakemlere ve bu derginin çıkarılmasında emeği geçen tüm yayın ekibine teşekkür eder.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

## Kaynaklar (References)

- Akman, S. M., 1984. Beton Agregaları. Beton Semineri, D.S.İ. Yayın No: 16 15-28 Ankara.
- Alptuna, G., 2009. Dolomit kökenli agregaların alkalikarbonat reaktivitesinin araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Yüksek Lisans Tezi, 194 s (yayımlanmamış).
- ASTM C 142, 2017. Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates, American Society for Testing and Materials.
- Baradan, B., 2004. Yapı Malzemesi II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yayın No. 207.
- Bell, F. G., 2006. Mühendislik Jeolojisi ve İnşaat (Çeviren K. Kayabalı, Engineering Geology and Construction, 2004). Ankara, Sistem Ofset.
- Binal, A., 2004. Pesimum reaktif agrega içeriğinin alkali-silika reaksiyonuna etkisinin deneysel yöntemlerle araştırılması. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, 17 (2), 119-128.
- CAN/CSA-A23.2-25A-14, 2014. Test Method for Detection of Alkali-Silica Reactive Aggregate by Accelerated Expansion of Mortar Bars, Canadian Standards Association.
- 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.
- Deere, D. U., and Miller, R. P. 1966. Classification and index properties of intact rock. Technical Report AFWL-TR-65-116, AF Speical Weapons Center, Kirtland Air Force Base, New Mexico.
- Elçi, H., Türk, N., ve İşintek, İ. (2014). İzmir Karaburun Yarımadasındaki Farklı Kireçtaşlarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 38(2).
- Erdoğan, B. (1990). İzmir-Ankara Zonu İle Karaburun Kuşağının Tektonik İlişkisi, MTA Dergisi, 110,1-15.
- French, W. J., 1991. Concrete Petrography: a review. Quarterly Journal Engineering Geology, 24, 17-48
- Folk, R. L., 1959. Practical petrographic classification of limestones. American Association Petroleum Geologist, 43, 1-38.
- Hasdemir, S., Tuğrul, A., Yılmaz M., 2012. Evaluation of alkali reactivity of natural sands. Construction and Building Materials. 29, 378-385.
- Okay, A. I., Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures of northern Turkey. In: Durand B., Jolivet L., Horvath, F. & Seranne M. (eds). Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geological Society of London, Special Publication (156), 475-515
- Katayama, T., 2004. How to Identify Carbonate Rock Reactions in Concrete. Materials Characterization, 53, 85-104.

- Lorenzi, G., Jensen, J., Wigum, B. 2001. Petrographic Atlas of The Potentially Alkali-Reactive Rocks in Europe. Geological Survey of Belgium, 2006/01 - 302, 64p.
- McNally, G.H., 1998. Soil and Rock Construction Materials. E & FN Spon, London, 403 p.
- NBG, 1985. Engineering Geology and Rock Engineering. Norwegian Group of Rock Mechanics, Fornebu, Norway, 249 p.
- Qian, G., Deng, M., Thang, M., 2001. Expansion of Siliceous and Dolomitic Aggregates Lithium Hydroxide Solution, Cement and Concrete Research, 32, 763-768.
- Qian, G., Deng, M., Lan, X., Xu, Z., Tang, M., 2002. Alkali Carbonate Reaction Expansion of Dolomitic Limestone Aggregates With Porphyrotopic Texture. Engineering Geology, 63, 17-29.
- RILEM TC 191-ARP., 2005. Alkali-reactivity and prevention - Assessment, specification and diagnosis of alkali-reactivity AAR-5: Rapid preliminary screening test for carbonate aggregates. Material and Structures, 38, 787-792.
- Smith, M. R., Collis, L., 2001. Aggregates: Sand, Gravel and Crushed Rock Aggregates for Construction Purposes. Geological Society, London, UK, Engineering Geology, Special Publication, 17.
- TS 699. (Mart 2009). Tabii Yapı Taşları – Muayene ve Deney Metotları. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 802, 2016. Beton karışım tasarımı hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1/A3. (Şubat 2010) Çimento – bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 1926. (Temmuz 2007). Doğal Taşlar – Deney Metotları – Basınç Dayanımı Tayini. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1936. (Ocak 2010). Doğal taşlar - Deney metotları – Gerçek yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 13755. (Nisan 2009). Doğal Taşlar - Deney Metotları - Atmosfer basıncında su emme tayini. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10088 EN 932-3 A1, 2006. Agregaların genel özellikleri için deneyler-Kısım 3: Basitleştirilmiş petrografik tanımlama için işlem ve terminoloji, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 932-1, 1997. Agregaların genel özellikleri için deneyler-Kısım 1 numune alma metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 932-2, 1999. Agregaların genel özellikleri için deneyler-Bölüm 2: Laboratuvar numunelerin azaltılması metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620+A1, 2009. Beton Agregaları Deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-3, 1999. Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler-Bölüm 3:Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-4, 2009. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 4: Tane şeklinin tayini-Şekil endeksi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-2, 2010. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-2, 2019a. Beton - Taze beton deneyleri-Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-6, 2019b. Beton-Taze beton deneyleri-Bölüm 6: Yoğunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2019c. Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-2, 2019d. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-1, 2011. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro-Deval), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367-2, 2011. Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler-Bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-3, 2012. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 3: Tane Şekli Tayini - Yassılık Endeksi. 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 1744-1+A1, 2013. Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Kimyasal analiz, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-8. 2001. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 8: İnce Tanelerin Tayini –Kum Eşdeğeri Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-9+A1, 2014. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 9: İnce malzeme tayini-Metilen mavisi deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- West, G., 1996. Alkali-aggregate reaction in concrete roads and bridges. Thomas Telford, London 163 p.
- Zarif, İ. H., Tuğrul, A., Dursun, G., 2003. İstanbul'daki kireçtaşlarının agrega kalitesi yönünden değerlendirilmesi. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yerbilimleri Dergisi, 16, 61-70.