

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**KIRKAĞAÇ (MANİSA), KIZILÖREN (SOMA-MANİSA) VE  
BAKACAK (KARESİ- BALIKESİR) CİVARINDA YÜZEYLEYEN  
KİREÇTAŞLARININ BETON AGREGASI OLARAK  
KULLANILABİLİRLİĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÖZGE ÖZSU**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2019**

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**KIRKAĞAÇ (MANİSA), KIZILÖREN (SOMA-MANİSA) VE**  
**BAKACAK (KARESİ- BALIKESİR) CİVARINDA YÜZEYLEYEN**  
**KİREÇTAŞLARININ BETON AGREGASI OLARAK**  
**KULLANILABİLİRLİĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÖZGE ÖZSU**

**Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Şener CERYAN (Tez Danışmanı)**

**Doç Dr. Arın YILMAZ**

**Doç. Dr. Hakan ELÇİ**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Özge ÖZSU** tarafından hazırlanan “**KIRKAĞAÇ (MANİSA), KIZILÖREN (SOMA-MANİSA) VE BAKACAK (KARESİ- BALIKESİR) CİVARINDA YÜZEYLEYEN KİREÇTAŞLARININ BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 14.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

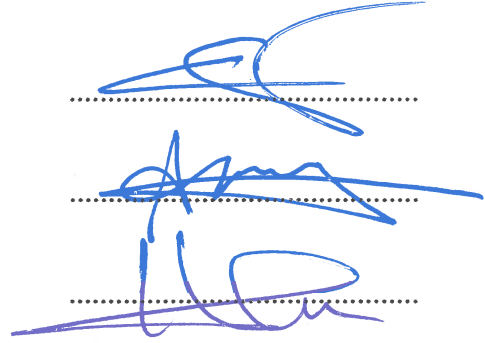
Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Prof. Dr. Şener CERYAN

Üye  
Doç. Dr. Arın YILMAZ

Üye  
Doç. Dr. Hakan ELÇİ



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

## ÖZET

**KIRKAĞAÇ (MANİSA), KIZILÖREN (SOMA-MANİSA) VE BAKACAK  
(KARESİ- BALIKESİR) CİVARINDA YÜZEYLEYEN  
KİREÇTAŞLARININ BETON AGREGASI OLARAK  
KULLANILABİLİRLİĞİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÖZGE ÖZSU  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ŞENER CERYAN)  
BALIKESİR, HAZİRAN - 2019**

Bu çalışmada; İzmir – Ankara Zonunun Balıkesir ve Manisa illeri arasında yüzeyleyen Triyas yaşlı kireçtaşları içerisinde açılan kırmataş ocaklarından üretilen agregaların beton üretimi için kullanılması durumunda, agrega özelliklerinin beton kalitesine ve dayanımına etkisi 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 dayanım sınıfına (C25/30) erken yaşlarda ulaşılmıştır. Alkali Silika Reaksiyonu yönünden reaktif olmayan bölgedeki kireçtaşları beton yapımında kullanıldığında (28 günlük) 40 MPa basınç dayanımına sahip (normal dayanımlı) betonlar elde etmek mümkündür.

**ANAHTAR KELİMELER:** İzmir- Ankara Zonu, kireçtaşları, beton agregası, yapı malzemesi.

## **ABSTRACT**

**USABILITY AS CONCRETE AGGREGATE OF LIMESTONES  
OUTCROPPING AROUND KIRKAĞAÇ (MANİSA), KIZILÖREN  
(SOMA-MANİSA), BAKACAK (KARESİ-BALIKESİR)**

**MSC THESIS**

**ÖZGE ÖZSU**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**GEOLOGICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. ŞENER CERYAN )**

**BALIKESİR, JUNE 2019**

In this thesis study; The effects of aggregate properties on concrete quality and strength were investigated to determine in the concrete production of aggregates obtained from crushed stone quarries in Triassic limestones between Balıkesir and Manisa from İzmir - Ankara Suture Zone. The limestones in the region are of low porosity, moderately strength limestones and normal density aggregates can be obtained from these limestones. These aggregates was reached at an early age expected concrete strength, when mixed with 0,58 water/cement ratio. The aggregates of in the region are non-reactive about Alkali Silica Reaction and it can be produced 40 MPa (normal strength) compressive strength concrete.

**KEYWORDS:** Izmir- Ankara Zone, limestones, material of construction, concrete aggregate.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>i</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Amacı .....	1
1.2 Agregalar Hakkında Genel Bilgiler.....	1
1.3 Beton Hakkında Genel Bilgiler .....	5
1.4 Çalışma Alanı .....	6
1.5 Önceki Çalışmalar .....	8
1.5.1 Çalışma Alanının Jeolojisi İle ilgili Çalışmalar .....	8
1.5.2 Tez Konusu İle İlgili Çalışmalar.....	9
1.6 Çalışma Yöntemleri.....	12
<b>2. ÇALIŞMA ALANLARININ GENEL JEOLJİSİ</b> .....	<b>13</b>
2.1 B Ocağı ve Civarının Jeolojisi .....	17
2.1.1 Triyas Yaşlı Birimler .....	17
2.1.2 Üst Kretase-Alt Paleosen Yaşlı Birimler .....	17
2.1.3 Alt Miyosen- Ort Miyosen Yaşlı Birimler.....	17
2.2 K Ocağı ve Civarının Jeolojisi .....	19
2.2.1 Orta Triyas- Jura Yaşlı Birimler .....	19
2.2.2 Alt Miyosen-Orta Miyosen Yaşlı Birimler.....	19
2.3 Z Ocağı ve Civarının Jeolojisi.....	20
2.3.1 Orta Triyas-Liyas Yaşlı Birimler .....	20
2.3.2 Alt Kretase Yaşlı Birimler .....	21
2.3.3 Alt Miyosen - Orta Miyosen Yaşlı Birimler .....	21
2.3.4 Kuvaterner Yaşlı Birimler .....	21
<b>3. PETROGRAFİK VE KİMYASAL ANALİZLER</b> .....	<b>23</b>
3.1 Petrografik Analiz Sonuçları .....	23
3.2 Kimyasal Analiz Sonuçları.....	28
<b>4. DENEYLER VE BULGULAR</b> .....	<b>30</b>
4.1 Kireçtaşlarının Fiziksel Özellikleri .....	31
4.1.1 Açık Gözeneklilik ve Görünür Yoğunluk Tayini .....	31
4.1.2 Su Emme Tayini .....	32
4.1.3 Ultrases Hız Testi.....	34
4.2 Kireçtaşlarının Mekanik Özellikleri.....	36
4.2.1 Nokta Yük Dayanım İndeksi Tayini .....	36
4.2.2 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi .....	42
4.3 Agrega Deneyleleri .....	44
4.3.1 Agregalardan Numune Alma ve Hazırlama.....	45
4.3.2 Eleme Metodu İle Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini .....	46
4.3.3 Yassılık İndeksi Deneyi .....	51
4.3.4 Şekil İndeksi Tayini .....	54

4.3.5	Sıkışık ve Gevşek Birim Hacim Ağırlık Deneyi .....	56
4.3.6	Agregaların Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini .....	61
4.3.7	Dona Dayanıklılık Deneyi (Magnezyum Sülfat İle).....	66
4.3.8	Los Angeles Parçalanma Deneyi .....	69
4.3.9	Micro Deval Aşınma Deneyi .....	72
4.3.10	Modifiye Agregada Darbe Değeri .....	75
4.3.11	İnce Tanelerin Tayini - Metilen Mavisi Deneyi .....	78
4.3.12	Kil Topağı Tayini.....	81
4.3.13	Organik Madde Tayini .....	82
4.3.14	Alkali-Silika Reksiyonu (Hızlandırılmış Harç Çubuk Metodu)....	84
4.4	Taze ve Sertleşmiş Beton Özelliklerine İlişkin Çalışmalar.....	88
4.4.1	Beton Karışım Dizaynı ve Numunelerin Hazırlığı .....	89
4.4.2	Birim Hacim Ağırlık Deneyi .....	94
4.4.3	Çökme (Slump) Testi.....	94
4.4.4	Beton Basınç Dayanımı Deneyi.....	96
<b>5.</b>	<b>SONUÇLAR.....</b>	<b>98</b>
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>102</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	7
Şekil 2.1: Batı Anadolu Tektonik Kuşakları (Erdoğan, 1990)'dan alınarak çizilmiştir.....	13
Şekil 2.2: Tez konusu kapsamındaki kireçtaşlarının dağılımı.....	15
Şekil 2.3: Bölgenin genel jeoloji.....	16
Şekil 2.9: Z ocağı kireçtaşı litolojisinden görüntü.....	22
Şekil 3.1: B1 kesitinde görülen fosiller ve ikincil kalsit damarları.....	24
Şekil 3.2: B3 kesitinde görülen sekonder kalsit damarı.....	24
Şekil 3.3: B2 kesitinde görülen sparitik hamur içerisindeki kalsit mineralleri.....	25
Şekil 3.4: B4 kesitinde görülen sferülitik dokuda kuvars ve kalsit mineralleri.....	25
Şekil 3.5: B4 kesitinde görülen granoblastik doku içerisindeki kalsit ve kuvars mineralleri.....	26
Şekil 3.6: K1 kesitinde görülen iyi ikizlenme gösteren kalsit mineralleri.....	26
Şekil 3.7: K3 kesitinde görülen hasır ikizli iri kalsit mineralleri.....	27
Şekil 3.8: K4 kesitinde görülen kalsit mineralleri ve içerdiği ikincil damarların görünümü.....	27
Şekil 3.9: Z1 kesitinde görülen kalsit mineralleri.....	28
Şekil 3.10: Z3 kesitinde görülen mükemmel hasır ikizli kalsit kristalleri ve büyük kalsit damarı.....	28
Şekil 4.1: Kireçtaşlarının suda tartımı.....	32
Şekil 4.2: Ultrases hız deneyi cihazı ve deneyi.....	35
Şekil 4.3: Nokta yük dayanım indisi deney cihazı ve deneyin yapılışı.....	37
Şekil 4.4: Deney numunelerinin kırılma şekilleri.....	37
Şekil 4.5: Tek eksenli basınç dayanımı deneyi fotoğrafları.....	43
Şekil 4.6: Çeyrekleme yöntemi ile numune miktarı azaltma.....	45
Şekil 4.7: El ile eleme işlemi.....	47
Şekil 4.8: Soldan sağa 5-12 mm, 0-5 mm, 12-22 mm çapta agrega numuneleri.....	47
Şekil 4.9: Ocaklardan alınan 0-5 mm boyutu agrega gradasyon dağılımları.....	50
Şekil 4.10: Ocaklardan alınan 5-12 mm boyutlu agrega gradasyon dağılımları.....	50
Şekil 4.11: Ocaklardan alınan 12-22 mm boyutlu agrega gradasyon dağılımları.....	50
Şekil 4.12: Yassılık şablonu ile eleme.....	51
Şekil 4.13: Birim ağırlık deneyi kapları.....	57
Şekil 4.14: Los Angeles cihazı.....	70
Şekil 4.15: Micro Deval deneyi öncesi ve sonrası agrega numunelerinin görünümü.....	73
Şekil 4.16: Micro-Deval deney cihazı.....	74
Şekil 4.17: Agrega darbe dayanımı deneyi cihazı ve deneyin yapılışı.....	75
Şekil 4.18: Metilen mavisi deneyi cihazı ve deneyin yapılışı.....	79
Şekil 4.19: B ocağı numuneleri alkali silika reaksiyonu deneyi genleşme grafiği.....	87



<b>Şekil 4.20:</b> K ocağı numuneleri alkali silika reaksiyonu deneyi genişme grafiği. ....	87
<b>Şekil 4.21:</b> Z ocağı numuneleri alkali silika reaksiyonu deneyi genişme grafiği. ....	87
<b>Şekil 4.22:</b> B ocağı agregaları gradasyon eğrisi. ....	92
<b>Şekil 4.23:</b> K ocağı agregaları gradasyon eğrisi. ....	93
<b>Şekil 4.24:</b> Z ocağı agregaları gradasyon eğrisi.....	94
<b>Şekil 4.25:</b> Taze beton deneyleri ve taze betonun kalıplara yerleştirilmesi. ....	95
<b>Şekil 4.26:</b> Kür havuzu ve beton basınç dayanımı testi fotoğrafları.....	96
<b>Şekil 4.27:</b> Üretilen betonların basınç dayanımları karşılaştırma grafiği. ....	97

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 4.1: Yapılan deney ve analizler. ....	30
Çizelge 4.2: B ocağı kireçtaşlarının açık gözeneklilik yüzdesi ( $p_o$ ), görünür yoğunluğu ( $p_b$ ) ve su emme yüzdesi ( $A_b$ ) sonuçları. ....	33
Çizelge 4.3: K ocağı kireçtaşlarının açık gözeneklilik yüzdesi ( $p_o$ ), görünür yoğunluğu ( $p_b$ ) ve su emme yüzdesi ( $A_b$ ) sonuçları. ....	33
Çizelge 4.4: Z ocağı kireçtaşlarının açık gözeneklilik yüzdesi ( $p_o$ ), görünür yoğunluğu ( $p_b$ ) ve su emme yüzdesi ( $A_b$ ) sonuçları. ....	33
Çizelge 4.5: B ocağı numunelerinin ultrases hız testi deney sonuçları. ....	35
Çizelge 4.6: K ocağı numunelerinin ultrases hız testi deney sonuçları. ....	35
Çizelge 4.7: Z ocağı numunelerinin ultrases hız testi deney sonuçları. ....	36
Çizelge 4.8: Kayaçların nokta yük dayanım direncine göre sınıflandırılması (Karaman, Kesimal, 2012). ....	38
Çizelge 4.9: B ocağı numuneleri nokta dayanım indeksi sonuçları. ....	39
Çizelge 4.10: B ocağı doygun numuneleri nokta dayanım indeksi sonuçları. ....	40
Çizelge 4.11: K ocağı numuneleri nokta dayanım indeksi sonuçları. ....	40
Çizelge 4.12: K ocağı doygun numuneleri nokta dayanım indeksi sonuçları. ....	41
Çizelge 4.13: Z ocağı numuneleri nokta dayanım indeksi sonuçları. ....	41
Çizelge 4.14: Z ocağı doygun numuneleri nokta dayanım indeksi sonuçları. ....	42
Çizelge 4.15: Kayaların dayanım sınıflaması (Deere and Miller (1966)'dan değiştirilerek çizilmiştir.) ....	43
Çizelge 4.16: B ocağı kireçtaşları tek eksenli basınç dayanımı sonuçları. ....	44
Çizelge 4.17: K ocağı kireçtaşları tek eksenli basınç dayanımı sonuçları. ....	44
Çizelge 4.18: Z ocağı kireçtaşları tek eksenli basınç dayanımı sonuçları. ....	44
Çizelge 4.19: Agregata tane büyüklüğüne göre numune kütleleri (ASTM C-136, 2014). ....	47
Çizelge 4.20: B ocağı agregalarının elek analizi sonuçları. ....	48
Çizelge 4.21: K ocağı agregalarının elek analizi sonuçları. ....	49
Çizelge 4.22: Z ocağı agregalarının elek analizi sonuçları. ....	49
Çizelge 4.23: Yassılık indeksi kategorileri (TS 706 EN 12620+A1, 2009). ....	52
Çizelge 4.24: B Ocağı agregata numunelerinin yassılık indeksi değerleri. ....	53
Çizelge 4.25: K Ocağı agregata numunelerinin yassılık indeksi değerleri. ....	53
Çizelge 4.26: Z Ocağı agregata numunelerinin yassılık indeksi değerleri. ....	54
Çizelge 4.27: Şekil indeksi kategorileri (TS 706 EN 12620 +A1; TS, 2009a). ....	55
Çizelge 4.28: B ocağı örnekleri şekil indisi sonuçları. ....	55
Çizelge 4.29: K ocağı örnekleri şekil indisi sonuçları. ....	55
Çizelge 4.30: Z ocağı örnekleri şekil indisi sonuçları. ....	56
Çizelge 4.31: B ocağı gevşek-sıkışık birim ağırlık değerleri. ....	58
Çizelge 4.32: K ocağı gevşek-sıkışık birim ağırlık değerleri. ....	59
Çizelge 4.33: Z ocağı gevşek-sıkışık birim ağırlık değerleri. ....	60
Çizelge 4.34: B Ocağı numuneleri tane yoğunluğu ve su emme değerleri. ....	63

<b>Çizelge 4.35:</b> K Ocağı numuneleri tane yoğunluğu ve su emme değerleri. ....	64
<b>Çizelge 4.36:</b> Z Ocağı numuneleri tane yoğunluğu ve su emme değerleri.....	65
<b>Çizelge 4.37:</b> Magnezyum sülfat don dayanıklılığı değerlerine göre kategoriler (TS 706 EN 12620 +A1; TS, 2009a).....	66
<b>Çizelge 4.38:</b> B Ocağı agregalarının dona dayanıklılık deneyi sonuçları. ....	67
<b>Çizelge 4.39:</b> K Ocağı agregalarının dona dayanıklılık deneyi sonuçları. ....	68
<b>Çizelge 4.40:</b> Z Ocağı agregalarının dona dayanıklılık deneyi sonuçları.....	68
<b>Çizelge 4.41:</b> En büyük Los Angeles değerine göre kategoriler (TS 706 EN 12620 +A1; TS, 2009a). ....	69
<b>Çizelge 4.42:</b> B Ocağı numuneleri parçalanma yüzde değerleri ve LA kategorileri. ....	71
<b>Çizelge 4.43:</b> K Ocağı numuneleri parçalanma yüzde değerleri ve LA kategorileri. ....	71
<b>Çizelge 4.44:</b> Z Ocağı numuneleri parçalanma yüzde değerleri ve LA kategorileri. ....	71
<b>Çizelge 4.45:</b> En yüksek aşınmaya karşı direnç değerleri kategorileri (TS 706 EN 12620 +A1; TS, 2009a). ....	72
<b>Çizelge 4.46:</b> B ocağı Micro-Deval deneyi sonuçları.....	74
<b>Çizelge 4.47:</b> K ocağı Micro-Deval deneyi sonuçları. ....	74
<b>Çizelge 4.48:</b> Z ocağı Micro-Deval deneyi sonuçları.....	74
<b>Çizelge 4.49:</b> Agregada darbe dayanım sınıflama değeri çizelgesi (Külekçi, 2018). ....	76
<b>Çizelge 4.50:</b> B Ocağı agregalarının MAIV deneyi sonuçları.....	76
<b>Çizelge 4.51:</b> K Ocağı agregalarının MAIV deneyi sonuçları. ....	77
<b>Çizelge 4.52:</b> Z Ocağı agregalarının MAIV deneyi sonuçları.....	77
<b>Çizelge 4.53:</b> B Ocağı agrega numuneleri metilen mavisi deney sonuçları.....	80
<b>Çizelge 4.54:</b> K Ocağı agrega numuneleri metilen mavisi deney sonuçları.....	80
<b>Çizelge 4.55:</b> Z Ocağı agrega numuneleri metilen mavisi deney sonuçları.....	80
<b>Çizelge 4.56:</b> Ocaklardan alınan numunelerinin kil topağı tayini sonuçları.....	82
<b>Çizelge 4.57:</b> Çözelti rengine göre agregaların kullanılabilirliği (Baradan, 2006). ....	83
<b>Çizelge 4.58:</b> Agregaların organik madde deney sonuçları.....	84
<b>Çizelge 4.59:</b> B ocağı 3-7-14 günlük alkali silika testi sonuçları.....	86
<b>Çizelge 4.60:</b> K ocağı 3-7-14 günlük alkali silika testi sonuçları.....	86
<b>Çizelge 4.61:</b> Z ocağı 3-7-14 günlük alkali silika testi sonuçları. ....	86
<b>Çizelge 4.62:</b> CEM I 42,5 R Çimentosuna ait kimyasal, fiziksel ve mekanik dayanım değerleri.....	88
<b>Çizelge 4.63:</b> Üretimi yapılan betonlarda kullanılan çimento, su/çim, katkı oranları. ....	91
<b>Çizelge 4.64:</b> Beton üretiminde kullanılan B ocağı agregası gradasyonu. ....	91
<b>Çizelge 4.65:</b> Beton üretiminde kullanılan K ocağı agregası gradasyonu. ....	92
<b>Çizelge 4.66:</b> Beton üretiminde kullanılan Z ocağı agregası gradasyonu. ....	93
<b>Çizelge 4.67:</b> Taze beton deney sonuçları. ....	95
<b>Çizelge 4.68:</b> Beton basınç dayanımı sonuçları.....	97
<b>Çizelge 5.1:</b> Yapılan Deney Sonuçları.....	99

## SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ

<b>WGS84</b>	: World Geodetic System 1984 (Dünya Jeodezik Sistemi, 1984)
<b>cm</b>	: Santimetre
<b>s</b>	: saniye
<b>g</b>	: gram
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>µm</b>	: Mikronmetre
<b>mg</b>	: Miligram
<b>ml</b>	: Mililitre
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>ppm</b>	: Parts per million-Milyonda bir
<b>F</b>	: Boyut düzeltme faktörü
<b>P</b>	: Birim hacimdeki boşluk oranı
<b>Is</b>	: Nokta yük dayanım indisi
<b>Is<sub>(50)</sub></b>	: Standart bir karot çapına göre düzeltilmiş nokta yük dayanım indisi
<b>SC</b>	: Agreganın kavkı içeriği
<b>S<sub>dyk</sub></b>	: Agreganın doygun, yüzey kuru haldeki özgül ağırlığı
<b>S<sub>g</sub></b>	: Agreganın mutlak özgül ağırlığı
<b>Sh</b>	: Agreganın görünen özgül ağırlığı
<b>Sk</b>	: Agreganın kuru özgül ağırlığı
<b>WA24</b>	: Yirmi dört saatlik daldırmadan sonra, kuru kütlenin bir yüzdesi olarak agreganın su emme oranı
<b>Γ<sub>w</sub></b>	: Suyun özgül ağırlığı
<b>°C</b>	: Santigrat
<b>ICP-ES</b>	: (Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometry- Endüktif Eşleşmiş Plazma Emisyon Spektrometresi)
<b>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	: Sodyum Sülfat
<b>MgSO<sub>4</sub></b>	: Magnezyum Sülfat
<b>SiO<sub>2</sub></b>	: Silisyum Oksit
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Alüminyum Oksit
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Demir Oksit
<b>MgO</b>	: Magnezyum Oksit
<b>CaO</b>	: Kalsiyum Oksit
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	: Sodyum Oksit
<b>K<sub>2</sub>O</b>	: Potasyum Oksit
<b>TiO<sub>2</sub></b>	: Titanyum Oksit
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	: Difosfor Pentoksit
<b>MnO</b>	: Manganez Oksit
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Krom Oksit
<b>Ba</b>	: Baryum
<b>Ni</b>	: Nikel
<b>Sr</b>	: Stronsiyum
<b>Zr</b>	: Zirkonyum
<b>Nb</b>	: Niobyum
<b>Sc</b>	: Skandiyum
<b>ms</b>	: Suyu doygun numune kütlesi (g)
<b>md</b>	: Kuru numune kütlesi (g)
<b>mh</b>	: Su içerisinde numune kütlesi (g)

<b>pb</b>	: Görünür yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Ab</b>	: Atmosfer basıncında su emme (%)
<b>po</b>	: Açık gözeneklilik (%)
<b>ASR</b>	: Alkali Silika Reaksiyonu
<b>ASTM</b>	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu)
<b>BS</b>	: British Standards (İngiliz Standartları)
<b>TS</b>	: Türk Standardı
<b>EN</b>	: European Norm (Avrupa Normu)
<b>MS</b>	: Agreganın dona dayanıklılığı, Magnezyum Sülfat, ağırlık kaybı
<b>LA</b>	: Los Angeles aşınma kat sayısı
<b>MB</b>	: Metilen mavisi
<b>FI</b>	: Yassılık İndeksi
<b>SI</b>	: Şekil İndeksi
<b>MTA</b>	: Maden Tetkik Arama
<b>MAIV</b>	: Modified Aggregate Impact Value (Düzeltilmiş – Modifiye Edilmiş Agrega Darbe Dayanımı Değeri)
<b>SB</b>	: B Ocağı Silindirik Karot Örneği
<b>SK</b>	: K Ocağı Silindirik Karot Örneği
<b>SZ</b>	: Z Ocağı Silindirik Karot Örneği
<b>DB</b>	: Doygun B Ocağı Silindirik Karot Örneği
<b>DK</b>	: Doygun K Ocağı Silindirik Karot Örneği
<b>DZ</b>	: Doygun Z Ocağı Silindirik Karot Örneği
<b>kN</b>	: Kilonewton
<b>N</b>	: Newton
<b>MPa</b>	: Megapascal
<b>Ort</b>	: Ortalama
<b>Std</b>	: Standart Sapma

## ÖNSÖZ

Bu çalışma Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkılarından ve desteklerinden dolayı danışman hocam Prof. Dr. Şener CERYAN'a teşekkür ederim.

Petrografik inceleme ve yorumlama konusunda yardımını esirgemeyen hocam Dr. Gökhan BÜYÜKKAHRAMAN'a, çalışmanın laboratuvar aşamasında desteklerinden dolayı, Nuro İnşaat Ticaret A.Ş. ve Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu'ndan Doç. Dr. Hakan ELÇİ'ye, çizimler konusunda desteklerinden dolayı Çevre Mühendisi Mecit AKTAŞ'a teşekkür ederim.

Hayatımın her anında maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen canım aileme teşekkür ederim.

Özge ÖZSU

# 1. GİRİŞ

Bu çalışmada; İzmir – Ankara Zonunun Balıkesir ve Manisa illeri arasında yüzeyleyen Triyas yaşlı kireçtaşı kırmataş ocaklarından üretilen agregaların beton üretiminde kullanılması durumunda, beton kalitesini etkileyen parametreler araştırılmıştır. Bu amaç için Balıkesir - Manisa ili arasında yer alan üç farklı kırmataş ocağına ait kireçtaşlarından örnekleme yapılarak, kireçtaşlarının seçili mühendislik özellikleri ile petrografik ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır, ayrıca bu örnekler üzerinde agrega deneyleri, taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır.

## 1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma kapsamında Balıkesir ve Manisa ili sınırları içerisinde seçilmiş olan üç farklı lokasyonda patlatma yöntemiyle formasyondan elde edilen kireçtaşlarından ve bu kireçtaşlarından konkasör yardımıyla kırılarak elde edilen agregaların, betonda kullanılma özellikleri ve bu özelliklerin beton kalitesine olan etkisini araştırmak amacıyla, TS, ASTM, BS standartlarınca ve ISRM’ce önerilen yöntemlerle kaya mekaniği ve agrega deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçların beton kalitesine olan etkisinin ortaya konulması için her bir ocağına ait agregalardan beton üretilmiş ve örnekler üzerinde deneyler uygulanmıştır.

## 1.2 Agregalar Hakkında Genel Bilgiler

Agregalar, inşaat sektöründe ekonomik ve teknik yönden çok önemli bir yere sahiptirler ve çeşitli gradasyonlarda çimento, su ve ihtiyaca göre kimyasal katkı maddeleriyle bir araya gelerek beton içerisinde yer alırlar. Agregalar ayrıca yol işlerinde dolgu malzemesi, asfalt malzemesi, şev destekleme gibi imalatlarda da kullanılabilirler. Beton içeriğinde kullanılan agregalar hacimsel olarak betonun yaklaşık %70’ini oluşturarak, betonun hacim değişikliğini azaltmaya yarayan önemli bir yapı malzemesidir.

Agrega maliyetinin çimentoya kıyasla oldukça düşük olması nedeniyle, beton içeriğinde vazgeçilmez bir dolgu materyali olarak tercih edilmektedir. Betonda agrega

kullanılması, sertleşen betonun hacim değişimini önlemekte/azaltmakta, çevre etkilerine karşı betonun mukavemetini arttırmakta ve kendi dayanım gücünün yüksekliğine bağlı olarak, betonda gerekli dayanımın sağlanmasına yardımcı olmaktadır (Çağlayan ve diğ., 1999).

Çimento hamuru, zaman geçtikçe kurur ve büzülür. Bu nedenle betonun içerisinde bulunan agregalar, çimento hamurunun zamanla gösterebileceği hacim değişikliğini belli ölçüde engelleyebilmektedir. Sadece çimentodan oluşmuş olan bir malzeme ile, belirli miktarda agrega içeren betonu karşılaştıracak olursak, agrega içeren betonda hacim değişikliğinin ve bundan dolayı oluşması muhtemel çatlakların daha az oluşması beklenir (Keskin, 2009).

Agregalar çoğunlukla doğal olarak ırmak, çay, dere gibi su akışının bıraktıkları veya buz kütlelerinin sürükleyip yığıldıkları yataklardan, denizden çakıl, kum olarak veya blok kayalardan kırmataş olarak elde edilirler. Yapay olarak ise genişletilmiş kil ve cüruf olarak elde edilirler ve bunlar nispeten doğal agregalara göre daha hafif olmaktadır. Agregayı köşeli ve keskin şekilde kırmataş olarak masif kayalardan temin etmek betonda kullanımında daha çok tercih edilmektedir. Denizel kökenli agregalar içerisinde tuz bulundurması sebebiyle, beton içerisinde inşaat çeliği ile reaksiyona girip, betonun ömrünü kısaltacağından tercih edilmemelidir. Ayrıca deniz kumlarının içeriğinde bol miktarda canlı kalıntılarının bulunması ihtimali beton mukavemetinde olumsuzluklara yol açacağı bilinmektedir. Agregaların tane şekli, tane yoğunluğu, fiziksel, kimyasal özellikleri, dayanım özellikleri ve boşluk yapısı, agreganın elde edildiği kayacın litolojik özelliklerine bağlıdır (Williams ve McNamara, 1992). Özellikle kireçtaşları yüksek dayanımları ve yoğunlukları, düşük porozite özellikleri ile iyi beton agregası olurlar (Carlos ve diğ., 2010). Ayrıca kireçtaşlarının beton agregası olarak tercih edilmesinin diğer bir nedeni ise çimento ile iyi bağ yapabilme özelliğidir (Baradan, 2006).

Bu nedenle agregaların elde edildiği formasyon özellikleri, mineralojik yapısı, beton için zararlı olan kil içeriğinin miktarı, agregaların dane boyu dağılımı, gözenekliliği, su emmesi, dış etkenlere dayanıklılığı ve geometrik şekli betonun genel performansını etkileyeceğinden, fiziksel, mekanik, kimyasal ve mineralojik özelliklerinin tayin edilmesi kaliteli ve uzun ömürlü beton üretebilmek açısından çok önemlidir.



Agregaları, kaba ve ince agregaya olmak üzere boyutlarına göre sınıflandırılır. Piyasada kaba agregalar "mıcır", ince agregalar "kum" olarak isimlendirilir. "TS 706 EN 12620 +A1 (TS, 2009) Beton Agregaları" standardına göre, bu iki bileşeni tane büyüklüğünce birbirinden ayırabilmek için kullanılan boy kriteri 4 mm'dir ve 4 mm den iri tanelerden oluşan kısma kaba agregaya, 4 mm'den ufak boyuttaki agregalara ince agregaya denmektedir. Ayrıca agregalar birim ağırlıklarına göre de üç sınıfta sınıflandırılırlar.

- **Hafif Agregalar:** Birim ağırlığı  $2,4 \text{ g/cm}^3$ 'ten az olan ve hafif beton üretilmesinde kullanılan agregalardır. Betonun birim ağırlığını azaltmak ve yalıtım özelliğini artırmak için kullanılan agregalardır. Gözenekli yapıya sahip olup, su emmeleri yüksektir. Doğadan direkt veya dolaylı olarak elde edilebilirler. Dış etkenler karşısında dayanımları çok düşüktür. Boşluklu olmalarından dolayı beton üretimlerinde diğer sınıftaki agregalara göre daha fazla çimento gerekmektedir. Hafif agregalar sünger taşı, (Pomza, bims), volkan tüfleri, diatomit, yüksek fırın cürufu, genişletilmiş kil, perlit, şist vb. kayalardan üretilirler. (Kula, 2008).
- **Normal Agregalar:** Birim ağırlıkları  $2,4-2,8 \text{ g/cm}^3$  arasında olan agregalardır ve beton üretimlerinde daha çok bu agregalar kullanılmaktadır (Kula, 2008).
- **Ağır Agregalar:** Birim ağırlıkları  $2,8 \text{ g/cm}^3$ 'ten fazla olan ağır betonların üretiminde kullanılırlar. Doğal olarak elde edilen ağır agregalara örnek olarak manyetit, hematit, limonit verilebilir. Ağır agregalar nükleer santral, su deposu ve hastanelerde röntgen odalarında tercih edilen, geçirimsizliği az kompozitesi yüksek beton üretimi istenen yerlerde kullanılırlar (Kula, 2008).

Türk Standartları Enstitüsü'nün, "TS 706 EN 12620 +A1 (TS, 2009) Beton Agregaları" standardında yer alan agregaya ile ilgili tanımlamalar aşağıdaki gibidir;

**Agrega:** Yapılarda kullanılan doğal, yapay veya geri kazanılmış çeşitteki taneli, malzemelere agregaya denir.

**Doğal agregaya:** Mekanik işlem dışında herhangi bir işlem görmemiş mineral kaynaklardan elde edilen agregadır.

**Karışık (tüvenan) agregaya:** İri ve ince olarak çeşitli çapta agregaların karışımından oluşan agregaya çeşittir.

**Yapay agregâ:** Isıl veya diğêr uygulamalarla endüstriyel işlemler sonucu elde edilmiş mineral kökenli agregalardır.

**Geri kazanılan agregâ:** Daha önceden yapılarda kullanılmış olan ve inorganik malzemelerin işlenmesi sonucu elde edilmiş agregalardır.

**Dolgu agregası/Taş unu agregası:** Büyük çoğunluğu, 0,063 mm (TS) veya 100 nolu (ASTM) elekten geçerek, yapı malzemelerine belirli özellikler kazandırmak amacıyla ilâve için üretilen malzemelerdir.

**İnce agregâ:** Çapının (D) 4 mm' den küçük veya 4 mm' ye eşit olduğu tane büyüklüğündeki agregalardır.

**İri agregâ:** Çapının (D) 4 mm' den büyük veya 4 mm' ye eşit, "d" (yarı çapı) değerinin ise 2 mm'den büyük veya 2 mm'ye eşit olan tane büyüklüklerindeki agregalardır.

**Çok ince malzeme:** 0,063 mm TS eleğinden veya 100 nolu ASTM eleğinden geçebilen agregâ tane sınıfıdır.

**0/8 mm olarak sınıflandırılmış doğal agregalar:** Çapının (D) 8 mm' den küçük veya 8 mm' ye eşit olduğu buzul ve/veya nehir kökenli doğal agregalardır.

Ünsal ve Şen, (2008)'e göre betonda kullanılacak agregâ özellikleri, betonun yapı olarak kullanım amacına, etkileneceği çevre şartlarına, ve tamamlama işlemlerinin gerektirdiği diğêr özelliklere göre belirlenmekte olup, betonda kullanılacak agregaların en büyük tane büyüklüğü donatı ile beton yüzeyi aralığı (paspayı) ve beton elemanın kesitinin en küçük boyutu göz önüne alınarak belirlenir. Ayrıca yine Ünsal ve Şen, (2008)'e göre betonda kullanılacak olan agregalarının aşağıdaki özelliklerde olması beklenir.

- Tane büyüklüğü dağılımları birbirlerinin boşluklarını dolduracak şekilde olmaları,
- Yassı ve uzun taneli (kusurlu) şekilde olmamaları ve kübik özellikte olmaları,
- Sert, dayanıklı, boşluksuz olmaları, organik maddeler ve zayıf maddeler içermemeleri,
- İçerisindeki ince malzeme ihtiva etmemeleri (kil, silt, mil vb.),
- Su emmenin düşük, tane yoğunluğunun yüksek olması,
- Basınca, darbeye, parçalanmaya, aşınmaya, donma ve çözünmeye karşı dirençlerinin yüksek olması,

- Çimentoyla zararlı reaksiyona girecek mineraller (reaktif silikalar) içermemeleri beklenir.

Beton agregaları içeriğinde bitkisel köklerin, toprağın ve zararlı ince maddelerin olmaması arzu edildiğinden dolayı ocaklardan temin edilen karışık haldeki kum-çakıl malzeme olduğu gibi kullanılmamalı, agregaya mutlaka elenmeli, yıkanmalıdır. Elde edilen agregalar tane boylarına göre ayrı ayrı stoklanmalı ve temiz olarak korunmalıdır.

Agregaların mühendislik özelliklerini belirleyen bir diğer faktör ise malzemelerin elde edildiği formasyonun yerel özelliklerine göre üretim ekipmanı seçimidir. İki farklı işletme aynı formasyondan ürün alsa dahi, ürünleri çıkarma ve işleme metodundaki farklılıklar nihai ürün kalitesini belirlemekte oldukça etkilidir. Bu tez çalışmasında ele alınan üç adet ocaktan aynı metot (patlatma) ile malzeme elde edilmekte ve kırma-eleme işlemi ile istenilen boyutlarda agregaya üretilmektedir.

### 1.3 Beton Hakkında Genel Bilgiler

Beton, su, çimento, agregaya ve katkı maddelerin belirli oranda homojen olarak karıştırılmasıyla oluşan, başlangıçta akıcı kıvamda olup, belirli zaman sonra priz alarak mukavim olan bir yapı malzemesidir. Betonun toplam hacmini % 70 oranında agregaya, % 10'unu çimento ve % 20'sini su oluşturur. Gerekmesi halinde çimento oranının % 5'ini aşmayacak oranda, çeşitli özelliklerde katkı malzemesi kullanılabilir.

Taze betonda, uygun metotlarla işlenebilme, homojenlik ve uygun kıvam beklenir. Sertleşmiş betonda ise dayanım (basma, çekme, eğilme vb.), geçirimsizlik, donma ve çözünmeye dayanıklılık, estetik, yalıtım ve ekonomiklik gibi özellikler beklenir. Betonlar TS EN 206:2013+A1 (TS, 2017) standardında birim hacimlerine göre aşağıdaki şekilde üçe ayrılmaktadır.

**Hafif Beton:** Etüv kurusu durumundaki yoğunluğu en az 800 kg/m<sup>3</sup> en fazla 2000 kg/m<sup>3</sup> olan betonlara denir.

**Normal Beton:** Etüv kurusu durumundaki yoğunluğu en az 2000 kg/m<sup>3</sup>, en fazla 2600 kg/m<sup>3</sup> olan betonlara denir.

**Ağır Beton:** Etüv kurusu durumundaki yoğunluğu 2600 kg/m<sup>3</sup>'ten daha büyük olan betonlara denir.

#### 1.4 Çalışma Alanı

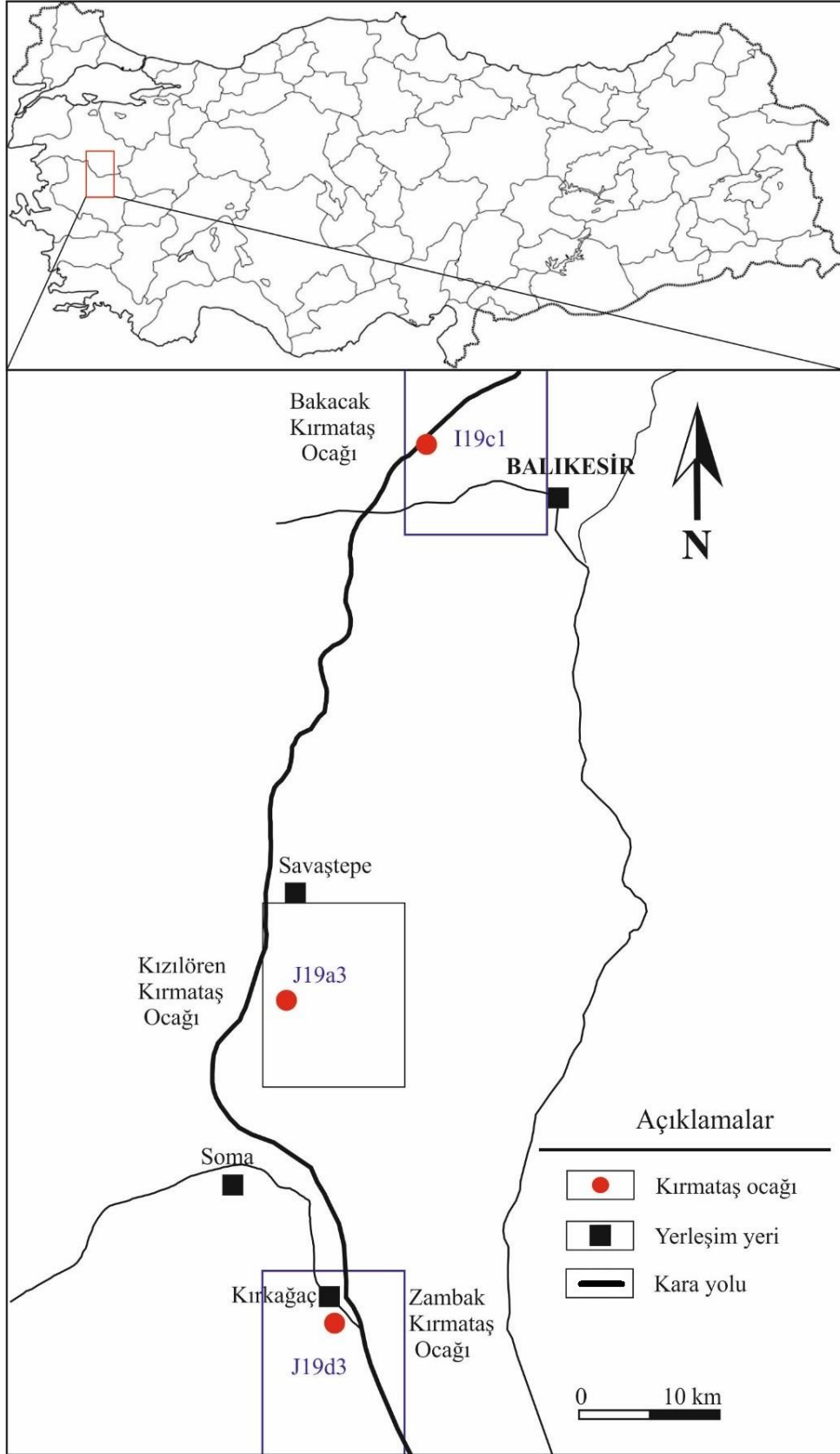
Çalışma alanları Balıkesir ve Manisa il sınırlarında olup, bu kısımlarda seçilmiş olan kireçtaşı ocakları Türkiye 1/25000 haritalarının Balıkesir I 19-c1, Balıkesir J 19-a3 ve Balıkesir J 19-d3 paftalarında yer almaktadır. Şekil 1.1'de çalışma alanlarının yer bulduru haritaları verilmiştir.

Balıkesir I 19-c1 paftasında yer alan ocak, Balıkesir ili Karesi ilçesi batısından 14 km uzakta yer alan Bakacak mevkiinde bulunmaktadır ve bu çalışma içerisinde B ocağı olarak adlandırılmıştır.

Balıkesir ili Bakacak yöresinde sıcak ve ılıman bir iklim görülür. Bölge kış aylarında, yaz aylarından daha fazla yağış almaktadır. Yörenin yıllık ortalama sıcaklığı 14.3 derecedir, yıllık ortalama yağış miktarı 615 mm'dir ve ortalama 104 mm ile en fazla yağış Aralık ayında görülmekte olup, ortalama 9 mm yağışla en kurak ay Ağustos ayıdır (Url-1).

Balıkesir J 19-a3 paftasında yer alan diğer ocak ise Manisa iline bağlı, şehir merkezine 90 km uzakta bulunan Soma ilçesinin Kızılören Köyü'nde yer almaktadır. Kızılören Köyü ise Soma ilçe merkezinin kuzeydoğu yönünde yaklaşık 13 km uzağında yer almaktadır ve burada yer alan ocak bu çalışma içerisinde K ocağı olarak adlandırılmıştır. Bölgede sıcak ve ılıman iklim görülmektedir ve bölge kış aylarında yaz aylarından çok daha fazla yağış almaktadır. Soma'nın yıllık ortalama sıcaklığı 15.3 derecedir, yıllık ortalama yağış 656 mm'dir ve ortalama 127 mm ile en fazla yağış Aralık ayında görülmekte olup, 8 mm yağışla en kurak ay Temmuz ayıdır (Url-2).

Balıkesir J 19-d3 paftasında yer alan diğer ocak ise Manisa iline bağlı, şehir merkezine 83 km uzakta bulunan Kırkağaç ilçesinde yer almaktadır ve burada yer alan ocak bu çalışma içerisinde Z ocağı olarak adlandırılmıştır. İlçede sıcak ve ılıman bir iklim hakimdir. Bölge kış aylarında yaz aylarından daha fazla yağış almaktadır. İlçenin yıllık sıcaklık ortalaması 15.3 derecedir, yıllık ortalama yağış 649 mm'dir ve ortalama 126 mm ile en fazla yağış Aralık ayında görülmekte olup, 8 mm yağışla en kurak ay Temmuz ayıdır (Url-3).



Şekil 1.1: Çalışma alanının yer bulduru haritası.

## 1.5 Önceki Çalışmalar

Çalışma alanlarında geçmişte yapılan çalışmalar, genellikle alanın genel jeolojik özelliklerinin araştırılmasına yönelik çalışmalardır. Çalışma konusu ile ilgili diğer bölgelerde çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

### 1.5.1 Çalışma Alanının Jeolojisi İle ilgili Çalışmalar

Akyürek, Soysal (1978); Savaştepe, Kırkağaç, Bergama, Ayvalık çevresinin temel jeolojik özelliklerini araştırmışlardır. Bölgedeki formasyonları ayırtlamış ve haritalamışlardır. Çalışma alanında Orta-Üst Triyas yaşlı Kırkağaç Formasyonu'nun geniş yayılım gösterdiğini ve üstte Liyas yaşlı Sarıkaya Formasyonu'na geçtiğini, Alt Kretase yaşlı Avgediği Formasyonu 'nun bölgede gözlendiğini belirtmişlerdir. Ayrıca çalışma alanında Miyosen-Pliyosen yaşlı Soma Formasyonu'nu ve volkano sedimanter birim olarakta Rahmanlar Aglomerası'nı ayırtlamışlardır.

Pehlivan ve diğ., (2007); Çalışmalarında Balıkesir İ-19 paftasında jeolojik çalışmalar yürütmüşler ve bu çalışmayla ilgili olarak, Biga Yarımadası'nda yer alan Triyas yaşlı Karakaya formasyonu, Geç Kretase- Paleosen yaşlı Bornova flişi, Hallaçlar volkanitleri ve Soma formasyonu litoloji birimleri hakkında araştırmalar yapmışlardır. Kayaçların stratigrafik, petrografik, jeokimyasal ve jeokronolojik özelliklerini saptayarak haritalama çalışmaları yapmışlardır.

Bozyiğit, Eroğlu (2012); Yuntdağı ve çevresindeki çalışma alanında Avgediği Formasyonu'nun Kırkağaç Formasyonu içerisinde ufak yüzlekler halinde görüldüğünü ve bu formasyonun grovak, şeyl, çamurtaşı, marn, kireçtaşı, çört, spilitik lav, aglomera ve tüften oluştuğunu ileri sürmüştür.

Çona, Yüksel (2014); Çalışma alanında Bornova Fliş Zonu içinde hüküm süren seyrek şeyller ve grovaklar bulunduğunu, bahsi geçen grovakların tabakasız şekilde, genelde gri, sarımsı ve açık kahverengimsi renkte bol kırıklı olduğunu şeyllerin bu grovakların arasında ara ara gözlendiğini ileri sürmüşlerdir. Fliş içerisinde blok şeklinde bulunan Mesozoyik kireçtaşlarının ise rekrystalize, genelde dolomit ve masif olduğunu belirtmişlerdir.

## 1.5.2 Tez Konusu İle İlgili Çalışmalar

Yıldırım, Yılmaz (2002); Yaptıkları çalışmada Yıldız ırmağı çevresindeki ocaklardan örnekler alınarak yapılan çeşitli testler doğrultusunda beton agregası olarak kullanılabilirliğini değerlendirmişlerdir. Sivas ve civarında kullanılan malzemelerin iklim özellikleri dikkate alınarak, donma-çözünmeye karşı dayanımının az olmasının problem yaratacağı ve bu problemin çözümüne yönelik özel katkı maddeleriyle birlikte kullanılması gerektiği sonucunu önermişlerdir.

Doğan (2006); Zonguldak-Şapça taş ocağı agregalarının fiziksel, mekanik dayanım özellikleri ve kimyasal içeriği incelenerek, beton ve üst yapı malzemesi olarak yol çalışmalarında, TS ve ASTM standartlarına göre uygunluğu araştırılmıştır. Taş ocağından alınan numunelerde yapılan petrografik analizlerde sulu potasyumlu demirli silikat minerali glokonini tespit etmiş ve agregaların su emme kapasitesinin araştırılması gerekliliğini ileri sürmüştür. Yaptığı don dayanıklılık testlerinde bazı agrega numunelerinin standart limit değerlerini aştığını tespit etmiş ve buradan kireçtaşı bloklarının kil ve silt ara katkılarının olup olmadığının daha detaylı araştırılması gerektiğini belirtmiştir. Yine ince madde tayini oranı deneyinde sonuçların limit değerler üzerinde olduğunu tespit etmiş ve patlatma sonrası çıkarılan maddelerin kil ve ara katkılı olmamasına dikkat edilmesi gerektiğini önermiştir.

Çomak (2007); Isparta bölgesinde bulunan beş farklı agrega ocağından agrega numunelerine testler uygulamış ve bu agregalardan üretilen betonların basınç dayanım sonuçlarını da değerlendirerek agregaların beton üretiminde uygunluğuna dair sonuçlar elde etmiştir. Sonuçları diğer agrega numuneleriyle mukayese ederken pomzanın hafif agrega sınıfına girdiğini ve diğer dört agrega ocaklarından ayrı tutulması kanaatine varmıştır.

Erol (2008); Sivas ilinin kuzeybatısında yer alan kireçtaşı oluşumlarının beton agregası olarak kullanılabilirliklerini araştırmış ve sahada üç adet sondaj ve ölçümler yaparak rezerv belirlemeye çalışmış, alınan agrega numunelerine TSE standartlarına uygun olarak yeterlilik deneyleri ve bu malzemelerle üretilen betonlar üzerinde deneyler gerçekleştirilmiş ve kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Sahada bir taş ocağı işletilmesi durumunda oluşacak maliyetleri belirlemeye yönelik fizibilite analizleri yapmış sonuçlarında beton agregası olarak dere agregalarının kullanılmaması gerektiğininide ayrıca belirtmiştir.

Doğan (2008); Tekirdağ yöresinde bulunan hazır beton santrallerinin tercih ettiği beş farklı agrega ocağından alınan numunelere ayrıntılı testler uygulamış agregalardan üretilen sabit su/imento ile üretilen betonların basınç dayanım sonuçlarını da değerlendirerek agregaların beton üretiminde uygunluğuna dair sonuçlar elde etmiştir.

Kula (2008); Edirne yöresindeki mevcut agrega ve taşocakları malzemelerinin, standartlar doğrutusunda fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek en uygun beton ve asfalt üretiminde en uygun (rantbal) malzeme seçimi araştırmıştır. Ayrıca aynı jeolojik formasyondan alınan agregaların benzer özellikler gösterdiğini belirtmiş ve çatlaklarında kil barındıran kayalardan üretilen agregaların yıkanarak beton üretiminde kullanılmasını ne srmştir.

Arslantaş (2009); Karaburun Yarımadası'nın Balıklıova yöresinde Gerence Formasyonu içinde yer alan Uygur Mermer Ocağı'ndan elde edilen mermerlerin agrega kaynağı olarak kullanılabilirliğini araştırmış, agrega olarak kullanılacak atıkların fiziksel ve jeo-mekanik özelliklerinin bilinmesinin önemli olduğunu belirtmiştir ve çeneli kırıcıdan elde edilen malzemelerin, konik kırıcıdan elde edilenlere nazaran daha uzun ve yassı olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Keleş (2009); Batı Karadeniz Bölgesinde yüzeyleyen Zonguldak ve Bartın illeri arasında Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Yılanlı Formasyonu'na ait dolomitik kireçtaşlarının agrega olma özelliklerini ve bu kireçtaşlarının beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Uygulamış olduğu deney sonuçlarına göre bölgedeki dolomitik kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılabileceğini ileri srmştir. Daha sonra agregalardan C25, C 30 ve C 35 dayanım sınıflarında beton örnekleri hazırlamış ve 28 günlük basınç dayanım sonuçlarını değerlendirmiştir.

Güneyli (2010); Adana ve çevresinde aynı formasyonlardan (kaynak kayalardan) elde edilen ancak farklı özelliklere sahip agrega üretimi yapan işletmelerde ortaya çıkan farklılıkların sebepleri, teknik ve elde yöntemleri açısından karşılaştırmıştır. Aynı formasyonların aynı kesimlerinden elde edilen agregalarda farklı özelliklerin çıkabildiğini, ayrı formasyonlardan alınan agregaların özelliklerinin büyük benzerlikler gösterebileceğini ne sürmüş ve ocaklarda fazladan uygulanan ön eleme metodunun ve ikili yıkama sisteminin kil içeriğini azaltacağını tespit etmiştir. Ayrıca işletmede kullanılan dik milli, ters döner tamburlu kırıcıların, çeneli kırıcılara göre daha yassı malzeme ürettiğini belirtmiştir.



Yılmaz, Koltka ve Sabah (2011); Emirdağ- Afyon Adaçal Endüstriyel Mineraller A.Ş.'ye ait tesislerde üretilen kırmataşların TS 706 EN 12620 standardına uygunluğunu tayin etmek için fiziksel, kimyasal ve geometrik testler ve analizler yapmışlardır. Yaptıkları kimyasal ve petrografik analizler sonucunda CaO oranının %55,16 bularak yüksek saflıkta kireçtaşı olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışma kapsamında standardın öngördüğü diğer testler sonuçları doğrultusunda Afyon İli, Emirdağ İlçesi Tabaklar Köyü'nde bulunan kireçtaşı ocağında üretilen kırmataşların beton agregası olarak kullanılabilceği tespit etmişlerdir.

Keskin (2011); İstanbul ilinin Avrupa yakasında yer alan Ayazağa bölgesinde, Cendere vadisi kayaçlarının beton agregası olarak değerlendirilebilmesini araştırmıştır. Agregalarla İki haftalık ve altı aylık alkali silika deneyleri yapmış. Aynı mineralojik ve petrografik özelliklere haiz agregaların on dört günlük harç çubuğu deney metoduna göre reaktif özellikte olduğunu, altı aylık harç çubuğu deney metoduna göre reaktif olmadığını ortaya koymuştur. Harç çubuklarından temini yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskopla incelenmesiyle de bu savı desteklemiştir. Ayrıca agrega örneklerinde bulunan alkali oranı ve mineralojik, petrografik özellikleri birlikte değerlendirerek 80 °C'de NaOH içerisindeki (kısa süreli, fakat şiddetli) agregaların zararlı olduğunu, 50 °C'de NaCl (uzun süreli, fakat az şiddetli) ortamda agregaların zararsız olduklarını belirlemiştir.

Elçi, Türk, Işın tek (2014); Karaburun Yarımadası Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarının kimyasal özellikleri ve fasiyes özellikleri çalışılmış ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda, agregaların betonda kullanılabilirliklerine olan etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak, farklı litolojik özelliklere sahip Mesozoyik yaşlı Karaburun kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılabilirliğini etkileyen en önemli özelliğin, kireçtaşının saflığını bozan ve alkali-silika reaksiyonuna neden olabilen silis oranı olduğu belirlenmiştir. İlave olarak kil minerali içeren agregaların, betonun mukavemetini azalttığını düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Özbek (2016); Kahramanmaraş ve civarında gözlenen Tut formasyonu, Andırın kireçtaşı, Koçali karmaşığı, Ahırdağı formasyonu ve Parpiyayla formasyonuna ait beş farklı kireçtaşı agregalarının betonda kullanılabilirliğini araştırmıştır.

Varol ve diğ., (2016); Van İli, Tabanlı mevkiinde bulunan kireçtaşlarından alınan numunelere uygulanan fiziksel, kimyasal ve mekanik testlerin sonuçlarını Türk

standartları ile karşılaştırmışlar ve sonuç olarak bölgeden elde edilen kireçtaşlarının agrega olarak kullanılabilceğini ileri sürmüşlerdir.

## 1.6 Çalışma Yöntemleri

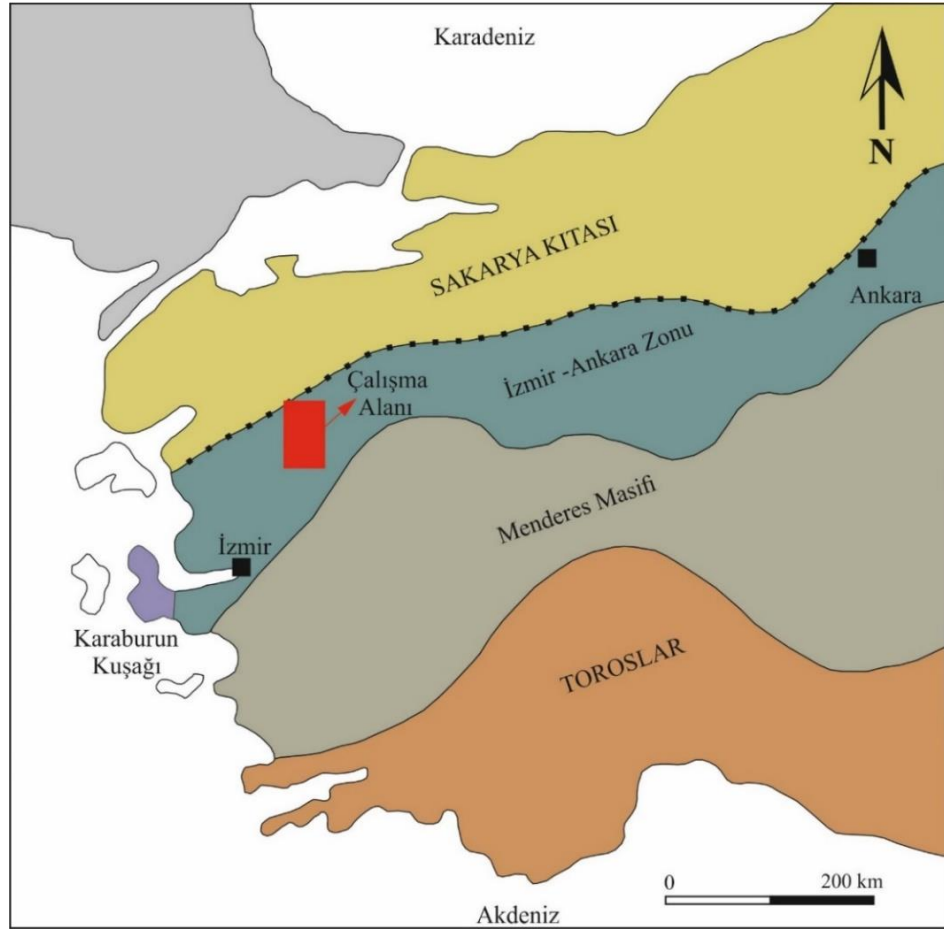
İnceleme alanlarında yapılan bu çalışma literatür taraması ile başlamış, ocak bölgelerinde yapılan arazi çalışmaları, laboratuvar ve ofis çalışmaları gerçekleştirilerek devam etmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında bölgedeki litolojinin yakından görüldüğü bölgelerde ve üretim yapılan kısımlarda yüzeyleyen formasyonlarda incelemeler yapılmış ve fotoğraflar alınmıştır. Her ocaktan petrografik, fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla blok kayaç numuneleri ve konkasör tesislerinde kırılarak üretilmiş agrega numuneleri alınmıştır. Blok numunelerden ince kesitler, Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit laboratuvarında hazırlanmıştır. Hazırlanan bu ince kesitlerin polarizan mikroskopta incelenerek kayaçların modal analizi ve dokularının tayini Balıkesir Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Kireçtaşlarının su emme, görünür yoğunluk, açık gözeneklilik tayinleri, ultrases deneyleri, micro-deval deneyleri, agrega darbe dayanımı deneyleri Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu kaya mekaniği laboratuvarında yapılmış olup, elek analizi, şekil indeksi, yassılık indeksi, birim hacim ağırlık, tane yoğunluğu, su emme, dona dayanıklılık, Los Angeles, metilen mavisi, kil topağı tayini, organik madde tayini deneyleri ise Nurol İnşaat Ticaret A.Ş kalite kontrol laboratuvarında yapılmıştır. Örneklerin ASR testi (Alkali-Silika Testi) Karayolları Genel Müdürlüğü laboratuvarında, kimyasal analizler ise ACME (Vancouver/Kanada) laboratuvarında yapılmıştır.

Her bir ocaktan alınmış olan agrega örneklerinden beton üretimi, Nurol İnşaat Ticaret A.Ş. kalite laboratuvarında yapılmıştır. Burada üretilen taze betonlardan birim hacim ağırlık deneyleri ve çökme deneyleri yapılmış olup, sertleşmiş betonlar üzerinde basınç dayanım testleri uygulanmıştır. Yapılan tüm deney sonuçlarının ve çalışmaların ışığında, çalışılan kireçtaşlarının betonda kullanılabilirliği ortaya konmaya çalışılmıştır.

## 2. ÇALIŞMA ALANLARININ GENEL JEOLJİSİ

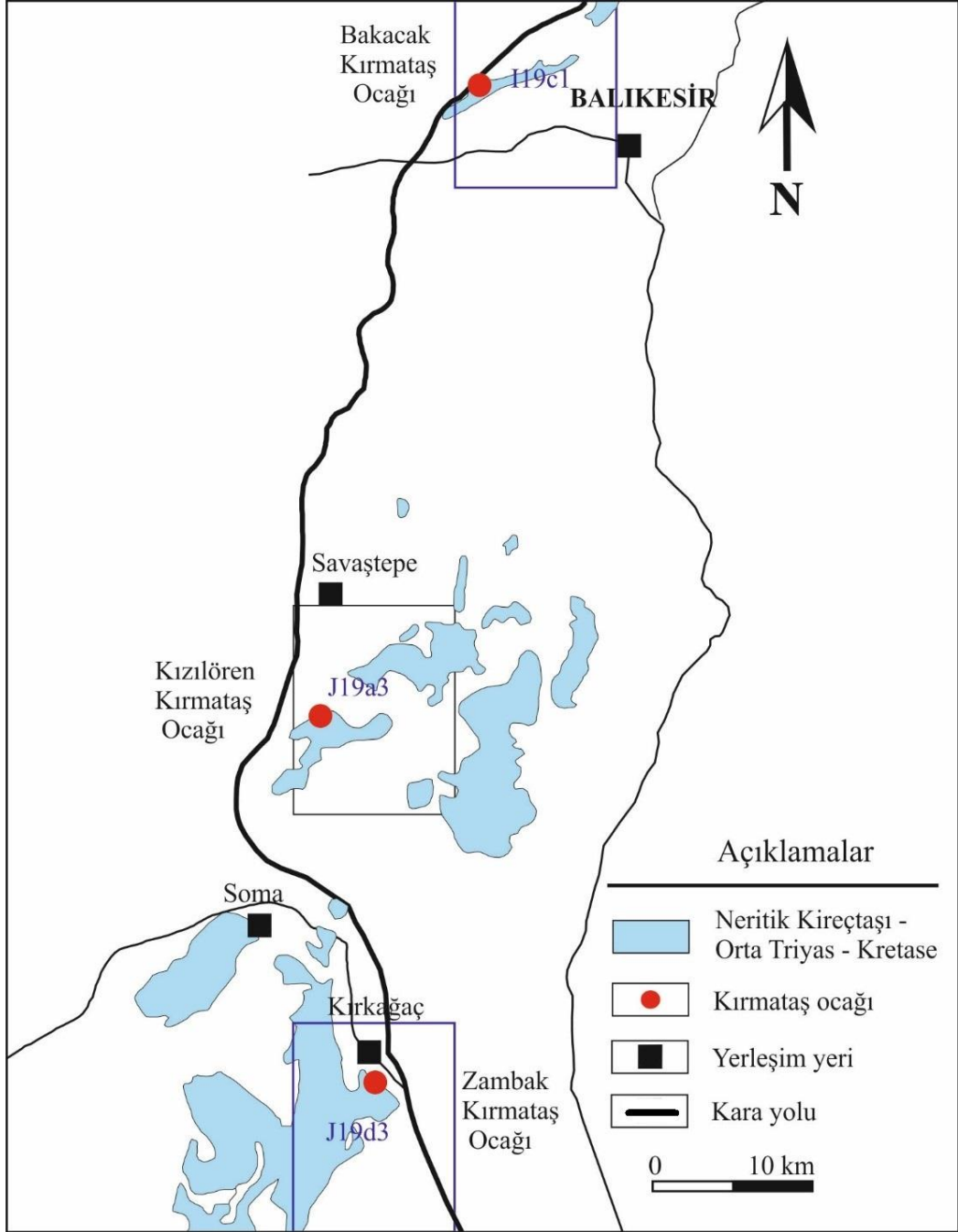
Brinkmann (1966, 1972, 1976) tarafından tanımlanmış olan İzmir-Ankara zonu, fliş türü kayalardan, farklı litolojik özelliklere sahip kireçtaşlarından ve mafik, ultramafik kayalardan oluşmuştur. İzmir-Ankara zonu içerisinde Alt Triyas'tan Alt Kretase'ye kadar devamlı bir platform türü olarak bir karbonat istifini yer alır ve bu istif kayaları Geç Kretase'de, fliş fasiyesindeki kayalara geçer (Erdoğan, 1990). Erdoğan (1990)'da yapmış olduğu çalışmada İzmir-Ankara zonu'nun nap tektoniği ile Menderes masifi üzerine itilmesiyle içeriğinin ileri derecede karmaşık olduğunu, stratigrafi özelliklerinin tanınmayacak ölçüde bozulmuş olduğunu ve içerisindeki neritik kireçtaşları kütlelerinin köksüz megabloklar şekliyle bulunması nedeniyle dokanaklarının silinmiş olduğunu öne sürmüştür. Çalışmanın bu bölümünde İzmir-Ankara Zonu içerisinde Şekil 2.1'de işaretlenmiş bölgede yer alan üç adet ocağın jeolojisi incelenmiştir.



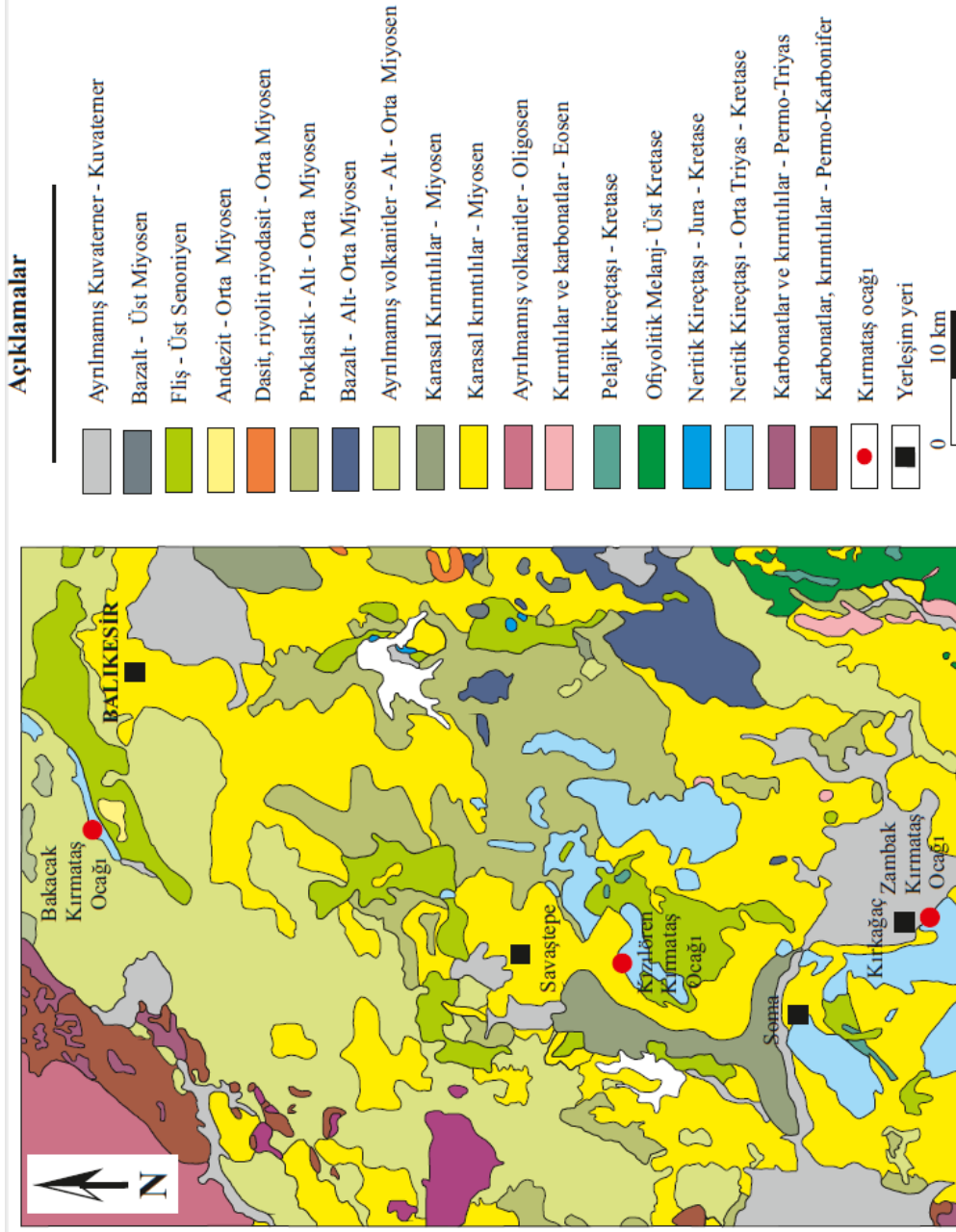
Şekil 2.1: Batı Anadolu Tektonik Kuşakları (Erdoğan, 1990)'dan alınarak çizilmiştir.

Çalışma bölgelerindeki Bornova Flişi birimleri Üst Kretase-Paleosen fliş fasiyesinde çökeltmiş kumtaşı ile şeyl aralanmaları ve bunların içerisinde bulunan blok konumlu yaşları Triyas'tan Kretase'ye kadar değişiklik gösteren kireçtaşlarından oluşmaktadır (Ersoy ve diğ., 2012). Çalışma bölgelerinde gözlenen volkanizmalar Oligosen'de başlamış, etkili şekilde devam etmiş ve Pliyosen'de sona ermiştir. Bölgede volkanizma ürünü olarak andezit, trakiandezit, dasit, riyodasit, bazalt ve tüfler gözlenmektedir. Çalışma bölgelerinde bulunan Kretase yaşlı ofiyolitik kayalar ve fliş topluluğunun üzerinde Neojen yaşlı birimler gözlenmektedir. Bu birimler karasal ortama ait göl ve alüvyon sedimanter kayalar ile volkanik kayalar içerir. Çalışılan ocakları kapsayan bölge içerisinde gözlenen en yaşlı litoloji Permo-Karbonifer yaşlı karbonat kırıntılıdır ve bu kırıntılılar içerisinde kireçtaşı blokları gözlenmektedir. Ocakları kapsayan alanın genel jeoloji haritası Şekil 2.3'te verilmiştir.

Çalışma konusu için örneklerin alındığı Bakacak (B) Ocağı, 1/25.000 Türkiye jeolojik haritası Balıkesir I19-c1, Kızılören (K) Ocağı, 1/25.000 Türkiye jeolojik haritası Balıkesir J19-a3, Kırkağaç (Z) Ocağı ise 1/25.000 Türkiye jeolojik haritası Balıkesir J19-d3 paftasında yer almaktadır. Araştırma ocağı olarak seçilen B ocağındaki agregalar, bölgedeki İzmir Ankara Zonu'na ait Triyas yaşlı kireçtaşlarından örneklenmiştir. Kırkağaç formasyonu kireçtaşları Soma ve Kırkağaç bölgelerine hakim litolojilerdir. K ocağı agregaları Orta Triyas-Jura yaşlı kireçtaşlarından, Z ocağındaki agregalar ise Orta Triyas-Liyas yaşlı kireçtaşlarından elde edilmiştir (Şekil 2.2). Ocak koordinatları WGS84'e göre B Ocağı 39°41'19.12''K-27°45'17.97''D, K Ocağı 39°18'8.24''K-27°37'49.32''D, Z Ocağı 39°4'53.95''K-27°41'18.50''D Ocaklara ait jeoloji haritaları MTA Genel Müdürlüğü haritaları baz alınarak hazırlanmış ve Şekil 2.4, Şekil 2.6, Şekil 2.8'de verilmiş olup, ocaklara ait fotoğraflar ise Şekil 2.5, Şekil 2.7, Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.2: Tez konusu kapsamındaki kireçtaşlarının dağılımı.



**Şekil 2.3:** Bölgenin genel jeoloji haritası. (<http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasyfa.aspx> (“MTA Yer Bilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizim Editörü”nden alınarak çizilmiştir.)

## **2.1 B Ocağı ve Civarının Jeolojisi**

Balıkesir ili, Karesi ilçesi, Bakacak Mevkiinde bulunan B Ocağı'nın litolojik açıklamaları aşağıda verilmiştir.

### **2.1.1 Triyas Yaşlı Birimler**

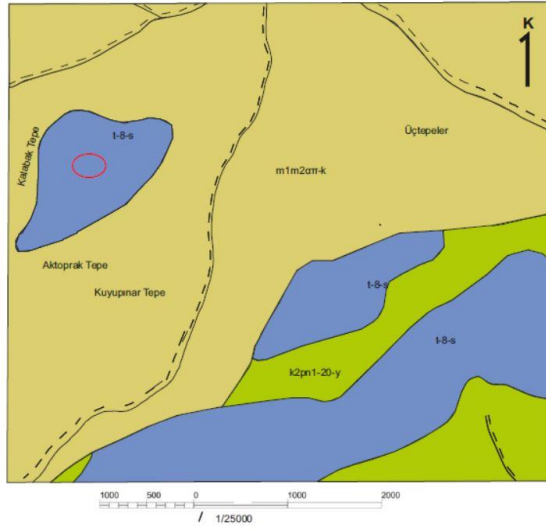
Çalışma alanında gözlenen Triyas yaşlı kireçtaşı blokları I 19-c1 paftasında en iyi Aktoprak tepe kuzeyinde, Kışlatepe dolaylarında, Kalabak tepe doğusunda yüzlek vermektedirler. Bornova Fliş'ine ait bu kireçtaşları, gri renkte ve rekristalize orta-kalın tabakalanmalı olarak gözlenmektedir. B ocağından alınan kayaçlar bu birimden elde edilmiştir.

### **2.1.2 Üst Kretase-Alt Paleosen Yaşlı Birimler**

Çalışma alanında I 19-c1 paftasında Kabadere çevresinde ayrıışmış yeşilimsi kahverenkli, orta-ince taneli kumtaşı, yeşilimsi kilttaşları ile çamurtaşları birlikte gözlenir. Litolojide kumtaşı, kiltaş tabakalanmaları içerisinde Triyas yaşlı neritik gri renkli kireçtaşı blokları, spilitik bazalt ve serpantin blokları yer almaktadır.

### **2.1.3 Alt Miyosen- Ort Miyosen Yaşlı Birimler**

Çalışma alanında gözlenen Alt Miyosen-Orta Miyosen yaşlı birimler altere andezit, bazaltik lav ve piroklastiklerden oluşmuştur (Pehlivan ve diğ., 2007). Çalışma alanı içerisinde geniş yüzlekler veren bu birimler aşırı alterasyona uğramış olup, arazide kahverengimsi, sarımsı ve kırmızı renklerde görülen silisleşmiş sert tüfler ve karasal çökeller ile birlikte gözlenmektedir. Tipik olarak Beyköy ve Bakacak dolayları, Naipli kuzey, kuzeybatı ve güney kısmında görülmektedir.



#### AÇIKLAMALAR

- m1m2aπ-k  
Alt Miyosen - Orta Miyosen  
\*Andezit-Tüf, Karasal, Volkanik Kaya
- k2pn1-20-y  
Üst Kretase - Alt Paleosen  
\*Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı, Yamaç, Çökel Kaya
- t-8-s  
Triyas  
\*Kireçtaşı, Şelf, Çökel Kaya

#### İŞARETLER

- Araba Yolu
- Kırmataş Ocağı

**Şekil 2.4:** B ocağı ve çevresinin jeoloji haritası (MTA, 1/25.000 ölçekli “Balıkesir J 19-c1 Paftası” ndan alınarak çizilmiştir.



**Şekil 2.5:** B ocağı kireçtaşı litolojisinden görüntü



## 2.2 K Ocağı ve Civarının Jeolojisi

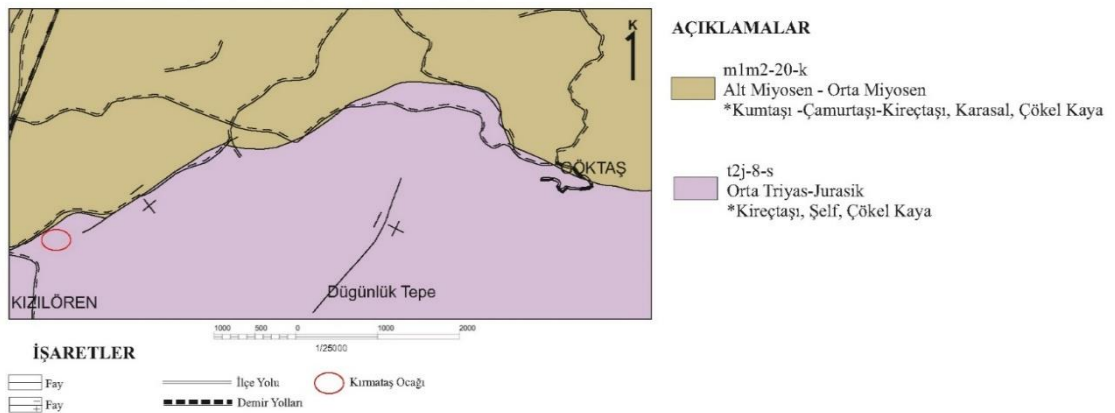
Manisa ili, Soma ilçesi Kızılören köyünde bulunan K Ocağı'nın litolojik açıklamaları aşağıda verilmiştir.

### 2.2.1 Orta Triyas- Jura Yaşlı Birimler

Çalışma alanında bulunan birimler açık gri, sarımsı renkli orta tabakalanmalı, sert ve kırılğan neritik kireçtaşlarından oluşmuştur. Kireçtaşları kristalize ve oolitik bir dokudadır. Kızılörenköy dolayları ve Dügünlük Tepe ve çevresinde bu kireçtaşları en iyi şekilde gözlenir. K ocağından alınan numuneler bu birimlerden elde edilmiştir.

### 2.2.2 Alt Miyosen-Orta Miyosen Yaşlı Birimler

Balıkesir güneyinde J 19-a3 paftasında geniş alanlarda gözlenen litoloji içerisinde kumtaşı, çamurtaşı, killi kireçtaşları gözlenmektedir. Litoloji genel olarak sarımsı boz renkli gri katman kalınlıkları inceden kalına kadar değişen şekilde devrik kıvrımlı olarak gözlenmektedir. Akyürek ve Soysal (1978)'e göre birim genellikle çalışma alanında kuzeydoğu-güneybatı yönde bir uzanım göstermekte olup, Soma Formasyonu olarak kabul edilmiştir. Bu bölgede litoloji içerisinde akarsu çökelleri ve kumtaşları kil ardalımları arasında kömür düzeyleri gözlenmektedir.



**Şekil 2.6:** K ocağı ve çevresinin jeoloji haritası (MTA, 1/100.000 ölçekli “Balıkesir J 19 Sayısal Jeoloji Haritası” ndan alınarak çizilmiştir.



**Şekil 2.7:** K ocağı kireçtaşı litolojisinden görüntü.

## **2.3 Z Ocağı ve Civarının Jeolojisi**

Manisa ili, Kırkağaç ilçesinde bulunan Z Ocağı'nın litolojik açıklamaları aşağıda verilmiştir.

### **2.3.1 Orta Triyas-Liyas Yaşlı Birimler**

Birim çalışma alanı Balıkesir J 19-d3 paftasında geniş alanda Bakır mevki ve Kırkağaç ilçesi çevresi, Orta Tepe ve Palamutçu Tepe civarlarında tipik olarak gözlenir. Akyürek ve Soysal (1978)'e göre bu birimler Kırkağaç Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada da Z ocağı kireçtaşları bu formasyondan elde edilmektedir. Çalışma alanında gözlenen kireçtaşları beyaz, bej renkli orta-kalın tabakalı kısmen dolomitleşmiş, rekristalize, bol kırıklı, eklemli çatlaklı ve kolay ayrışabilme özelliği göstermektedir. Kolay ayrışabilme özelliği nedeniyle tabakalanma her yerde izlenememektedir. Akyürek ve Soysal, (1978)'e göre Kırkağaç

Formasyonu içeriğinde makrofosil olarak çok küçük gastropoda izleri görülmüştür ve bol olarak mikrofosiller bulunmaktadır.

### **2.3.2 Alt Kretase Yaşlı Birimler**

Balıkesir J 19 d3 paftasında parça parça kısımlarda izlenir. Çalışma alanına yakın civarda Devekaşan Tepe dolaylarında bol kuvarslı kumtaşı, çamurtaşı ile başlayarak daha sonra boz gri renkli kireçtaşı tabakaları şeklinde yüzlek vermiştir.

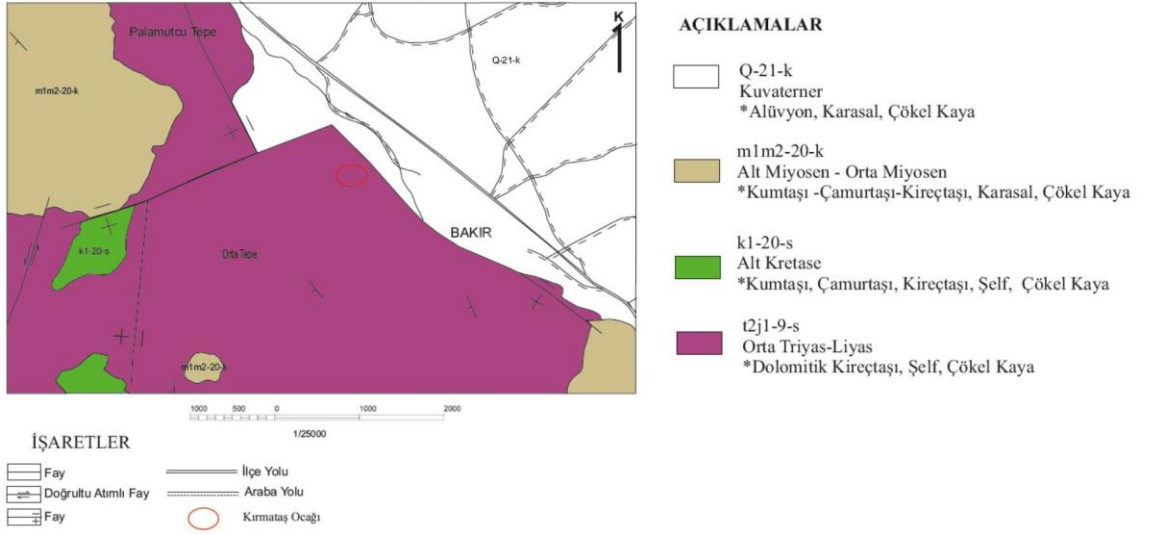
Kırkağaç formasyonuna ait Orta Triyas-Liyas yaşlı kireçtaşları üzerine, Alt Kretase yaşlı birime ait kireçtaşları gelerek birlikte kıvrımlanmışlardır. Bu kireçtaşları, sert ve kırmızımsı bej renkli, dış yüzeyleri çatlak görünümlü, çatlakları kalsit dolgulu, orta tabakalanmalıdırlar. Akyürek ve Soysal, (1978)'e göre bu birimler Avgediği Formasyonu olarak adlandırılmış olup, kırmızı renkli kireçtaşı seviyeleri az fosilli, ince taneli kayaçları ise bol fosil içermektedir.

### **2.3.3 Alt Miyosen - Orta Miyosen Yaşlı Birimler**

Ova düzlüğünün bitiminden başlayarak Palamutçu Tepe batısında ve Bakır ilçesi bitiminin güney-doğusunda yüzeyleyen birimler kumtaşı, konglomera, çamurtaşı, killi kireçtaşı marn ve tüfit ardalanmalarından oluşur. Tüfler kaba taneli kum boyutunda gözlenmekte olup, bunları kirli sarı kaba taneli, demiroksit içeren kumtaşları takip etmektedir. Bu birimler içerisinde kumtaşları epey yaygın olup, killi kireçtaşları marn ile ardalanmalı olarak gözlenmektedir. Akyürek ve Soysal, (1978)'e göre bu birimler Soma Formasyonu'na dahil edilmiştir.

### **2.3.4 Kuvaterner Yaşlı Birimler**

Çalışma alanı Balıkesir J 19-d3 paftasında en genç birim olarak Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç çökelleri bulunmaktadır. Birimler muhtelif kayaçların ayrışması, çeşitli etmenlerle taşınması ve birikmesi sonucu oluşmuş olup ve içeriğinde Orta-Triyas yaşlı mıcır halindeki ayrılmış kireçtaşı parçaları görülür. Alüvyon zeminler burada Kırkağaç ve Bakır ovasında gözlenmektedir.



**Şekil 2.8:** Z ocağı ve çevresinin jeoloji haritası (MTA, 1/25.000 ölçekli “Balıkesir J 19-d3 Paftası” ndan alınarak çizilmiştir.



**Şekil 2.4:** Z ocağı kireçtaşı litolojisinden görüntü.

### 3. PETROGRAFİK VE KİMYASAL ANALİZLER

Bir kayacın beton agregası olarak kullanılmak istenildiğinde içeriğinde zararlı bileşenlerin varlığı ve miktarının tespiti için, petrografik ve kimyasal analizler oldukça faydalı yöntemlerdir. Bu nedenle çalışma alanından alınan kayaç numunelerine petrografik analiz için ince kesit yaptırılmıştır. İnce kesitler Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İnce Kesit Laboratuvarı'nda, kesitlerin petrografik analizleri ise TS 10088 EN 932-3 (TS, 1997a) standardına uygun olarak, Balıkesir Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Optik Mikroskop Laboratuvarı'nda Olympus CX31 marka polarizan mikroskopta çift nikol 10X büyütmede incelenmiş ve modal analizi yapılarak, içeriğindeki mineral yüzdeleri belirlenmiştir.

Ayrıca agregaların kimyasal analizleri için kireçtaşlarından örnekler alınarak Acme Labs. (Vancouver/Kanada) gönderilmiştir. Örneklerdeki ana oksit ve iz elementler ICP-ES (Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometry- Endüktif Eşleşmiş Plazma Emisyon Spektrometresi) yöntemiyle tayin edilmiştir.

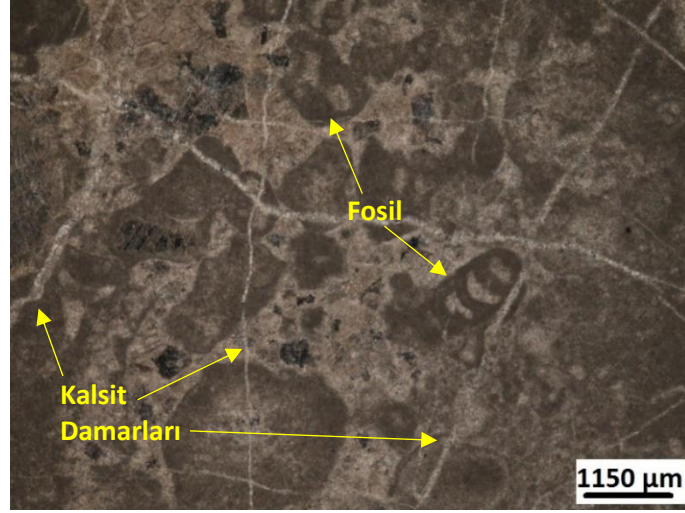
#### 3.1 Petrografik Analiz Sonuçları

B ocağından alınan kayaç örneklerine ait B1 ve B3 kesitlerinin incelemesinde kayaçların bağlayıcısının sparitten meydana geldiği ve kayacın tümsele yakın oranda (% 98) kalsit mineralinden oluştuğu görülmüştür (Çizelge 3.1). Örneklerin her ikisinin de, ikincil kalsit damarlarıyla farklı yönlerde çatlaklar bulundurduğu ve tane bileşeni olarak büyük oranda intraklast; daha az oranda ise pellet ve fosil içermekte olduğu görülmüştür. Fosiller 10X büyütmede oldukça net bir şekilde gözlenmiştir (Şekil 3.1). Kalsit damarı ise Şekil 3.2'de net olarak gözlenmektedir. Bu özellikler doğrultusunda Folk (1962) sınıflamasına göre kayaçlar "İntrapelbiyosparit" olarak adlandırılmıştır.

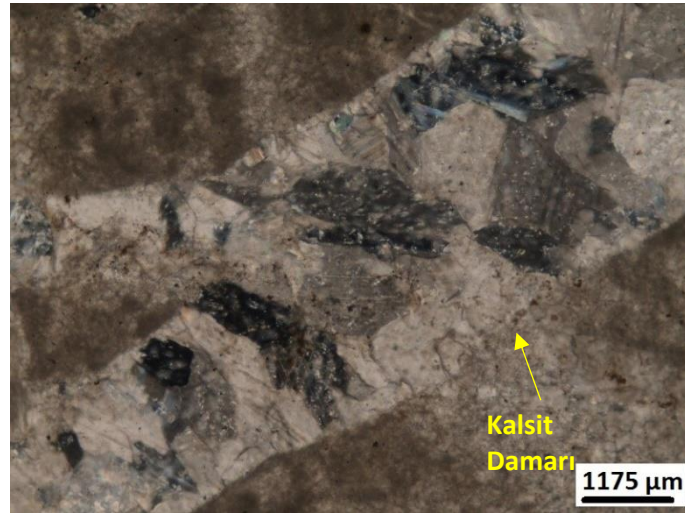
Çizelge 3.1: Modal analiz tablosu

Mineral (%)	Ocaklar		
	B Ocağı	K Ocağı	Z Ocağı
Kalsit	%97	%95	>%99
Dolomit	%2	%5	-
Silis	%1	-	-



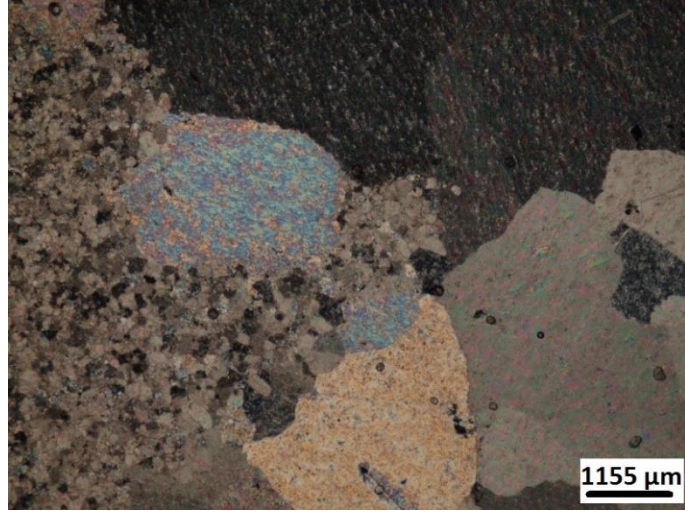


**Şekil 3.1:** B1 kesitinde görülen fosiller ve ikincil kalsit damarları.



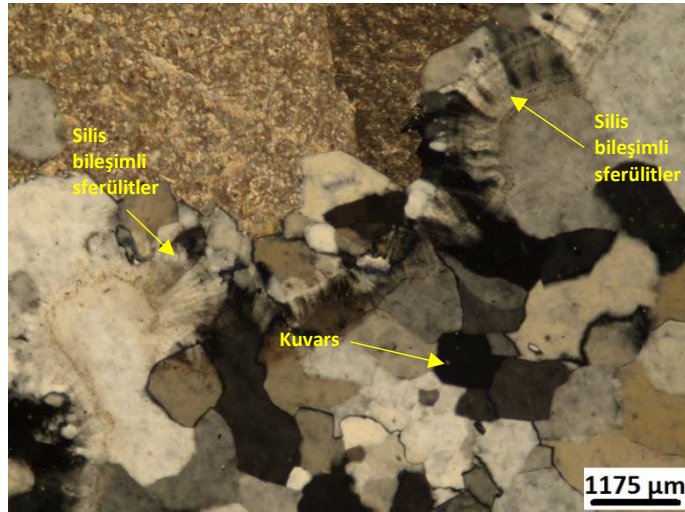
**Şekil 3.2:** B3 kesitinde görülen sekonder kalsit damarı.

B2 kesitinde yine bağlayıcının sparit olduğu görülmüştür ve kayaçta pellet varlığı azalmıştır, intraklastlar bu örnekte daha iri olarak gözlenmiştir. Kayaçta kavkı kalıntıları tespit edilmiştir (Şekil 3.3). İkincil kalsit damarları diğer kesitlerde olduğu gibi bu kesitte de gözlenmiş ve bu veriler ışığında kayaç Folk (1962) sınıflamasına göre “İntrabiyosparit” olarak adlandırılmıştır.



**Şekil 3.3:** B2 kesitinde görülen sparitik hamur içerisindeki kalsit mineralleri.

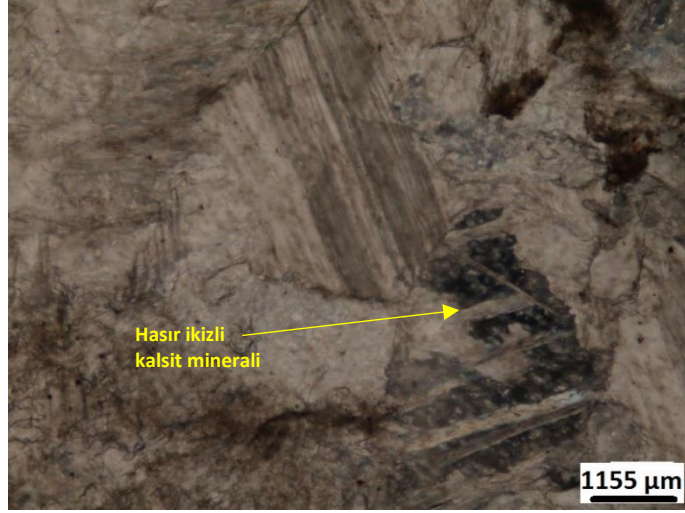
B4 kesitinde ise çok iri taneli hasır ikizleri gösteren kalsitlerin mozayik dokuyu oluşturmakta olduğu ve kayaçta bol miktarda özşekilsiz kuvars mineralleri ile silis sferülitleri gözlenmiştir (Şekil 3.4). Ayrıca bu kesitte kalsit ve kuvars minerallerinin granoblastik doku içerisinde birlikte oldukları görülmüştür (Şekil 3.5). Kesitte yer yer ince taneli karbonatlaşmış bir bağlayıcı gözlenmiştir. Bu verilere dayanarak B4 kayacı “Silisifiye Kireçtaşı” olarak adlandırılmıştır.



**Şekil 3.4:** B4 kesitinde görülen sferülitik dokuda kuvars ve kalsit mineralleri.







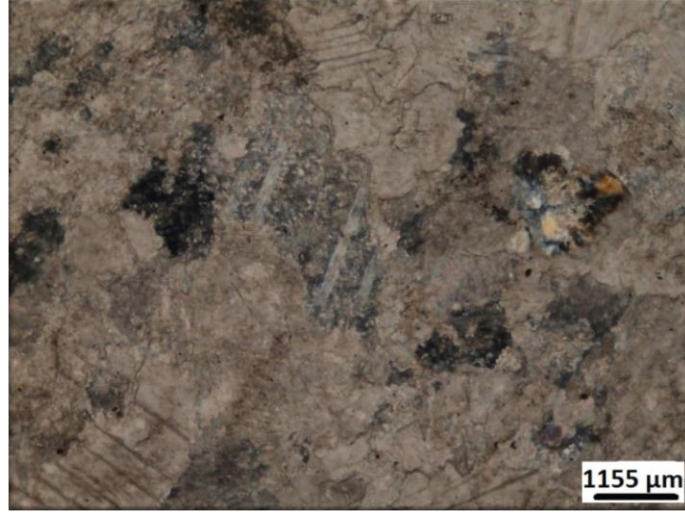
**Şekil 3.7:** K3 kesitinde görülen hasır ikizli iri kalsit mineralleri



**Şekil 3.8:** K4 kesitinde görülen kalsit mineralleri ve içerdiği ikincil damarların görünümü.

Z ocağından alınan numunelerin Z1 ve Z2 ince kesitlerinde ise çok ince taneli kalsit minerallerinin varlığı gözlenmiş (Şekil 3.9) ve pellet içeriği nedeniyle kayaçlar “İntrapelbiyosparit” olarak adlandırılmıştır. Z3 kesitinde ise kalsit ikiz düzlemlerinin metamorfizma etkisiyle bükülmüş, kıvrılmış olduğu görülmüştür, ayrıca büyük kalsit damarları bu kesitlerde de görülmüştür (Şekil 3.10). Z4 kesitinde ise kayaç bağlayıcısının sparitten oluştuğu, bağlayıcı içerisinde diğerlerinden daha ufak kalsit mineralleri ve bol miktarda fosil varlığı gözlenmiştir. Kayaç tümsele yakın oranda

(%99) kalsit mineralinden oluşmaktadır. Bu verilere dayanarak bu kesitler Folk (1962) sınıflamasına göre “Sparitik Kireçtaşı” olarak adlandırılmıştır.



**Şekil 3.9:** Z1 kesitinde görülen kalsit mineralleri.



**Şekil 3.10:** Z3 kesitinde görülen mükemmel hasır ikizli kalsit kristalleri ve büyük kalsit damarı.

### 3.2 Kimyasal Analiz Sonuçları

Kireçtaşı numunelerinin ana oksitleri (%) ve iz elementleri (ppm) Çizelge 3.1’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 % 1’in altındadır.

**Çizelge 3.2:** Kireçtaşlarının ana oksit ve iz element analiz sonuçları

<b>Analitler</b>	<b>Numuneler</b>		
	<b>BK-1</b>	<b>KK-1</b>	<b>ZK-1</b>
<b>SiO<sub>2</sub> (%)</b>	0,51	0,22	0,15
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>	0,02	0,04	0,02
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>	0,05	0,09	0,06
<b>MgO (%)</b>	0,65	2,04	0,16
<b>CaO (%)</b>	55,03	53,58	55,94
<b>Na<sub>2</sub>O (%)</b>	<0,01	<0,01	<0,01
<b>K<sub>2</sub>O (%)</b>	<0,01	<0,01	0,01
<b>TiO<sub>2</sub> (%)</b>	<0,01	<0,01	<0,01
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%)</b>	0,03	0,11	0,01
<b>MnO (%)</b>	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>	<0,002	<0,002	<0,002
<b>Ba (ppm)</b>	<5	<5	<5
<b>Ni (ppm)</b>	<20	<20	<20
<b>Sr (ppm)</b>	211	144	86
<b>Zr (ppm)</b>	<5	<5	<5
<b>Y (ppm)</b>	<3	<3	<3
<b>Nb (ppm)</b>	<5	<5	<5
<b>Sc (ppm)</b>	<1	<1	<1
<b>Kızdırma Kaybı (%)</b>	43,7	43,8	43,6

## 4. DENEYLER VE BULGULAR

Bu kısımda inceleme alanlarında bulunan taş ocaklarından alınan numunelere yapılan deney yöntemleri anlatılmış ve elde edilen sonuçlar ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında kireçtaşı örneklerine, agrega örneklerine ve beton örneklerine uygulanan tüm deneyler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Daha sonra çalışma alanında seçilmiş olan ocaklardan elde edilen kireçtaşı agregalarından beton üretimi yapılmıştır ve üretilen betonların basınç dayanım sonuçları hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.1:** Yapılan deney ve analizler.

<b>Analiz/Deney Adı</b>	<b>Referans</b>
Kireçtaşlarının Görünür Yoğunluk ve Açık Gözeneklilik Tayini	TS EN 1936:2010
Kireçtaşlarının Su Emme Tayini	TS EN 13755:2014
Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi	ISRM (2007)
Ultrases Hız Deneyi	ISRM (2007)
Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini	TS EN 1926:2013
Eleme Metodu İle Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini	ASTM C-136
Yassılık İndeksi Deneyi	TS EN 933-3:2012
Şekil İndeksi Deneyi	TS EN 933-4:2009
Sıkışık ve Gevşek Birim Hacim Ağırlık	TS EN 1097-3:1999
Agregaların Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini	TS EN 1097-6:2013
Dona Dayanıklılık Deneyi (Magnezyum Sülfat İle)	TS EN 1367-2:2011
Los Angeles Parçalanma Deneyi	TS EN 1097-2:2010
Microdeval Aşınma Deneyi	TS EN 1097-1:2011
Agrega Darbe Dayanımı Deneyi	BS 812-112 :1990
İnce Tanelerin Tayini-Metilen Mavisi	TS EN 933-9:2014
Kil Topağı Tayini	ASTM C-142
Organik Madde Tayini	TS EN 1744-1+A1:2013
Alkali-Silika Reksiyonu- Genleşme (%)’si	CANADA CSA A-23.2-25A
Beton Birim Hacim Ağırlık Deneyi	TS EN 12350-6:2010
Beton Slump (Çökme) Deneyi	TS EN 12350-2:2010
Beton Basınç Dayanımı Deneyi	TS EN 12390-3: 2010

## 4.1 Kireçtaşlarının Fiziksel Özellikleri

Bu bölümde, çalışma alanından alınan kireçtaşı numunelerinin görünür yoğunlukları, açık gözeneklilik değerleri, su emme değerleri hesaplanmış ve alınan silindir numunelerin üzerinde ultrases hız deneyleri hesaplanmıştır.

### 4.1.1 Açık Gözeneklilik ve Görünür Yoğunluk Tayini

Görünür yoğunluk, kuru numune kütesininin görünür hacmine oranıdır (TS EN 1936, 2010). Görünür yoğunluk ve açık gözeneklilik deneyi TS EN 1936 (TS, 2010a) standardı doğrultusunda yapılmıştır. Analizde her bir ocaktan alınmış dörder adet numune kullanılmıştır. Örnekler 48 saat suya doymun hale getirildikten sonra Arşimet terazisi düzeneğinde alttan tartma özelliği olan bir teraziye bağlı tel bir sepet içine konularak (Şekil 4.1) öncelikle su içindeki ağırlıkları ( $m_h$ ) daha sonra da, kuru yüzey doymun ağırlıkları ( $m_s$ ) tartılmıştır. Son olarak örnekler etüvde değişmez kütleyle ulaşınca kadar kurutulduktan sonra ağırlıkları ( $m_d$ ) tartılmıştır. Açık gözeneklilik ( $\rho_0$ ) ve görünür yoğunluk ( $\rho_b$ ) ise denklem (4.1) ve (4.2)'den hesaplanmıştır ve görünür yoğunluğu ( $\rho_b$ ) en fazla olan ortalama değer  $2703 \text{ kg/m}^3$  ile Bakacak yöresindeki B ocağı kireçtaşlarından elde edilmiştir. En düşük açık gözeneklilik ( $\rho_0$ ), ortalama değeri ise % 0,199 ile yine Bakacak yöresindeki B ocağı kireçtaşlarından elde edilmiştir (bkz. Çizelge 4.2, 4.3, 4.4).

Deneylelerin yapılışı sırasındaki su sıcaklığına göre suyun yoğunluğu  $0,999127 \text{ g/cm}^3$  alınmıştır.

$$\rho_0 (\%) = (m_s - m_d) / (m_s - m_h) \times 100 \quad (4.1)$$

$$\rho_b = m_d / (m_s - m_h) \times \rho_{rh} \quad (4.2)$$

$\rho_{rh}$  : Ölçüm yapılan sıcaklıktaki suyun yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )



**Şekil 4.1:** Kireçtaşlarının suda tartımı

#### 4.1.2 Su Emme Tayini

Su emme deneyi TS EN 13755 (TS, 2014a) standardı doğrultusunda yapılmış olup etüvde sabit kütle elde edilinceye kadar kurutulmuş deney numunelerinin kütleleri tartılmıştır ( $m_d$ ). Numuneler daha sonra su içerisinde bir gün süreyle bekletilerek, sudan çıkarıldıktan sonra yüzeyleri kurulanmış ve tartılmıştır ( $m_i$ ). Deney numuneleri tekrar suya daldırılmış ve 24 saatlik süre sonrasında sudan çıkarılmış, hızlı bir şekilde kurulanmış ve yine tartılmıştır. Deney numuneleri tartımında çıkan sonuç, sabit bir değere ulaşınca kadar numuneler suya doyurulmuştur ve doymuş numune kütleleri tartılarak kayda alınmıştır ( $m_s$ ). Hesaplamalar denklem (4.6)'dan yapılmıştır ve su emmesi ( $A_b$ ) en düşük ortalama değer ise % 0,074 ile yine Bakacak yöresindeki B ocağı kireçtaşlarından elde edilmiştir (bkz. Çizelge 4.2, 4.3, 4.4).

$$A_b = (m_s - m_d) / m_d \times 100 \quad (4.6)$$

**Çizelge 4.2:** B ocağı kireçtaşlarının açık gözeneklilik yüzdesi ( $p_o$ ), görünür yoğunluğu ( $p_b$ ) ve su emme yüzdesi ( $A_b$ ) sonuçları.

No	$m_s$ (g)	$m_d$ (g)	$m_h$ (g)	$p_b$ (kg/m <sup>3</sup> )	$A_b$ (%)	$p_o$ (%)
SB1	584,01	583,6	369,26	2715,206	0,070	0,191
SB2	354,96	354,59	223,55	2695,993	0,104	0,282
SB3	635,17	634,9	400,77	2706,253	0,043	0,115
SB4	597,94	597,49	376,57	2696,700	0,075	0,203
SB5	422,84	422,52	266,68	2703,324	0,076	0,205
<b>Aritmetik Ort.</b>				<b>2703,5</b>	<b>0,074</b>	<b>0,199</b>
<b>Standart Sap.</b>				<b>7,862</b>	<b>0,022</b>	<b>0,059</b>

**Çizelge 4.3:** K ocağı kireçtaşlarının açık gözeneklilik yüzdesi ( $p_o$ ), görünür yoğunluğu ( $p_b$ ) ve su emme yüzdesi ( $A_b$ ) sonuçları.

No	$m_s$ (g)	$m_d$ (g)	$m_h$ (g)	$p_b$ (kg/m <sup>3</sup> )	$A_b$ (%)	$p_o$ (%)
SK1	718,42	717,71	453,23	2704,036	0,099	0,268
SK2	595,47	594,86	375,2	2698,237	0,103	0,277
SK3	757,26	756,6	477,28	2699,977	0,087	0,236
SK4	515,87	514,84	324,78	2691,876	0,200	0,539
SK5	485,86	485,41	306,16	2698,866	0,093	0,250
<b>Aritmetik Ort.</b>				<b>2699,2</b>	<b>0,095</b>	<b>0,255</b>
<b>Standart Sap.</b>				<b>3,330</b>	<b>0,006</b>	<b>0,017</b>

**Çizelge 4.4:** Z ocağı kireçtaşlarının açık gözeneklilik yüzdesi ( $p_o$ ), görünür yoğunluğu ( $p_b$ ) ve su emme yüzdesi ( $A_b$ ) sonuçları.

No	$m_s$ (g)	$m_d$ (g)	$m_h$ (g)	$p_b$ (kg/m <sup>3</sup> )	$A_b$ (%)	$p_o$ (%)
SZ1	691,37	691,08	435,83	2702,030	0,042	0,113
SZ2	734,01	733,31	461,53	2688,894	0,095	0,257
SZ3	715,16	713,5	449,95	2687,972	0,233	0,626
SZ4	1037,63	1035,79	652,02	2683,763	0,178	0,477
SZ5	940,39	939,02	591,59	2689,794	0,146	0,393
<b>Aritmetik Ort.</b>				<b>2687,6</b>	<b>0,163</b>	<b>0,373</b>
<b>Standart Sap.</b>				<b>6,852</b>	<b>0,074</b>	<b>0,198</b>

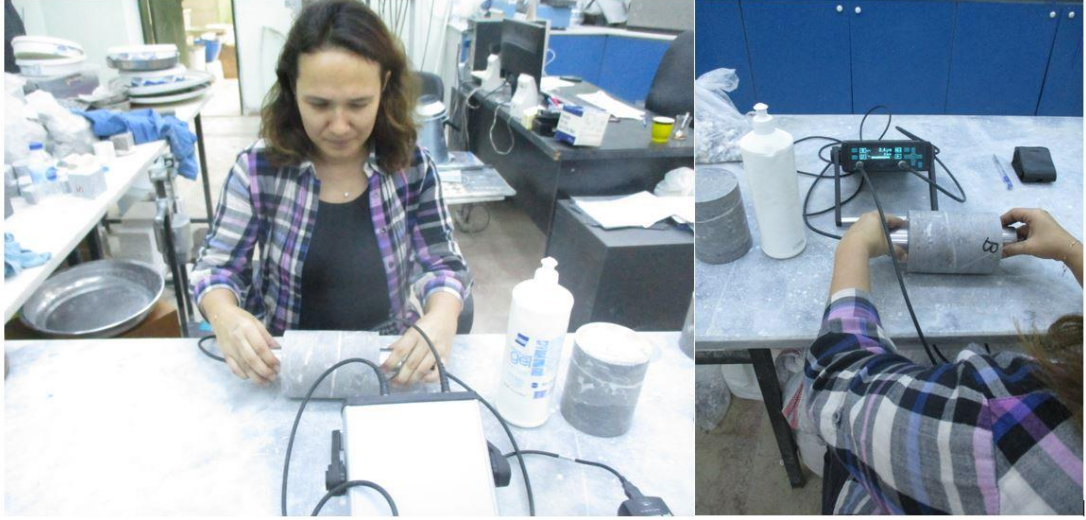
### 4.1.3 Ultrases Hız Testi

Bu deney, kaya örnekleri içerisinde yayılan ses dalgalarının yayılma hızlarından yararlanılarak, kaya malzemesinin deformasyonu, gözenekliliği dolayısıyla dayanımı hakkında tahminde bulunmak amacı ile ISRM 2007'ye göre yapılmıştır. Deneyin yapılışında Proceq Pundit Lab. ultrasonik dalga hızı test cihazı kullanılmıştır. Ses dalgalarının geçiş hızı kayacın birim ağırlığına, gözeneklilik durumuna ve çatlaklılığına bağlı olarak değiştiğinden, kayacın yoğunluğu düşük, gözenekli ve/veya çatlaklı yapıda ise ses dalgalarının geçiş hızları da bunlara bağlı olarak düşük olmaktadır. Deneyde, gönderici ile tamamen temasta olacak şekilde alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel şekilde kesilip düzlenmiş olan karot numuneler kullanılmıştır. Doygun olarak yapılan testler için numuneler deney anına kadar suyun içinde tutulmuştur. Daha sonra numune yüzeyindeki fazla su silinerek alt ve üst yüzeyine jel sürülmüş ve numune alıcı ve verici başlıklar arasında tutulmak suretiyle dalgalar gönderilmiştir. Alıcı tarafından tutulan ses dalgaları cihaza nakledilerek numune içinden geçen boyuna dalganın ( $V_p$ ) geçiş süresi tespit edilmiş ve Denklem 4.7 ile yayılma hızları tespit edilmiştir. Şekil 4.2'de deney fotoğrafları verilmiştir.

$$V_p = L / t \quad (4.7)$$

Deney çalışma alanlarından alınan 4'er adet silindirik numuneye hem kuru hem de doymun olarak uygulanmıştır. Ultrases deneyi sonuçlarına bakıldığında sonuçların birbirlerine çok yakın değerlerde çıktığı görülmüştür (Çizelge 4.5, 4.16 ve 4.7). Bakacak bölgesinden alınan kireçtaşlarının kurutulmuş numunelerinden alınan ortalama hız  $5943,2 \pm 82,6$  m/s, doymun değerler ise  $6005,3 \pm 143,4$  m/s, Kızılören bölgesinden alınan kireçtaşlarının kuru numunelerinden alınan ortalama hız  $5709,3 \pm 85,7$  m/s, doymun değerler ise  $6081,1 \pm 106,1$  m/s, Kırkağaç bölgesinde ise sonuçlar kurutulmuş numunelerde okunan ortalama hız  $6001,9 \pm 120,6$  m/s, doymun numunelerde ise  $6072,7 \pm 42,9$  m/s'dir. Sonuçları karşılaştırıldığında kuru ve doymun numunelerden okunan sonuçların farkının en az olduğu Kırkağaç bölgesindeki kireçtaşlarının diğerlerine oranla daha homojen olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.





Şekil 4.2: Ultrases hız deneyi cihazı ve deneyi.

Çizelge 4.5: B ocağı numunelerinin ultrases hız testi deney sonuçları.

No	Numune Boyu-L (mm)	Doygun Numunede Dalga Geçiş Süresi-t (s)	Doygun Hız- $v_p$ (m/s)	Kuru Numunede Dalga Geçiş Süresi-t (s)	Kuru Hız- $v_p$ (m/s)
SB1	146,35	23,9	6123,4	24,4	5998,0
SB2	130,54	21,9	5960,7	21,9	5960,7
SB3	101,3	17,4	5821,8	17,4	5821,8
SB4	149,21	24,4	6115,2	24,9	5992,4
		<b>Art. Ort.</b>	6005,3	<b>Art. Ort.</b>	5943,2
		<b>Std. Sap.</b>	143,4	<b>Std. Sap.</b>	82,6

Çizelge 4.6: K ocağı numunelerinin ultrases hız testi deney sonuçları.

No	Numune Boyu-L (mm)	Doygun Numunede Dalga Geçiş Süresi-t (s)	Doygun Hız- $v_p$ (m/s)	Kuru Numunede Dalga Geçiş Süresi-t (s)	Kuru Hız- $v_p$ (m/s)
SK1	134,72	21,9	6151,6	23,4	5757,3
SK2	126,05	20,4	6178,9	21,9	5755,7
SK3	114,29	18,9	6047,1	19,9	5743,2
SK4	136,18	22,9	5946,7	24,4	5581,1
		<b>Art. Ort.</b>	6081,1	<b>Art. Ort.</b>	5709,3
		<b>Std. Sap.</b>	106,1	<b>Std. Sap.</b>	85,7

**Çizelge 4.7:** Z ocağı numunelerinin ultrases hız testi deney sonuçları.

No	Numune Boyu-L (mm)	Doymun Numunede Dalga Geçiş Süresi-t (s)	Doymun Hız- $v_p$ (m/s)	Kuru Numunede Dalga Geçiş Süresi-t (s)	Kuru Hız- $v_p$ (m/s)
<b>SZ1</b>	137,02	22,4	6117,0	22,4	6117,0
<b>SZ2</b>	142,60	23,4	6094,0	23,4	6094,0
<b>SZ3</b>	120,62	19,9	6061,3	20,4	5912,7
<b>SZ4</b>	131,80	21,9	6018,3	22,4	5883,9
		<b>Art. Ort.</b>	6072,7	<b>Art. Ort.</b>	6001,9
		<b>Std. Sap.</b>	42,9	<b>Std. Sap.</b>	120,6

## 4.2 Kireçtaşlarının Mekanik Özellikleri

Bu bölümde çalışma alanından alınan kireçtaşı numunelerinin doymun ve kuru haldeki nokta yük dayanım indeksleri hesaplanmıştır. Silindir şeklinde alınmış numuneler üzerinde ise tek eksenli basınç dayanımı testi uygulanarak kayaçların dayanım özellikleri hakkında sonuçlar alınmıştır.

### 4.2.1 Nokta Yük Dayanım İndeksi Tayini

Nokta yük dayanım indeksi tayini, ISRM 2007'ye göre yapılmıştır. Bu tayin kayaçların nokta yük dayanım indeksini belirlemek, kayaçları dayanımlarına göre sınıflandırmak ve dolaylı yoldan tek eksenli basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Deney sırasında yük, hidrolik kriko vasıtası ile alt konik uç ile diğer konik uç yük hücresinin bulunduğu üst başlık arasına sıkıştırılan bloklara devamlı olarak uygulanmıştır ve numunenin 1 dakika içerisinde yenilmesi sağlanmıştır. İki uç arasındaki mesafe kolun yan tarafındaki skala üzerinden okunarak, numunenin kırılma anındaki yenilme yükü cihazın üzerindeki gösterge vasıtasıyla kgf cinsinden okunmuştur. Çalışmada kullanılan nokta yükleme cihazı Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Deneyin geçerlilik durumu numunenin kırılış biçimine göre belirlenmiştir. Şekil 4.4'de şekilsiz blok olarak alınan numunelerin örnek kırılmaları gösterilmiştir. Nokta yük dayanım indeksi (4.8) denkleminde hesaplanmıştır.



Şekil 4.3: Nokta yük dayanım indisi deney cihazı ve deneyin yapılışı.



Şekil 4.4: Deney numunelerinin kırılma şekilleri.

$$I_s = P / D_e^2 \quad (4.8)$$

P: Kayacın yenilme anındaki cihaz üzerinden okunan yük. (Kgf)

$D_e$  ise, örneğin eş değer karot çapını ifade eder, blok ve düzensiz örneklerde (4.9) denkleminde hesaplanmıştır.

$A=WD$ ; ( $\text{mm}^2$ ) Başlıkların temas noktalarından geçen numunenin en küçük kesit alanını ifade eder.

$$D_e^2 = 4A / \pi \quad (4.9)$$

Ulusay, Gökçeoğlu ve Binal (2001)'e göre;  $I_s$  değeri blok ve düzensiz deneylerde  $D_e$ 'nin bir fonksiyonu olarak değiştiğinden  $I_s$  değerinin standart bir karot çapına göre düzeltilmesi gerekir ( $D=50$  mm). Bu nedenle  $D_e$ 'nin mm değerinden aşağıdaki (4.10) denklemi ile boyut düzeltmesi yapılarak "F boyut düzeltme faktörü" bulunmuştur.

$$F = (D_e / 50)^{0.45} \quad (4.10)$$

Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi ise aşağıdaki (4.11) denklemi ile hesaplanmıştır. Ulusay ve diğ., (2001)'e göre  $I_s$  değeri;  $D_e$ 'ye göre değiştiğinden  $I_s$  değerinin standart bir karot çapına ( $D=50$  mm) göre değerinin düzeltilmesi gerekir.

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (4.11)$$

**Çizelge 4.8:** Kayaçların nokta yük dayanım direncine göre sınıflandırılması (Karaman, Kesimal, 2012).

Kaya Sınıfı	Nokta Yük Dayanım Direnci (MPa)
Çok Düşük Dirençli	<1
Düşük Dirençli	1-2
Orta Dirençli	2-4
Yüksek Dirençli	4-8
Çok Yüksek Dirençli	>8

Yukarıda yöntemi ve hesaplamalar için denklemleri verilen deneylerden elde edilen kuru numunelere ait değerler Çizelge 4.9, 4.11 ve 4.13’de, doygun numunelere ait değerler Çizelge 4.10, 4.12, 4.14’de verilmiştir. Bakacak kireçtaşlarından alınan kuru numuneler üzerinde yapılan deneylerin ortalama değeri  $2,94 \pm 0,814$  MPa, doygun numunelerin ortalama değeri ise  $2,90 \pm 0,935$  bulunmuştur. Kızılören mevkiinden alınan kuru numunelerinin ortalama değeri  $2,34 \pm 0,839$  MPa, doygun numunelerin ortalama değeri  $2,18 \pm 0,634$  bulunmuştur. Kırkağaç bölgesinden alınan kuru numunelerinin ortalama değeri  $2,75 \pm 0,892$ , doygun numunelerin ortalama değeri  $2,50 \pm 0,912$  MPa bulunmuştur. Çıkan sonuçların ortalamaları Çizelge 4.8’e göre sınıflandırıldığında her üç ocağa ait kayaçlar “Orta Dirençli” kayaç sınıfına girdiği görülmektedir. Ayrıca ocaklardan alınan kuru ve doygun numunelere ait dayanım sonuçları birbirlerine yakın değerler çıktığından bu bilgiler ışığında da çalışma alanlarından temin edilen kireçtaşlarının gözenekliliğinin az olduğu söylenebilmektedir.

**Çizelge 4.9:** B ocağı numuneleri nokta dayanım indeksi sonuçları.

N. No	P (kN)	De <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	Is (MPa)	F	Is(50) (MPa)
<b>B1</b>	15,69	3983,41	3,94	1,11	4,37
<b>B2</b>	18,14	5602,5	3,24	1,2	3,88
<b>B3</b>	11,77	3671,54	3,21	1,09	3,49
<b>B4</b>	17,16	5585,88	3,07	1,2	3,68
<b>B5</b>	13,73	4721,95	2,91	1,15	3,35
<b>B6</b>	13,24	4816,02	2,75	1,16	3,19
<b>B7</b>	12,75	4869,41	2,62	1,16	3,04
<b>B8</b>	5,88	2260,29	2,6	0,98	2,54
<b>B9</b>	13,73	5067,5	2,71	1,17	3,18
<b>B10</b>	8,83	4306,43	2,05	1,13	2,32
<b>B11</b>	4,9	3424,22	1,43	1,07	1,54
<b>B12</b>	8,83	5231,85	1,69	1,18	1,99
<b>B13</b>	6,86	3883,89	1,77	1,1	1,95
<b>B14</b>	9,81	5229,48	1,88	1,18	2,21
<b>B15</b>	11,77	3691,17	3,19	1,09	3,48
<b>Art. Ort. ± Std. Sap.</b>					<b>2,94±0,814</b>

**Çizelge 4.10:** B ocağı doygun numuneleri nokta dayanım indeksi sonuçları.

N. No	P (kN)	De <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	Is (MPa)	F	Is(50) (MPa)
DB1	17,16	3689,08	4,65	1,09	5,08
DB2	7,85	2143,62	3,66	0,97	3,54
DB3	9,81	3014,07	3,25	1,04	3,39
DB4	17,16	5585,88	3,07	1,20	3,68
DB5	13,73	5067,50	2,71	1,17	3,18
DB6	13,24	4816,02	2,75	1,16	3,19
DB7	12,75	4869,41	2,62	1,16	3,04
DB8	5,88	2260,29	2,60	0,98	2,54
DB9	13,73	5067,50	2,71	1,17	3,18
DB10	8,83	4108,54	2,15	1,12	2,40
DB11	9,32	4336,37	2,15	1,13	2,43
DB12	3,92	2597,52	1,51	1,01	1,52
DB13	5,39	3658,19	1,47	1,09	1,61
DB14	4,90	3309,83	1,48	1,07	1,58
DB15	12,26	4374,73	2,80	1,13	3,18
<b>Art. Ort. ± Std. Sap.</b>					<b>2,90±0,935</b>

**Çizelge 4.11:** K ocağı numuneleri nokta dayanım indeksi sonuçları.

N. No	P (kN)	De <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	Is (MPa)	F	Is(50) (MPa)
K1	11,77	3849,8	3,06	1,1	3,37
K2	16,67	6985,26	2,39	1,26	3,01
K3	15,69	7194,14	2,18	1,27	2,77
K4	8,83	4709,08	1,87	1,15	2,16
K5	8,83	4935,49	1,79	1,17	2,08
K6	8,83	8713,17	1,01	1,32	1,34
K7	6,37	5691,52	1,12	1,2	1,35
K8	4,9	3751,2	1,31	1,1	1,43
K9	6,86	5229,89	1,31	1,18	1,55
K10	8,83	6056,6	1,46	1,22	1,78
K11	4,41	2984,74	1,48	1,04	1,54
K12	9,81	3531,91	2,78	1,08	3
K13	12,75	5682,06	2,24	1,2	2,7
K14	11,77	4141,41	2,84	1,12	3,18
K15	20,1	6388,38	3,15	1,24	3,89
<b>Art. Ort. ± Std. Sap.</b>					<b>2,34 ± 0,839</b>

**Çizelge 4.12:** K ocağı doygun numuneleri nokta dayanım indeksi sonuçları.

N. No	P (kN)	De <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	Is (MPa)	F	Is(50) (MPa)
DK1	7,85	2711,75	2,89	1,02	2,95
DK2	13,73	5668,83	2,42	1,2	2,91
DK3	11,77	5205,55	2,26	1,18	2,67
DK4	6,86	4142,49	1,66	1,12	1,86
DK5	6,86	4186,85	1,64	1,12	1,84
DK6	7,36	3926,85	1,87	1,11	2,07
DK7	8,34	4499,87	1,85	1,14	2,11
DK8	7,85	6444,15	1,22	1,24	1,51
DK9	8,83	7027,23	1,26	1,26	1,58
DK10	8,83	7591,52	1,16	1,28	1,49
DK11	3,43	4216,83	1,28	1,12	1,44
DK12	9,81	5714,66	1,72	1,2	2,07
DK13	6,37	3657,32	1,74	1,09	1,9
DK14	8,34	2946,89	2,83	1,04	2,94
DK15	15,69	5471,27	2,87	1,19	3,42
<b>Art. Ort. ± Std. Sap.</b>					<b>2,18 ± 0,634</b>

**Çizelge 4.13:** Z ocağı numuneleri nokta dayanım indeksi sonuçları.

N. No	P (kN)	De <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	Is (MPa)	F	Is(50) (MPa)
Z1	14,71	6126,69	2,40	1,22	2,94
Z2	14,71	6504,42	2,26	1,24	2,80
Z3	13,73	3907,52	3,51	1,11	3,89
Z4	14,22	7690,61	1,85	1,29	2,38
Z5	13,24	5783,34	2,29	1,21	2,76
Z6	9,81	4849,68	2,02	1,16	2,35
Z7	14,22	5413,30	2,63	1,19	3,13
Z8	11,77	4081,83	2,88	1,12	3,22
Z9	16,18	4893,40	3,31	1,16	3,85
Z10	19,12	4852,33	3,94	1,16	4,58
Z11	8,83	3769,92	2,34	1,10	2,57
Z12	7,85	5661,76	1,39	1,20	1,67
Z13	7,36	4763,69	1,54	1,16	1,79
Z14	8,34	5124,84	1,63	1,18	1,91
Z15	8,83	8090,29	1,09	1,30	1,42
<b>Art. Ort. ± Std. Sap.</b>					<b>2,75 ± 0,89</b>

**Çizelge 4.14:** Z ocağı doygun numuneleri nokta dayanım indeksi sonuçları.

N. No	P (kN)	De <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	Is (MPa)	F	Is(50) (MPa)
DZ1	11,77	4931,70	2,39	1,17	2,78
DZ2	5,88	2527,23	2,33	1,00	2,33
DZ3	6,86	3873,01	1,77	1,10	1,96
DZ4	6,86	4068,03	1,69	1,12	1,88
DZ5	6,86	3796,87	1,81	1,10	1,99
DZ6	8,34	3311,67	2,52	1,07	2,68
DZ7	20,10	6590,10	3,05	1,24	3,79
DZ8	17,16	4773,44	3,60	1,16	4,16
DZ9	9,32	3240,51	2,87	1,06	3,05
DZ10	10,30	2537,74	4,06	1,00	4,07
DZ11	9,81	6145,96	1,60	1,22	1,95
DZ12	8,34	6181,83	1,35	1,23	1,65
DZ13	5,88	4521,27	1,30	1,14	1,49
DZ14	6,37	5612,50	1,14	1,20	1,36
DZ15	8,34	3919,98	2,13	1,11	2,35
<b>Art. Ort. ± Std. Sap.</b>					<b>2,50 ± 0,912</b>

#### 4.2.2 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı testi, kireçtaşlarına uygulanan basma yükü nedeniyle yenileceği maksimum yükünü (dayanım gücü) belirlemek için yapılır. Kireçtaşı örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) deneyi, TS EN 1926 (TS, 2013a) standardında önerildiği şekilde çapı boyuna eşit boyutlarda hazırlanmış sabit kütleyle kadar etüvde kurutulmuş silindirik karot örneklerine yapılmıştır. Alt ve üst yüzeyleri birbirlerine paralel olan kireçtaşı karot örnekleri cihazın plakaları arasına yerleştirilmiş ve örneklere 300 tonluk presste 1 MPa/s sabit hızda yük uygulanmıştır. Kırılma anındaki yük (F) kN cinsinden cihazdan okunmuş ve mm<sup>2</sup> cinsinden hesaplanmış ve bulunan değerlerin örnek yüzey alanına (A) bölünmesiyle basınç dayanım değeri (R) MPa cinsinden denklem (4.12) ile hesaplanmıştır. En yüksek ortalama dayanım 96,848 MPa değeri ile Kırkağaç yöresindeki Z ocağı kireçtaşlarından elde edilmiştir. Bu deneyin amacı kireçtaşı örneklerine uygulanan basınç altında ne kadar yüke dayanabileceklerini belirlemek olup, Çizelge 4.15'e göre çalışma alanındaki kireçtaşlarının orta dayanım özelliğinde olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.16, 4.17 ve 4.18'de verilmiştir.



$$R=F/A$$

(4.12)



Şekil 4.5: Tek eksenli basınç dayanımı deneyi fotoğrafları.

Çizelge 4.15: Kayaların dayanım sınıflaması (Deere and Miller (1966)'dan değiştirilerek çizilmiştir.)

Dayanım	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)
Çok Yüksek	>2200	216
Yüksek	1100-2200	108-216
Orta	550-1100	54-108
Düşük	275-550	27-54
Çok Düşük	<275	<27

**Çizelge 4.16:** B ocağı kireçtaşları tek eksenli basınç dayanımı sonuçları.

Numune No	Çap (mm)	Boy (mm)	Yük (kN)	Dayanım	
				(MPa)	(kgf/cm <sup>2</sup> )
SB1	100 mm	100 mm	599,6 kN	76,34	778,438
SB2	100 mm	100 mm	661,3 kN	84,21	858,689
SB3	100 mm	100 mm	639,5 kN	81,43	830,341
SB4	100 mm	100 mm	660,9 kN	84,15	858,077
Aritmetik Ortalama				81,533	831,386
Standart Sapma				3,697	37,694

**Çizelge 4.17:** K ocağı kireçtaşları tek eksenli basınç dayanımı sonuçları.

Numune No	Çap (mm)	Boy (mm)	Yük (kN)	Dayanım	
				(MPa)	(kgf/cm <sup>2</sup> )
SK1	100 mm	100 mm	599,6 kN	72,50	739,282
SK2	100 mm	100 mm	661,3 kN	63,20	644,450
SK3	100 mm	100 mm	639,5 kN	57,57	587,041
SK4	100 mm	100 mm	660,9 kN	63,70	649,548
Aritmetik Ortalama				64,243	655,080
Standart Sapma				6,167	62,883

**Çizelge 4.18:** Z ocağı kireçtaşları tek eksenli basınç dayanımı sonuçları.

Numune No	Çap (mm)	Boy (mm)	Yük (kN)	Dayanım	
				(MPa)	(kgf/cm <sup>2</sup> )
SZ1	100 mm	100 mm	786 kN	100,08	1020,515
SZ2	100 mm	100 mm	878,3 kN	111,83	1140,330
SZ3	100 mm	100 mm	677,8 kN	86,31	880,103
SZ4	100 mm	100 mm	700,4 kN	89,17	909,266
Aritmetik Ortalama				96,848	987,554
Standart Sapma				11,618	118,465

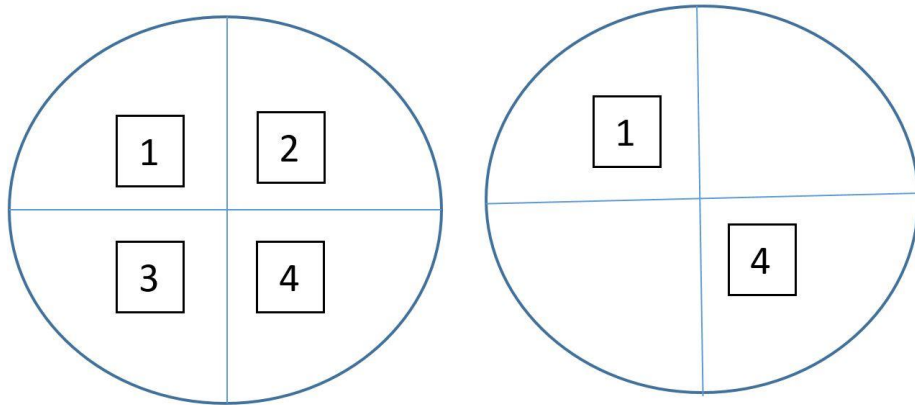
### 4.3 Agrega Deneyleri

Bu bölümde, çalışma alanındaki ocaklardan alınan kireçtaşı agregası numunelerine, tane dağılımına ilişkin olarak elek analizi, geometrik özelliklerinin

belirlenmesine ilişkin yassılık indeksi, şekil indeksi deneyleri, fiziksel özelliklerinin belirlenmesine ilişkin, birim hacim ağırlık, tane yoğunluğu ve su emme tayini deneyleri, mekanik özelliklerinin belirlenmesine ilişkin dona dayanıklılık tayini, aşınma ve parçalanma deneyleri, modifiye agrega darbe deneyi, kimyasal özelliklerinin belirlenmesine ilişkin ise ince tanelerin tayini-metilen mavisi, kil topağı tayini, organik madde tayini alkali-silika reaksiyonu deneyleri yapılmıştır.

#### 4.3.1 Agregalardan Numune Alma ve Hazırlama

Beton agregalarından numune alma yöntemi TS EN 932-1 (TS, 1997b) standartında belirtilmektedir. Bu çalışma için ocaklardan kaynağı en iyi şekilde temsil edecek şekilde örnekler, agrega çaplarına göre ayrılmış stokların orta kısımlarından muhtelif noktalardan alınmış ve homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Elde edilen toplam numune yapılacak deneyin ilgili standartında belirlenen tane büyüklüğüne göre miktarlarda küçültülür. Bu küçültme işlemi TS EN 932-2 (TS, 1999a) standardı doğrultusunda çeyrekleme yöntemi ile yapılmıştır (Şekil 4.6). Çeyrekleme yönteminde, düzgün bir yüzey üzerine dairesel olarak serilmiş agrega, her tarafa eşit yükseklikte olacak şekilde mala ile dört eşit kısma bölünmüştür. Bu kısımlardan çapraz iki tanesi alınmıştır. Örnekten alınan kısımlar iyice karıştırılarak, örnek istenen miktara indirilmiştir.



Şekil 4.6: Çeyrekleme yöntemi ile numune miktarı azaltma.

### 4.3.2 Eleme Metodu İle Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini

Beton üretiminde kullanılan rastgele agrega karışımları beton dizaynını büyük ölçüde etkilemekte ve uygun olmayan gradasyon dağılımı agrega taneleri arasında fazlaca boşluk oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum da istenilen mukavemette beton dayanımının elde edilmesinde engel teşkil etmektedir. Beton karışımında agregaların çeşitli boyutlarda kullanılması sabit hacimde yer alan taneler arasında daha az boşluk bulunmasını sağlamaktadır. Beton dizayn reçetelerinde agrega gradasyonu dağılımlarının iyi yapılamaması, karışımda beklenenden daha fazla boşluk ortaya çıkmasına neden olacaktır. Bu durum ise, karışımdaki boşlukları doldurmak için daha fazla çimento ihtiyacı doğuracağından beton imalatındaki ekonomiklik önemli ölçüde olumsuz yönde etkilenmiş olur. Bu nedenle agregalar arası en az boşluk sağlayacak şekilde beton üretebilmek için, hangi çapta agregadan hangi oranda alınacağına belirlenebilmesi amacıyla bu tayinin yapılması önemlidir.

Deney için stoktan her bir fraksiyona (0-5 mm, 5-12 mm, 12-22 mm) ait agrega numunesi homojen olarak alınmıştır. Deneyde gerekli numune miktarının hazırlanabilmesi için numuneler, TS EN 932-2 (TS, 1999a)'ya göre çeyrekleme işlemine tabi tutulmuştur. Deney yapılacak numunenin kütlesi Çizelge 4.19 doğrultusunda belirlenmiştir. Alınan malzeme etüvde 105 C° sıcaklıkta kurutulup, soğutulmuş ve tartılmıştır. Eleme işlemi elle yapılarak agregalar büyük göz açıklıklı elekten başlanarak, küçüğe doğru Şekil 4.7'de görüldüğü gibi tüm kare delikli eleklerden elenmiş ve büyük elekten, küçük eleğe her bir elek üzerinde kalan agregalar tartılmıştır (Şekil 4.6). Her bir elek ile eleme işlemi bir dakika süre ile devam ettirilerek eleme işlemleri sürdürülmüştür. Son olarak bu tartımlar toplam malzeme ağırlığına oranlanarak kalan % miktarlar hesaplanmıştır.

Elek analizi yapıldıktan sonra, üç ayrı çapta olan agregalar için (0-5 mm, 5-12 mm, 12-22 mm) her eleğin üstünde kalan malzemenin yüzde ağırlıkları toplanarak 100'e bölünmüş ve malzemenin incelik modülü bulunmuştur. İncelik modülü agregaların çap boyutları ile doğru orantılı olarak azalıp artmaktadır.

**Çizelge 4.19:** Agregata tane büyüklüğüne göre numune kütleleri (ASTM C-136, 2014).

Agregata Tane Büyüklüğü D (en çok) (mm)	Deney Kısımının Kütlesi (en az) (kg)
50	20
37,5	15
25	10
19	5
12,5	2
9,5	1



**Şekil 4.7:** El ile eleme işlemi.



**Şekil 4.8:** Soldan sağa 5-12 mm, 0-5 mm, 12-22 mm çapta agrega numuneleri.

Yukarıda bahsedilen olumsuzlukların ortaya çıkmaması için beton dizaynı öncesi agregaların elek analizi yapılarak, agrega fraksiyonundaki gradasyon dağılımı tayin edilir. 0-5 mm, 5-12 mm, 12-22 mm herbir ocağa ait doğal halde yapılmış olan elek analizi sonuçları Çizelge 4.20, 4.21 ve 4.22’de yer almaktadır.

**Çizelge 4.20:** B ocağı agregalarının elek analizi sonuçları.

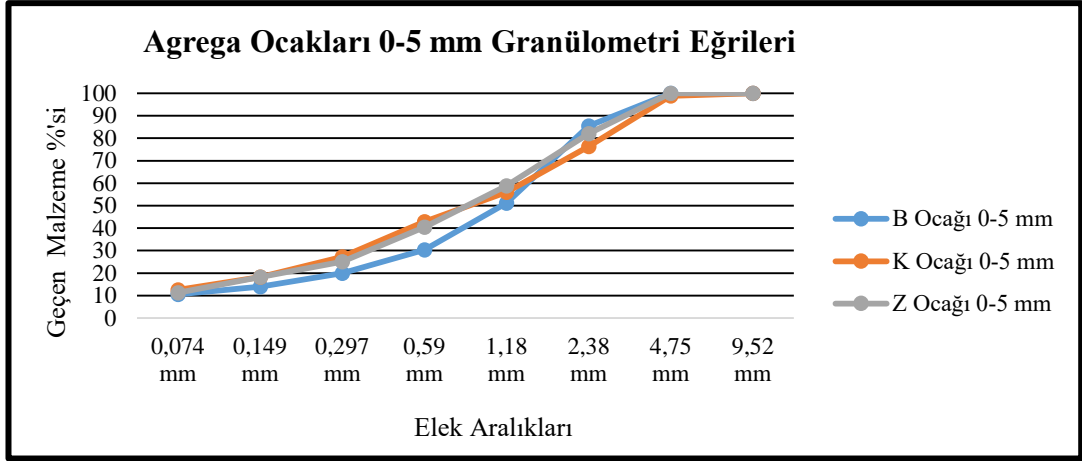
ASTM Elekler (inc)	mm	B Ocağı Gradasyon					
		0-5 mm Geçen (%)	0-5 mm Kalan (%)	5-12 mm Geçen (%)	5-12 mm Kalan (%)	12-22 mm Geçen (%)	12-22 mm Kalan (%)
1 1/2"	38,1	100,0	0	100,0	0	100,0	0
1 1/4"	31,5	100,0	0	100,0	0	100,0	0
1"	25,4	100,0	0	100,0	0	100,0	0
3/4"	19,1	100,0	0	100,0	0	87,4	12,6
1/2"	12,7	100,0	0	100,0	0	23,6	76,4
3/8"	9,52	100,0	0	85,7	14,3	1,9	98,1
No:4	4,75	100,0	0	35,9	64,1	0,8	99,2
No:8	2,38	85,4	14,6	7,4	92,6		
No:16	1,18	51,2	48,8	3,2	96,8		
No:30	0,590	30,4	69,6				
No:50	0,297	20,0	80,0				
No:100	0,149	14,0	86,0				
No:200	0,074	10,6	89,4				
<b>Toplam Ağırlık</b>		1038,0 g		2804,0 g		3308,0 g	
<b>İncelik Modülü</b>		-		2,678		2,863	

**Çizelge 4.21:** K ocağı agregalarının elek analizi sonuçları.

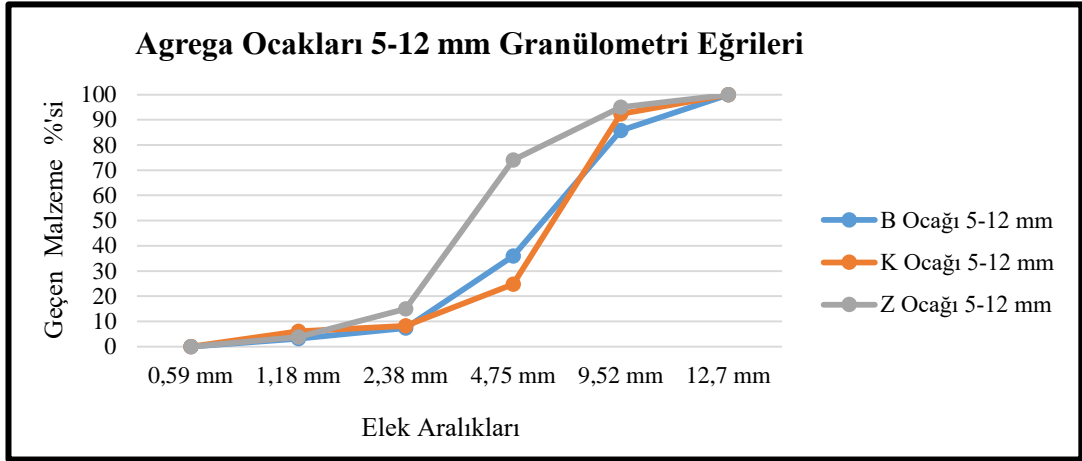
ASTM Elekler (inc)	mm	K Ocağı Gradasyon					
		0-5 mm Geçen (%)	0-5 mm Kalan (%)	5-12 mm Geçen (%)	5-12 mm Kalan (%)	12-22 mm Geçen (%)	12-22 mm Kalan (%)
1 1/2"	38,1	100,0	0	100,0	0	100,0	0
1 1/4"	31,5	100,0	0	100,0	0	100,0	0
1"	25,4	100,0	0	100,0	0	100,0	0
3/4"	19,1	100,0	0	100,0	0	78,7	21,3
1/2"	12,7	100,0	0	100,0	0	22	78,0
3/8"	9,52	100,0	0	92,3	7,7	2	98,0
No:4	4,75	98,8	1,2	24,8	75,2		
No:8	2,38	76,3	23,7	8,3	91,7		
No:16	1,18	56,0	44,0	6,1	93,9		
No:30	0,590	42,9	57,1				
No:50	0,297	27,2	72,8				
No:100	0,149	18,3	81,7				
No:200	0,074	12,6	87,4				
<b>Toplam Ağırlık</b>		1505,0 g		4062,5 g		5605,0 g	
<b>İncelik Modülü</b>		-		2,685		1,973	

**Çizelge 4.22:** Z ocağı agregalarının elek analizi sonuçları.

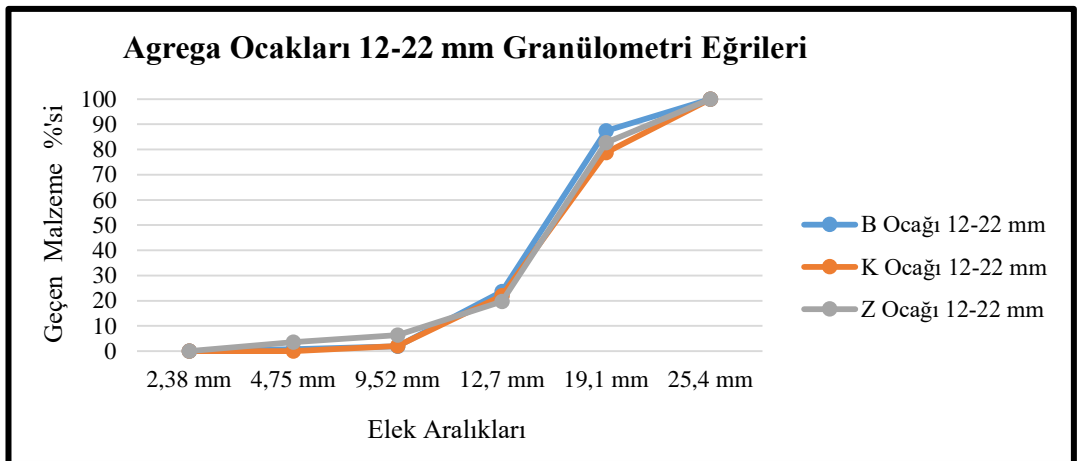
ASTM Elekler (inc)	mm	Z Ocağı Gradasyon					
		0-5 mm Geçen (%)	0-5 mm Kalan (%)	5-12 mm Geçen (%)	5-12 mm Kalan (%)	12-22 mm Geçen (%)	12-22 mm Kalan (%)
1 1/2"	38,1	100,0	0	100,0	0	100,0	0
1 1/4"	31,5	100,0	0	100,0	0	100,0	0
1"	25,4	100,0	0	100,0	0	100,0	0
3/4"	19,1	100,0	0	100,0	0	82,7	17,3
1/2"	12,7	100,0	0	100,0	0	19,7	80,3
3/8"	9,52	100,0	0	95,0	5,0	6,3	93,7
No:4	4,75	100	0	74,0	26,0	3,6	96,4
No:8	2,38	82,0	18,0	15,0	85,0		
No:16	1,18	58,9	41,1	3,8	96,2		
No:30	0,590	40,5	59,5				
No:50	0,297	25,1	74,9				
No:100	0,149	18,3	81,7				
No:200	0,074	11,3	88,7				
<b>Toplam Ağırlık</b>		1342,0 g		3121,0 g		4051,0 g	
<b>İncelik Modülü</b>		-		2,122		2,877	



**Şekil 4.9:** Ocaklardan alınan 0-5 mm boyutu agrega gradasyon dağılımları.



**Şekil 4.10:** Ocaklardan alınan 5-12 mm boyutlu agrega gradasyon dağılımları.



**Şekil 4.11:** Ocaklardan alınan 12-22 mm boyutlu agrega gradasyon dağılımları.



Agregada incelik modülü değeri, agrega karışımının ince veya kaba özellikte olması hakkında bize genel bir bilgi vermektedir. ASTM C-33/ C33M (ASTM, 2018) standardına göre 2,30—3,10 arasında bir değerde olmalıdır. Türk standartlarında incelik modülüyle alakalı bir sınır değeri verilmemiştir. Bu deneyden çıkan sonuçlar beton üretimindeki gradasyonun uygunluğu hakkında bize bilgi vermektedir.

#### 4.3.3 Yassılık İndeksi Deneyi

Betonda kullanılması amaçlanan agregaların, beton içerisinde en az boşluk meydana getirmesi istendiğinden kübik şekilde olmaları istenir. Beton içerisinde bulunan yassı taneler, kolaylıkla çimento ile bağ kurabilir, fakat dokanıkları daha kolay aşınmakta ve karışım içerisinde yer alan bazı yassı taneler, yığın içinde köprü oluşturacak şekilde açık boşluk oluşturmaktadır (Elçi, 2011). Bu sebeple yassı tanelerin varlığının tespitinin yapılması önem arz etmektedir.

Deney TS EN 933-3 (TS, 2012) standardına göre yapılmış olup, 105 °C’de sabit kütleye gelinceye kadar numuneler kurutulmuş ve daha sonra oda sıcaklığına kadar soğutularak tartılmıştır. Her tane büyüklüğü arası agrega numunesi yassı şablonun uygun aralıklarından geçirilmiş (Şekil 4.12) ve yassı şablon aralıklarından geçen tanelerin toplamının kütlesi-g ( $M_2$ ), deneye tâbi tutulan tanelerin toplam kuru kütlesi ( $M_1$ ) % (4.13) denklemi ile hesaplanmıştır ve toplam yassılık indeksi (FI), hesaplamalardan çıkan değere, en yakın tam sayı baz alınarak belirlenmiştir.

$$FI = M_2 / M_1 \times 100 \quad (4.13)$$



Şekil 4.12: Yassılık şablonu ile eleme.

**Çizelge 4.23:** Yassılık indeksi kategorileri (TS 706 EN 12620+A1, 2009).

Yassılık İndeksi	Kategori (FI)
$\leq 15$	FI <sub>15</sub>
$\leq 20$	FI <sub>20</sub>
$\leq 35$	FI <sub>35</sub>
$\leq 50$	FI <sub>50</sub>
$>50$	FI <sub>beyan</sub>
Serbest	FI <sub>NR</sub>

Beton üretiminde kullanılacak agregaların içerisinde kusurlu malzeme oranının fazla olması, betonda pürüzlü bir yüzey ortaya çıkmasına ve dizayn karışımının yaratacağı boşluklar nedeniyle çimento ve su ihtiyacının artmasına neden olacaktır. Bu nedenle agrega fraksiyonlarının yassılık tayinleri yapılmalı ve beton üreticilerine tayin sonuçları beyan edilmelidir. Çalışılan her üç ocakta da üçlü kırıcı sistemiyle (Primer, sekonder, tersiyer) kırım yapılmakta olup, konkasör tesislerinde kullanılan ön elek sistemi sayesinde yassı olarak kırılan by-pass malzemesi olarak ayrılmakta, kübik şekilde kırılan agrega numuneleri içerisine mümkün olduğunda karıştırılmamaktadır. Betonda kullanılacak agregalar için en büyük yassılık indeksi değeri TS EN 933-3 (TS, 2012)'ye göre maksimum %35 olarak belirlenmiştir. Çalışma alanlarından seçilmiş üç adet ocaktan alınan agregalar üzerinde yapılan yassılık deneyi sonucu, kusurlu agrega yüzdelерinin ortalaması verilirken, sonuca en yakın tam sayı değeri alınmış ve B ocağı agregaları yassılık indeksi ortalama % değeri 10, K ocağı agregaları ortalama % değeri 9, Z ocağı agregaları ortalama % değeri 9 çıkmıştır. Bu sonuçlara göre her üç ocakta üretilen agregalarının yassılık indeksi değeri Çizelge 4.23'te verilen FI<sub>15</sub> kategorisine girmektedir ve bu kategori TS 706 EN 12620 A1 (TS, 2009a) standardına göre en uygun kategoridir. Yassılık indeksi deney sonuçları Çizelge 4.24, 4.25 ve 4.26'da verilmiştir.

**Çizelge 4.24:** B Ocağı agrega numunelerinin yassılık indeksi değerleri.

Deney Numunesi	Tane Boyutu (mm)	Toplam Agrega Kütlesi M <sub>1</sub> (g)	Kusurlu Agrega Kütlesi M <sub>2</sub> (g)	Kusurlu Agrega (%)	Ortalama Kusurlu Agrega (%)	Yassılık İndeksi
1. Set	20,0 mm	2105,6	210,6	10,0	10	FI <sub>15</sub>
	12,5 mm	1010,2	112,4	11,1		
	10,0 mm	502,4	36,8	7,3		
	6,3 mm	253	12,4	4,9		
2. Set	20,0 mm	2040,0	190,0	9,3	10	FI <sub>15</sub>
	12,5 mm	1129,0	152,0	13,5		
	10,0 mm	690,0	43,0	6,2		
	6,3 mm	380,0	24,4	6,4		
3. Set	20,0 mm	2005,0	180,0	9,0	10	FI <sub>15</sub>
	12,5 mm	1105,0	140,0	12,7		
	10,0 mm	556,0	52,0	9,4		
	6,3 mm	286,0	20,0	7,0		
4. Set	20,0 mm	2114,0	172,0	8,1	10	FI <sub>15</sub>
	12,5 mm	1090,0	112,0	10,3		
	10,0 mm	500,0	70,0	14,0		
	6,3 mm	255,0	25,0	9,8		
<b>Ortalama</b>					<b>10</b>	<b>FI<sub>15</sub></b>

**Çizelge 4.25:** K Ocağı agrega numunelerinin yassılık indeksi değerleri.

Deney Numunesi	Tane Boyutu (mm)	Toplam Agrega Kütlesi M <sub>1</sub> (g)	Kusurlu Agrega Kütlesi M <sub>2</sub> (g)	Kusurlu Agrega (%)	Ortalama Kusurlu Agrega (%)	Yassılık İndeksi
1. Set	20,0 mm	2005,0	150,2	7,5	9	FI <sub>15</sub>
	12,5 mm	968,0	90,5	9,3		
	10,0 mm	521,0	66,9	12,8		
	6,3 mm	243,0	38,7	15,9		
2. Set	20,0 mm	2003,9	150,0	7,5	9	FI <sub>15</sub>
	12,5 mm	996,0	90,7	9,1		
	10,0 mm	520,0	67,2	12,9		
	6,3 mm	251,0	31,9	12,7		
3. Set	20,0 mm	2001,0	141,0	7,0	9	FI <sub>15</sub>
	12,5 mm	979,0	88,9	9,1		
	10,0 mm	526,0	65,4	12,4		
	6,3 mm	231,0	41,5	18,0		
4. Set	20,0 mm	2000,0	135,0	6,8	8	FI <sub>15</sub>
	12,5 mm	1000,8	88,2	8,8		
	10,0 mm	516,0	64,7	12,5		
	6,3 mm	219,0	40,9	18,7		
<b>Ortalama</b>					<b>9</b>	<b>FI<sub>15</sub></b>

**Çizelge 4.26:** Z Ocağı agrega numunelerinin yassılık indeksi değerleri.

<b>Deney Numunesi</b>	<b>Tane Boyutu (mm)</b>	<b>Toplam Agregası Kütlesi M<sub>1</sub>(g)</b>	<b>Kusurlu Agregası Kütlesi M<sub>2</sub> (g)</b>	<b>Kusurlu Agregası (%)</b>	<b>Ortalama Kusurlu Agregası (%)</b>	<b>Yassılık İndeksi</b>
1. Set	20,0 mm	2011,0	153,0	7,6	9	FI <sub>15</sub>
	12,5 mm	971,0	92,1	9,5		
	10,0 mm	544,0	63,3	11,6		
	6,3 mm	256,0	36,2	14,1		
2. Set	20,0 mm	2019,0	149,0	7,4	9	FI <sub>15</sub>
	12,5 mm	968,0	91,1	9,4		
	10,0 mm	548,0	65,2	11,9		
	6,3 mm	259,0	32,1	12,4		
3. Set	20,0 mm	2005,0	148,0	7,4	9	FI <sub>15</sub>
	12,5 mm	968,0	92,9	9,6		
	10,0 mm	569,0	65,2	11,5		
	6,3 mm	261,0	37,0	14,2		
4. Set	20,0 mm	2002,0	137,0	6,8	8	FI <sub>15</sub>
	12,5 mm	951,0	88,4	9,3		
	10,0 mm	565,0	64,1	11,3		
	6,3 mm	268,0	31,0	11,6		
<b>Ortalama</b>					<b>9</b>	<b>FI<sub>15</sub></b>

#### 4.3.4 Şekil İndeksi Tayini

Agregaların şekil indeksi tayini TS EN 933-4 (TS, 2009b) standardına göre yapılmıştır. Etüvde kurutulmuş agrega numuneleri elemeyeyle  $D_i \leq 2d_i$  olan  $d/D_i$  baskın tane büyüklüğü aralığına ayrılmıştır. Numunenin ilk kütlesi tartılarak  $M_1$  olarak kaydedilmiştir. Tane boyu ve tane kalınlığı verniyeli kumpasla ölçülerek oranlaması esas alınmak suretiyle boy/en oranı 3'ten büyük değer alan agregaların (kübik olmayan kusurlu taneler) ağırlığı tartılmış ve  $M_2$  olarak kaydedilmiştir. Şekil indeksi, (4.14) denklemi ile hesaplanmıştır ve TS 706 EN 12620 A1 (TS, 2009a) standardından alınan Çizelge 4.27'ye göre deney sonuçlarının kategorileri belirlenmiştir.

$$SI = (M_2 / M_1) \times 100 \quad (4.14)$$

**Çizelge 4.27:** Şekil indeksi kategorileri (TS 706 EN 12620 +A1; TS, 2009a).

Şekil İndeksi	Kategori (SI)
$\leq 15$	SI <sub>15</sub>
$\leq 20$	SI <sub>20</sub>
$\leq 40$	SI <sub>40</sub>
$\leq 55$	SI <sub>55</sub>
$>55$	SI <sub>beyan</sub>
Serbest	SI <sub>NR</sub>

Betonda kullanılması düşünülen agregaların kübiklik yüzdesini tayin etmek amacıyla yapılan şekil indeksi tayini sonuçlarına göre B ocağı agregalarının ortalama şekil indeksi  $13,70 \pm 0,36$ , K ocağı agregalarının ortalama şekil indeksi  $9,85 \pm 1,33$ , Z ocağı agregalarının ortalama şekil indeksi  $13,05 \pm 1,81$ 'dir. Bu sonuçlara göre her üç ocakta üretilen agregaların şekil indeksi değerleri Çizelge 4.27'de verilen SI<sub>15</sub> kategorisine girmektedir. Bu kategori TS 706 EN 12620 A1 (TS, 2009a) standardına göre en uygun kategoridir. Elde edilen tüm sonuçlar Çizelge 4.28, 4.29 ve 4.30'da verilmiştir.

**Çizelge 4.28:** B ocağı örnekleri şekil indisi sonuçları.

Deney Numunesi	Tane Boyutu (mm)	Numune Kütlesi (g)	Kusurlu Agreg Kütlesi (g)	Kusurlu Agreg (%)	Şekil İndeksi Kategorisi
1. Numune	10-14 mm	500,35	68,53	13,70	SI <sub>15</sub>
2. Numune	10-14 mm	501,56	66,77	13,34	SI <sub>15</sub>
3. Numune	10-14 mm	500,06	70,32	14,06	SI <sub>15</sub>
<b>Art. Ort. <math>\pm</math> Std. Sap.</b>				<b>13,70<math>\pm</math>0,36</b>	<b>SI<sub>15</sub></b>

**Çizelge 4.29:** K ocağı örnekleri şekil indisi sonuçları.

Deney Numunesi	Tane Boyutu (mm)	Numune Kütlesi (g)	Kusurlu Agreg Kütlesi (g)	Kusurlu Agreg (%)	Şekil İndeksi Kategorisi
1. Numune	10-14 mm	500,32	46,34	9,26	SI <sub>15</sub>
2. Numune	10-14 mm	500,34	44,64	8,92	SI <sub>15</sub>
3. Numune	10-14 mm	502,43	57,14	11,37	SI <sub>15</sub>
<b>Art. Ort. <math>\pm</math> Std. Sap.</b>				<b>9,85<math>\pm</math>1,33</b>	<b>SI<sub>15</sub></b>

**Çizelge 4.30:** Z ocağı örnekleri şekil indisi sonuçları.

Deney Numunesi	Tane Boyutu (mm)	Numune Kütlesi (g)	Kusurlu Agregata Kütlesi (g)	Kusurlu Agregata (%)	Şekil İndeksi Kategorisi
1. Numune	10-14 mm	500,14	55	11,00	SI <sub>15</sub>
2. Numune	10-14 mm	501,12	69	13,77	SI <sub>15</sub>
3. Numune	10-14 mm	500,27	72	14,39	SI <sub>15</sub>
<b>Art. Ort. ± Std. Sap.</b>				<b>13,05±1,81</b>	<b>SI<sub>15</sub></b>

#### 4.3.5 Sıkışık ve Gevşek Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Agregalarda birim ağırlık, yığılmış durumdaki bir agreganın taneler arasındaki boşluklar da dahil olmak üzere, birim hacminin ağırlığını ifade eder ve gevşek birim hacim ağırlık ve sıkışık birim hacim ağırlık olarak belirlenir. Deney TS EN 1097-3 (TS, 1999b) standardı doğrultusunda yapılmıştır.

Sıkışık birim hacim ağırlık hesaplamasında, tane çapına bağlı olarak alınmış agregata numunesi, etüvde 105 °C’de kurutulmuştur. TS EN 1097-3 (TS, 1999b) standardında belirtilen hacimde seçilen deney ölçü kabının boş ağırlığı tartılmıştır (M<sub>1</sub>). Deney numuneleri kabın üçte birine kadar doldurulmuş ve şişleme çubuğu ile şişlenerek 25 vuruş yapılarak sıkıştırılmıştır. Daha sonra kap üçte ikisine kadar doldurularak, şişleme çubuğu ile her tarafına eşit olacak şekilde ve bir önceki tabakaya şişin girmesine dikkat ederek 25 şişleme daha yapılarak sıkıştırılmıştır. En son kap tamamen doldurulmuş ve yine bir önceki tabakaya şişin girmesine dikkat edilerek 25 şişleme daha yapılmış ve dolu ölçü kap tartılmıştır (M<sub>2</sub>). Deney 2. ve 3. kez fakat her seferinde yeni agregata ile tekrar edilmiştir.

Gevşek birim hacim ağırlık hesaplamasında ise numuneler etüvde 105 °C’de kurutulmuştur. Deney ölçü kabı tane boyutuna göre seçilerek kapların boş ağırlığı tartılmıştır (M<sub>1</sub>) Agregata kürek ile ölçü kabına dökülerek bir miktar taşacak şekilde doldurulmuştur. Ölçü kabının, yüzeyindeki fazla agregata çelik cetvel ile üst yüzey düzlenmiştir. Gevşek agregata ile dolu ölçü kabı tartılmıştır (M<sub>2</sub>). Deney 2. ve 3. kez fakat her seferinde yeni agregata ile tekrar edilerek, aritmetik ortalamaları alınmıştır. “Gevşek Birim Hacim Ağırlık Deneyi” sonuçları (g/cm<sup>3</sup>), (4.15) denklemi ile “Sıkışık Birim Hacim Ağırlık Deneyi” sonuçları (g/cm<sup>3</sup>) (4.16) denklemi ile hesaplanmıştır.

$$B_g = (M_2 - M_1) / V \quad (4.15)$$

$$B_s = (M_2 - M_1) / V \quad (4.16)$$

V : Birim ağırlık deneyi kabının hacmi (dm<sup>3</sup>)



Şekil 4.13: Birim ağırlık deneyi kapları

Keleş (2009)'a göre beton agregalarının sıkışık ve gevşek birim ağırlıkları arasındaki farkın büyük olması durumunda, agregalar aralarında büyük boşluklar oluşturmaktadır ve bu durum betonun işlenebilirlik özelliğinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Arslantaş (2009)'a göre, beton bileşiminin saptanmasında, agrega gevşek birim hacim ağırlığının bilinmesine gerek vardır ve bu özelliğin bilinmesi, agreganın granülometrik bileşimi, boşluk durumu ve kusurlu (boy/çap oranı 3'ten büyük olan agrega taneleri) malzemelerin varlığı hakkında bizlere bilgi vermektedir. Kusurlu maddelerin fazlalığı agregalar arasında boşluk oluşturacağından, gevşek birim hacim ağırlık azalacaktır. Arslantaş (2009)'daki çalışmasında, BS EN 812-2'de normal agregaların gevşek birim hacim ağırlığının 1,2 ile 1,8 g/cm<sup>3</sup> olması gerektiğini

belirtmiştir. Ocaklardan alınan numuneler üzerinde yapılan gevşek birim ağırlık test sonuçlarının sınır değerleri sağladığı görülmüştür (Çizelge 4.31, 4.32, 4.33).

**Çizelge 4.31:** B ocağı gevşek-sıkışık birim ağırlık değerleri.

<b>Deney Numunesi</b>	<b>Tane Boyutu (mm)</b>	<b>Ortalama Gevşek B.A (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Ortalama Sıkışık B.A (g/cm<sup>3</sup>)</b>
1. Set Numune	0-5 mm	1,628	1,891
	5-12 mm	1,472	1,622
	12-22 mm	1,415	1,581
2. Set Numune	0-5 mm	1,630	1,897
	5-12 mm	1,476	1,623
	12-22 mm	1,420	1,578
3. Set Numune	0-5 mm	1,639	1,895
	5-12 mm	1,477	1,623
	12-22 mm	1,421	1,576
4. Set Numune	0-5 mm	1,559	1,897
	5-12 mm	1,463	1,610
	12-22 mm	1,408	1,585
5. Set Numune	0-5 mm	1,576	1,908
	5-12 mm	1,463	1,662
	12-22 mm	1,421	1,594
6. Set Numune	0-5 mm	1,543	1,893
	5-12 mm	1,450	1,651
	12-22 mm	1,408	1,583
7. Set Numune	0-5 mm	1,535	1,909
	5-12 mm	1,446	1,643
	12-22 mm	1,412	1,571
8. Set Numune	0-5 mm	1,516	1,891
	5-12 mm	1,482	1,655
	12-22 mm	1,426	1,581
<b>Art Ort.±Std Sap.</b>	<b>0-5 mm</b>	<b>1,578 ± 0,048</b>	<b>1,898 ± 0,01</b>
	<b>5-12 mm</b>	<b>1,466 ± 0,013</b>	<b>1,636 ± 0,02</b>
	<b>12-22 mm</b>	<b>1,416 ± 0,007</b>	<b>1,581 ± 0,01</b>



**Çizelge 4.32:** K ocağı gevşek-sıkışık birim ağırlık değerleri.

Deney Numunesi	Tane Boyutu (mm)	Ortalama Gevşek B.A (g/cm <sup>3</sup> )	Ortalama Sıkışık B.A (g/cm <sup>3</sup> )
1. Set Numune	0-5 mm	1,598	1,910
	5-12 mm	1,441	1,669
	12-22 mm	1,421	1,544
2. Set Numune	0-5 mm	1,599	1,911
	5-12 mm	1,441	1,670
	12-22 mm	1,419	1,547
3. Set Numune	0-5 mm	1,601	1,909
	5-12 mm	1,442	1,669
	12-22 mm	1,420	1,546
4. Set Numune	0-5 mm	1,600	1,911
	5-12 mm	1,441	1,669
	12-22 mm	1,420	1,548
5. Set Numune	0-5 mm	1,601	1,912
	5-12 mm	1,441	1,670
	12-22 mm	1,420	1,547
6. Set Numune	0-5 mm	1,601	1,913
	5-12 mm	1,441	1,669
	12-22 mm	1,420	1,548
7. Set Numune	0-5 mm	1,603	1,892
	5-12 mm	1,444	1,660
	12-22 mm	1,419	1,574
8. Set Numune	0-5 mm	1,538	1,873
	5-12 mm	1,483	1,645
	12-22 mm	1,414	1,584
<b>Art Ort.±Std Sap.</b>	<b>0-5 mm</b>	<b>1,593 ± 0,022</b>	<b>1,904 ± 0,01</b>
	<b>5-12 mm</b>	<b>1,447 ± 0,015</b>	<b>1,665 ± 0,01</b>
	<b>12-22 mm</b>	<b>1,419 ± 0,002</b>	<b>1,555 ± 0,02</b>

**Çizelge 4.33:** Z ocağı gevşek-sıkışık birim ağırlık değerleri.

Deney Numunesi	Tane Boyutu (mm)	Ortalama Gevşek B.A (g/cm <sup>3</sup> )	Ortalama Sıkışık B.A (g/cm <sup>3</sup> )
1. Set Numune	0-5 mm	1,601	1,912
	5-12 mm	1,445	1,671
	12-22 mm	1,418	1,546
2. Set Numune	0-5 mm	1,605	1,913
	5-12 mm	1,444	1,672
	12-22 mm	1,420	1,549
3. Set Numune	0-5 mm	1,599	1,915
	5-12 mm	1,446	1,670
	12-22 mm	1,419	1,549
4. Set Numune	0-5 mm	1,601	1,916
	5-12 mm	1,446	1,670
	12-22 mm	1,419	1,550
5. Set Numune	0-5 mm	1,602	1,915
	5-12 mm	1,446	1,670
	12-22 mm	1,420	1,550
6. Set Numune	0-5 mm	1,603	1,917
	5-12 mm	1,442	1,671
	12-22 mm	1,418	1,549
7. Set Numune	0-5 mm	1,599	1,916
	5-12 mm	1,445	1,670
	12-22 mm	1,418	1,547
8. Set Numune	0-5 mm	1,611	1,900
	5-12 mm	1,485	1,613
	12-22 mm	1,416	1,526
Art Ort.±Std Sap.	0-5 mm	1,603 ± 0,004	1,913 ± 0,01
	5-12 mm	1,450 ± 0,014	1,663 ± 0,02
	12-22 mm	1,419 ± 0,001	1,546 ± 0,01

#### 4.3.6 Agregaların Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini

Beton üretiminde yüksek tane yoğunluğuna sahip agregalar dayanıklılıkları ve dona mukavemet özellikleri nedeniyle tercih edilmekte olduğundan, agreganın su emme özelliği ise doğrudan beton karışımını etkileyebileceğinden tayin edilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu deney TS EN 1097-6 (TS, 2013b) standardı gerekliliklerince betonda kullanılması planlanan agreganın tane yoğunluğu ve su emme (absorbsiyon) oranının tayini için yapılır. 5-12 ve 12-22 mm agrega çaplarına tel sepet metodu ile deney yapılmış olup, 0-5 mm arası kum malzemeye ise piknometre metodu ile deney uygulanmıştır.

Deneye katılacak agrega numuneleri tel sepete yerleştirilmiş ve suyun seviyesi, sepetin üst kısmından en az 5 cm yukarıda olacak halde 25 °C suya, 24 saat süreyle tamamen suda bekletilen numuneler tartılmıştır (M<sub>2</sub>). Agregalar, sepetten kuru bezler üzerine boşaltılarak agrega yüzeyleri su filmleri kayboluncaya kadar kurutulmuştur ve tartılmıştır (M<sub>1</sub>). Boş sepet suda tartılmıştır. (M<sub>3</sub>). Daha sonra agrega taneleri, bir tepsiye aktarılarak etüvde, 105 °C sıcaklıkta, kurutulmuş ve yine tartılmıştır (M<sub>4</sub>). “5 mm’den büyük agregaların tane yoğunluğu” (4.17) denklemi ile, “Agreganın su emme oranı” (%) (4.18) denklemi ile hesaplanmıştır. (25 °C’lik sıcaklıktaki suyun yoğunluğu olarak  $\rho_w = 1 \text{ mg/m}^3$  alınmıştır.)

$$\rho_w \times [M_1 / M_1 - (M_2 - M_3)] \quad (4.17)$$

$$(M_1 - M_4) \times 100 / M_4 \quad (4.18)$$

Piknometre metodunda ise, 0-5 mm gradasyonundaki agrega numuneleri 25 °C sıcaklıktaki piknometre içindeki suyla karıştırılmış ve piknometre 25 °C’lik su içinde 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra piknometrenin ağzına kadar su doldurularak kapağı kapatılmış ve tartılmıştır (M<sub>2</sub>). Daha sonra deney numunesindeki su süzölmüş ve agregalar tepsiye boşaltılmıştır. Piknometre, tekrar su ile doldurulmuş ve kapak kapatılarak tartılmıştır (M<sub>3</sub>). Islak deney numunesi kısmı, bir başka tepsiye alınarak kurumaya bırakılmıştır ve yüzeyi kuruyan doygun numuneler tartılmıştır (M<sub>1</sub>). Daha sonra agrega numuneleri etüve konularak, 105 °C’ de kurutulmuş ve yeniden

tartılmıştır (M<sub>4</sub>). “0-5 mm gradasyondaki agreganın tane yoğunluğu” denklem (4.19) ile hesaplanmıştır.

$$M_1 / M_1 - (M_2 - M_3) \quad (4.19)$$

Agregaların su emme özelliği boşluk hacimleriyle doğru orantılı olarak artmaktadır ve buna göre agrega tane yoğunluğu ile su emme oranı ters orantılı olmaktadır. Su emme özelliği fazla olan agregalar soğuk havalarda içerisindeki suyun donmasıyla genişmeden ötürü çatlayıp deforme olabileceğinden dolayı betonda kullanılacak agregalarda su emme özelliğinin yüksek olması istenmez, buna istinaden TS 706 EN 12620 (TS, 2009a) standardında “Agregaların su emme oranı, % 1' den daha büyük olmaması durumunda donma-çözülme etkisine dirençli olduğu kabul edilmektedir.” ibaresi bulunur. Buna göre agregaların su emme değerinden, agregaların donma- çözünme etkileri altındaki davranışları hakkında tahminde bulunulabilmektedir. Arslantaş (2009)' daki çalışmasında, agrega tane yoğunluğunun ve su emme özelliğinin agregaların kökenine bağlı olarak değiştiğini ifade etmiştir. Ayrıca Arslantaş (2009)' daki çalışmasında; ASTM C-127 ve ASTM C-128'de görünür tane yoğunluğu değerinin minimum 2,6 g/cm<sup>3</sup> olması gerektiğini ve agrega su emme degerinin % 3 'den az olması gerektiğini ifade etmiştir. Her üç ocaktaki tüm gradasyon aralığındaki agrega numunelerine yapılan deneylerde 2,60 g/cm<sup>3</sup> 'den daha az yoğunluğa sahip hiç bir değer elde edilmemiş, malzemelerin su emme değerlerindeki %3'ün altında değerler verdiği görülmüştür (Çizelge 4.34, 4.35 ve 4.36).

**Çizelge 4.34:** B Ocağı numuneleri tane yoğunluğu ve su emme değerleri

<b>Deney Numunesi</b>	<b>Tane Boyutu Fraksiyonu</b>	<b>Tane Yoğunluğu (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Su Emme (%)</b>
1. Set Numune	0-5 mm	2,661	1,3
	5-12 mm	2,697	0,4
	12-22 mm	2,704	0,3
2. Set Numune	0-5 mm	2,613	1,4
	5-12 mm	2,694	0,5
	12-22 mm	2,698	0,3
3. Set Numune	0-5 mm	2,648	1,4
	5-12 mm	2,683	0,4
	12-22 mm	2,699	0,3
4. Set Numune	0-5 mm	2,614	1,2
	5-12 mm	2,683	0,9
	12-22 mm	2,705	0,4
5. Set Numune	0-5 mm	2,614	1,6
	5-12 mm	2,697	0,4
	12-22 mm	2,701	0,2
6. Set Numune	0-5 mm	2,604	1,1
	5-12 mm	2,698	0,7
	12-22 mm	2,703	0,4
7. Set Numune	0-5 mm	2,602	1,2
	5-12 mm	2,691	0,5
	12-22 mm	2,699	0,4
8. Set Numune	0-5 mm	2,637	1,3
	5-12 mm	2,696	0,7
	12-22 mm	2,710	0,5
<b>Art Ort.±Std Sap.</b>	<b>0-5 mm</b>	<b>2,624±0,022</b>	<b>1,31±0,2</b>
	<b>5-12 mm</b>	<b>2,692±0,006</b>	<b>0,56±0,2</b>
	<b>12-22 mm</b>	<b>2,702±0,004</b>	<b>0,35±0,1</b>

**Çizelge 4.35:** K Ocağı numuneleri tane yoğunluğu ve su emme değerleri.

Deney Numunesi	Tane Boyutu Fraksiyonu	Tane Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	Su Emme (%)
1. Set Numune	0-5 mm	2,660	1,3
	5-12 mm	2,686	0,6
	12-22 mm	2,690	0,5
2. Set Numune	0-5 mm	2,664	1,3
	5-12 mm	2,686	0,6
	12-22 mm	2,689	0,5
3. Set Numune	0-5 mm	2,671	1,3
	5-12 mm	2,694	0,6
	12-22 mm	2,698	0,5
4. Set Numune	0-5 mm	2,667	1,3
	5-12 mm	2,674	0,7
	12-22 mm	2,675	0,4
5. Set Numune	0-5 mm	2,658	1,3
	5-12 mm	2,686	0,6
	12-22 mm	2,692	0,5
6. Set Numune	0-5 mm	2,660	1,3
	5-12 mm	2,688	0,6
	12-22 mm	2,694	0,4
7. Set Numune	0-5 mm	2,640	1,3
	5-12 mm	2,685	0,7
	12-22 mm	2,698	0,5
8. Set Numune	0-5 mm	2,632	1,3
	5-12 mm	2,685	0,4
	12-22 mm	2,699	0,40
Art Ort.±Std Sap.	0-5 mm	2,657 ± 0,014	1,30 ± 0,0
	5-12 mm	2,686 ± 0,006	0,60 ± 0,1
	12-22 mm	2,692 ± 0,008	0,46 ± 0,1

**Çizelge 4.36:** Z Ocağı numuneleri tane yoğunluğu ve su emme değerleri.

<b>Deney Numunesi</b>	<b>Tane Boyutu Fraksiyonu</b>	<b>Tane Yoğunluğu (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Su Emme (%)</b>
1. Set Numune	0-5 mm	2,711	1,0
	5-12 mm	2,693	0,7
	12-22 mm	2,693	0,4
2. Set Numune	0-5 mm	2,629	1,3
	5-12 mm	2,692	0,4
	12-22 mm	2,696	0,3
3. Set Numune	0-5 mm	2,640	1,0
	5-12 mm	2,692	0,6
	12-22 mm	2,697	0,5
4. Set Numune	0-5 mm	2,650	1,2
	5-12 mm	2,691	0,4
	12-22 mm	2,698	0,3
5. Set Numune	0-5 mm	2,631	1,2
	5-12 mm	2,691	0,6
	12-22 mm	2,695	0,4
6. Set Numune	0-5 mm	2,659	1,2
	5-12 mm	2,688	0,7
	12-22 mm	2,695	0,6
7. Set Numune	0-5 mm	2,655	0,7
	5-12 mm	2,692	0,6
	12-22 mm	2,697	0,5
8. Set Numune	0-5 mm	2,638	1,3
	5-12 mm	2,698	0,4
	12-22 mm	2,701	0,2
<b>Art Ort.±Std Sap.</b>	<b>0-5 mm</b>	<b>2,652 ± 0,026</b>	<b>1,11 ± 0,2</b>
	<b>5-12 mm</b>	<b>2,693 ± 0,003</b>	<b>0,55 ± 0,1</b>
	<b>12-22 mm</b>	<b>2,697 ± 0,002</b>	<b>0,40 ± 0,1</b>

#### 4.3.7 Dona Dayanıklılık Deneyi (Magnezyum Sülfat İle)

Soğuk hava koşullarında betonun donma etkisiyle deforme olmaması, hasarlanmaması gerekir. Agregaların donma-çözülme işleminden kaynaklanan hassasiyeti, agreganın maruz kalacağı donma ve çözülme olaylarının sıklığına, donma ve çözülmenin şiddetine ve agrega tanelerinin doygunluk derecesine bağlıdır, yani iklim ve nihai kullanımla ilgilidir. (Keskin, 2011).

Donma-çözülme deneyi TS EN 1367-2 (TS, 2011a) standardına göre yapılmıştır ve tane büyüklüğü 10 mm-14 mm arasında olan 500 gram deney numunesi ( $M_1$ ) sağlam bir sepet ile 17 saat doymuş magnezyum sülfat çözeltisine daldırılmıştır. Daldırma işleminden hemen sonra sepet çözeltiden çıkartılmış, 2 saat kadar suyu süzölmüş ve her numune 105 °C'lik etüvde bir gün boyunca kurutulmuş ve daha sonra oda sıcaklığına soğutulmuştur. 5 defa daldırma işlemleri tamamlandıktan sonra agregalar magnezyum sülfattan arınana kadar suyla yıkanmış ve yine tüm deney numuneleri kurutulmuştur. Daha sonra numuneler 10 mm elek ile el marifetiyle elenmiş ve elek üstündeki malzemeler tartılmıştır ( $M_2$ ).

Tane çapı 10 mm'den daha ufak malzemelerin oluşmasına sebep olan zararlı etkiler nedeniyle ufalanma (4.20) formülüyle hesaplanmıştır ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.37'ye göre kategorilendirilmiştir.

$$MS = \frac{100 \times (M_1 - M_2)}{M_1} \quad (4.20)$$

**Çizelge 4.37:** Magnezyum sülfat don dayanıklılığı değerlerine göre kategoriler (TS 706 EN 12620 +A1; TS, 2009a).

Magnezyum Sülfat Değeri (Kütlece yüzde kaybı)	Kategori-MS
≤ 18	MS <sub>18</sub>
≤ 25	MS <sub>25</sub>
≤ 35	MS <sub>35</sub>
> 35	MS <sub>Beyan</sub>
Serbest	MS <sub>NR</sub>



Magnezyum sülfat deneyi yöntemi ile donma ve çözülme etkilerinin agregalar üstündeki zararlı etkilerini ve bu etkilere karşı dayanımını ölçmek için yapılan deney sonuçlarına göre; B ocağı agregalarının ortalama % kayıp değeri  $0,67 \pm 0,15$ , K ocağı agregalarının ortalama % kayıp değeri  $0,77 \pm 0,36$ , Z ocağı agregalarının ise ortalama % kayıp değeri  $0,66 \pm 0,26$  dir. Bu sonuçların ışığında her üç ocakta üretilen agregalarının değerleri Çizelge 4.38'e göre TS 706 EN 12620±A1 (TS, 2009a) standardında en uygun kategori olan MS<sub>18</sub> kategorisine girmekte olup her üç ocaktan temin edilen kireçtaşı agregalarının dona karşı dayanıklı olduğu kabul edilmektedir (Çizelge 4.38, 4.39 ve 4.40).

**Çizelge 4.38:** B Ocağı agregalarının dona dayanıklılık deneyi sonuçları.

Deney Numunesi	Numunenin İlk Kütlesi- M <sub>1</sub> (g)	10 mm elek üzerinde kalan kütle - M <sub>2</sub> (g)	Agrega Kaybı (g)	Agrega Kaybı (%)	Ortalama MS Kayıp Değeri (%)
1. Num.	500,9	498,7	2,2	0,4	0,70
	501,1	498,5	2,6	0,5	
2. Num.	501,3	498,6	2,7	0,5	0,79
	500,5	498	2,5	0,5	
3. Num.	500,5	498,2	2,3	0,5	0,70
	500,8	498,4	2,4	0,5	
4. Num.	500,7	498,5	2,2	0,4	0,73
	501,8	498,9	2,9	0,6	
5. Num.	500,5	498,5	2	0,4	0,68
	501,7	498,9	2,8	0,6	
6. Num.	500,3	498	2,3	0,5	0,83
	500,8	497,1	3,7	0,7	
7. Num.	500,5	499,4	1,1	0,2	0,33
	500,7	499,6	1,1	0,2	
8. Num.	500,4	498,4	2	0,4	0,60
	500,7	498,7	2	0,4	
<b>Art Ort.±Std Sap.</b>					<b>0,67 ± 0,15</b>

**Çizelge 4.39:** K Ocağı agregalarının dona dayanıklılık deneyi sonuçları.

Deney Numunesi	Numunenin İlk Kütlesi- M <sub>1</sub> (g)	10 mm elek üzerinde kalan kütle - M <sub>2</sub> (g)	Agrega Kaybı (g)	Agrega Kaybı (%)	Ortalama MS Kayıp Değeri (%)
1. Num.	500,2	495,5	4,7	0,9	0,93
	501,1	496,5	4,6	0,9	
2. Num.	500,4	498,2	2,2	0,4	0,53
	500,9	497,8	3,1	0,6	
3. Num.	501,0	497,5	3,5	0,7	0,70
	501,3	497,8	3,5	0,7	
4. Num.	500,4	498,2	2,2	0,4	0,53
	500,9	497,8	3,1	0,6	
5. Num.	500,8	498,1	2,7	0,5	0,55
	501,0	498,2	2,8	0,6	
6. Num.	501,3	498,6	2,7	0,5	0,52
	500,5	498,0	2,5	0,5	
7. Num.	501,6	497,2	4,4	0,9	0,80
	500,9	497,3	3,6	0,7	
8. Num.	501,0	492,6	8,4	1,7	1,59
	500,0	492,5	7,5	1,5	
Art Ort.±Std Sap.					0,77 ± 0,36

**Çizelge 4.40:** Z Ocağı agregalarının dona dayanıklılık deneyi sonuçları.

Deney Numunesi	Numunenin İlk Kütlesi- M <sub>1</sub> (g)	10 mm elek üzerinde kalan kütle - M <sub>2</sub> (g)	Agrega Kaybı (g)	Agrega Kaybı (%)	Ortalama MS Kayıp Değeri (%)
1. Num.	501,3	498,6	2,7	0,5	0,52
	500,5	498,0	2,5	0,5	
2. Num.	502,2	496,8	5,4	1,1	1,06
	501,0	495,8	5,2	1,0	
3. Num.	501,5	497,0	4,5	0,9	0,92
	502,8	498,1	4,7	0,9	
4. Num.	501,5	497,0	4,5	0,9	0,92
	502,8	498,1	4,7	0,9	
5. Num.	502,0	499,8	2,2	0,4	0,41
	501,0	499,1	1,9	0,4	
6. Num.	501,7	499,0	2,7	0,5	0,46
	500,6	498,7	1,9	0,4	
7. Num.	501,2	498,6	2,6	0,5	0,55
	501,9	499,0	2,9	0,6	
8. Num.	501,6	499,2	2,4	0,5	0,44
	500,7	498,7	2,0	0,4	
Art Ort.±Std Sap.					0,66±0,26

#### 4.3.8 Los Angeles Parçalanma Deneyi

Los Angeles deneyi agreganın dış etkenler karşısında dayanıklılığı, sertliği ve nakli sırasında ne kadar parçalanacağı konusunda bilgi verir. Yol, hava alanları, kaldırım, döşeme betonları, barajlarda dolu savaklarda kullanılan betonlar darbe, sürtünme ve aşınma etkisi altındadır (Çomak, 2007).

Bu deney 14 mm deney eleğinden geçebilen ve 10 mm deney eleği üzerinde kalan agrega numunelerinin parçalanma direncinin belirlenmesi amacıyla TS EN 1097-2 (TS, 2010b) standardına göre yapılmıştır. Deney örnekleri önce yıkanmış, daha sonra 105 °C 'de etüvde kurutulmuş ve oda sıcaklığına soğutulmuştur. 5000 g deney kütlesi Şekil 4.14'de görülen Los Angeles cihazı ve içine konulan çelik bilyalar (bir tanesi 45 mm ile 49 mm arasında çapa sahip, 11 adet küresel çelik, bir adedi 400 g ilâ 445 g) ile birlikte 31 devir/dakika-33 devir/dakika arasında sabit hızda 500 devirde döndürülmüştür. Tepsideki malzeme yeniden yıkanmış ve kuruduktan sonra 1,6 mm elekten elenmiş ve elek üzerindeki malzeme tartılmıştır (m). Denklem (4.21) ile deney sonucu hesaplanarak, çıkan sonuca göre Çizelge 4.41'den LA kategorisi belirlenmiştir.

$$LA = (5000 - m) / 50 \quad (4.21)$$

**Çizelge 4.41:** En büyük Los Angeles değerine göre kategoriler (TS 706 EN 12620 +A1; TS, 2009a).

Los Angeles Kat Sayısı	Kategori, LA
≤15	LA <sub>15</sub>
≤20	LA <sub>20</sub>
≤25	LA <sub>25</sub>
≤30	LA <sub>30</sub>
≤35	LA <sub>35</sub>
≤40	LA <sub>40</sub>
≤50	LA <sub>50</sub>
>50	LA <sub>beyan</sub>
Serbest	LA <sub>NR</sub>



**Şekil 4.14:** Los Angeles cihazı.

Los Angeles deneyi ile agregaların parçalanmaya karşı dayanımı saptanmıştır. Betonda kullanılacak agregaların dış etkenlerden gelen parçalama etkilerine (yükleme, nakliye vb. gibi) karşı dayanıklı olması beklenir. Her üç ocaktan temin edilen agrega numunelerine uygulanan deneyler sonucunda; B ocağı numunelerinin ortalama LA değerinin  $23,14 \pm 0,85$  olduğu, K Ocağı numunelerinin ortalama LA değerinin  $28,62 \pm 0,40$  olduğu, Z ocağı agrega numunelerinden sağlanan ortalama LA değerinin ise  $24,10 \pm 0,97$  olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara göre B ve Z ocağı agregalarının değerleri Çizelge 4.33'e göre LA<sub>25</sub> kategorisine girdiği, K ocağı agregalarının ise LA<sub>30</sub> kategorisine girdiği görülmüştür. Bu durumda çalışma alanında seçilmiş olan üç agrega ocağının kategorileri TS 706 EN 12620 (TS, 2009a)'da belirtilen beyan değerinin ( $< 50$ ) (bkz. Çizelge 4.42) altında kalmış olduğu, fakat B ve Z ocağından elde edilen agregaların nispeten K Ocağı agregalarına göre parçalanmaya karşı daha dayanıklı olduğu görülmüştür (Çizelge 4.42, 4.43 ve 4.44).

**Çizelge 4.42:** B Ocağı numuneleri parçalanma yüzde değerleri ve LA kategorileri.

Agrega Numunesi	LA. Parçalanma Yüzdesi (%)	LA. Kategorisi
1. Numune	24,9	LA <sub>25</sub>
2. Numune	23,5	LA <sub>25</sub>
3. Numune	23	LA <sub>25</sub>
4. Numune	23,7	LA <sub>25</sub>
5. Numune	22,8	LA <sub>25</sub>
6. Numune	23	LA <sub>25</sub>
7. Numune	22,4	LA <sub>25</sub>
8. Numune	21,9	LA <sub>25</sub>
<b>Art Ort.±Std Sap.</b>	<b>23,14±0,85</b>	<b>LA<sub>25</sub></b>

**Çizelge 4.43:** K Ocağı numuneleri parçalanma yüzde değerleri ve LA kategorileri.

Agrega Numunesi	LA. Parçalanma Yüzdesi (%)	LA. Kategorisi
1. Numune	29	LA <sub>30</sub>
2. Numune	29	LA <sub>30</sub>
3. Numune	28,4	LA <sub>30</sub>
4. Numune	29,2	LA <sub>30</sub>
5. Numune	28,2	LA <sub>30</sub>
6. Numune	28,8	LA <sub>30</sub>
7. Numune	28,4	LA <sub>30</sub>
8. Numune	28	LA <sub>30</sub>
<b>Art Ort.±Std Sap.</b>	<b>28,62±0,40</b>	<b>LA<sub>30</sub></b>

**Çizelge 4.44:** Z Ocağı numuneleri parçalanma yüzde değerleri ve LA kategorileri.

Agrega Numunesi	LA. Parçalanma Yüzdesi (%)	LA. Kategorisi
<b>1. Numune</b>	23,1	LA <sub>25</sub>
<b>2. Numune</b>	23,5	LA <sub>25</sub>
<b>3. Numune</b>	24	LA <sub>25</sub>
<b>4. Numune</b>	24,3	LA <sub>25</sub>
<b>5. Numune</b>	25,5	LA <sub>25</sub>
<b>6. Numune</b>	25,6	LA <sub>25</sub>
<b>7. Numune</b>	24,1	LA <sub>25</sub>
<b>8. Numune</b>	22,7	LA <sub>25</sub>
<b>Art Ort.±Std Sap.</b>	<b>24,10±0,97</b>	<b>LA<sub>25</sub></b>

### 4.3.9 Micro Deval Aşınma Deneyi

Mikro Deval deneyi, TS EN 1097-1 (TS, 2011b) standardına göre 10-14 mm arasındaki agregalara uygulanmıştır. 105 °C’de etüvde değişmez kütleye kadar kurutulmuş agregalardan 500 gram mikro deval tamburuna yerleştirilmiştir. Daha sonra her bir tamburun yükü 5000 g’lık olacak şekilde çelik bilya eklenmiş ve 2,5 litre su ilave edilmiştir. Tamburlar, 100 devir/dakika hızda olacak şekilde, 12000 devir tamamlanincaya kadar döndürülmüştür. Deney numuneleri ve bilyalar bir kaba alınarak, tambur özenlice yıkanmış ve buradaki suda agrega kaybını önlemek amacıyla komple buradan alınmıştır. Tüm malzeme ve yıkama suyu, 8 mm elek ile korunacak şekilde 1,6 mm elek üzerinde yıkanmıştır. 8 mm elekte tutulan agrega taneleri çelik bilyalardan ayıklanmıştır. Her iki elektede tutulan malzemeler bir kaptan toplanarak etüvde, 105 °C’de değişmez kütleye kadar kurutulmuş ve soğuduktan sonra 1,6 mm açıklıklı elek üzerinde tutulan agreganın kütlesi tartılmıştır (m) ve denklem (4.22)’den  $M_{DE}$  kategorisi hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.45’e göre sınıflandırılmıştır.

$$M_{DE} = (500 - m) / 5 \quad (4.22)$$

**Çizelge 4.45:** En yüksek aşınmaya karşı direnç değerleri kategorileri (TS 706 EN 12620 +A1; TS, 2009a).

Mikro Deval Katsayısı	Kategori, $M_{DE}$
$\leq 10$	$M_{DE}10$
$\leq 15$	$M_{DE}15$
$\leq 20$	$M_{DE}20$
$\leq 25$	$M_{DE}25$
$\leq 35$	$M_{DE}35$
$> 35$	$M_{DE}BEYAN$
Serbest	$M_{DE}NR$

Arslantaş (2009)’a göre, yol ve havaalanlarındaki betonlar aşınma kuvvetlerinin etkileri altındadır ve betonun bu etkilere dayanıklı olabilmesi için, yapımında kullanılan iri agregaların aşınma etkilerine karşı yeterli mukavemete sahip olmaları gerekmektedir. Bu nedenle ocaklardan temin edilen agrega numuneleri üzerinde

Mikro-Deval deneyi uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda B ocağı numunelerinin ortalama MD değerinin  $\%23,73 \pm 0,72$  olduğu ve bu değer  $M_{DE15}$  kategorisinde olduğu, K ocağı numunelerinin ortalama MD değerinin  $\%22,84 \pm 0,96$  olduğu ve bu değer  $M_{DE25}$  kategorisinde olduğu, Z ocağı agrega numunelerinin ortalama MD değerinin  $\%24,50 \pm 0,44$  olduğu ve bu değer  $M_{DE25}$  kategorisinde olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuçların TS 706 EN 12620 (TS, 2009a)'da belirtilen beyan değerinin ( $< 35$ ) (bkz. Çizelge 4.46) altında kalmış olduğu, B ocağı numunelerin K ve Z ocağı agrega numunelerine göre daha yüksek aşınma direncine sahip olduğu görülmüştür (Çizelge 4.46, 4.47 ve 4.48).



**Şekil 4.15:** Micro Deval deneyi öncesi ve sonrası agrega numunelerinin görünümü.



Şekil 4.16: Micro-Deval deney cihazı.

Çizelge 4.46: B ocağı Micro-Deval deneyi sonuçları.

Agrega Numunesi	D.Ö Kuru Ağırlık (g)	D.S Kuru Ağırlık (g)	M.D. Aşınma Yüzdesi (%)	M.D. Kategorisi
1. Numune	502	383,12	23,68	M <sub>DE25</sub>
2. Numune	502	379,15	24,47	M <sub>DE25</sub>
3. Numune	502	386,40	23,03	M <sub>DE25</sub>
<b>Art Ort.±Std Sap.</b>			<b>23,73±0,72</b>	<b>M<sub>DE25</sub></b>

Çizelge 4.47: K ocağı Micro-Deval deneyi sonuçları.

Agrega Numunesi	D.Ö Kuru Ağırlık (g)	D.S Kuru Ağırlık (g)	M.D. Aşınma Yüzdesi (%)	M.D. Kategorisi
1. Numune	500,35	380,63	23,93	M <sub>DE25</sub>
2. Numune	500,56	388,15	22,46	M <sub>DE25</sub>
3. Numune	500,06	389,42	22,13	M <sub>DE25</sub>
<b>Art Ort.±Std Sap.</b>			<b>22,84±0,96</b>	<b>M<sub>DE25</sub></b>

Çizelge 4.48: Z ocağı Micro-Deval deneyi sonuçları.

Agrega Numunesi	D.Ö Kuru Ağırlık (g)	D.S Kuru Ağırlık (g)	M.D. Aşınma Yüzdesi (%)	M.D. Kategorisi
1. Numune	500,19	375,44	24,94	M <sub>DE25</sub>
2. Numune	501,93	381,15	24,06	M <sub>DE25</sub>
3. Numune	501,51	378,64	24,50	M <sub>DE25</sub>
<b>Art Ort.±Std Sap.</b>			<b>24,50±0,44</b>	<b>M<sub>DE25</sub></b>



#### 4.3.10 Modifiye Agrega Darbe Değeri

Deney BS 812-112 (BS, 1990) standardı kriterlerine göre, 13,5 kg ağırlığındaki bir çekicinin  $380 \pm 5$  mm yükseklikten, 10 mm üzerinde kalan, 14 mm test eleğinden geçen boyuttaki agregaların üzerine darbe vurulmasıyla yapılmaktadır. (BS 812-112'ye göre kuru olarak test edildiğinde 15 darbe uygulanır.) Numuneler uygun şekilde azaltılarak düzeltilmiş agregada darbe dayanımı metodu uygulanarak teste tabi tutulmuştur. Örnekler önce 24 saat  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki duya doyrulmuş ve üzerindeki su filmleri kurularak %5 ile %20 arasında azaltılmış darbe sayısı (n) uygulanarak teste tabi tutulmuştur. Tüm numunelere 13 darbe uygulanmıştır. Cihazın kabından toplanan parçalanmış numuneler etüve konulmuş ve 12 saat  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıktıktan sonra oda sıcaklığına gelen örnekler tartılmış (0,1 duyarlılıkta terazi ile) ve  $M_1$  olarak kaydedilmiştir. Daha sonra 2,36 mm'lik eleklerden elenerek elekten geçen numune tartılmış ve  $M_2$  olarak kaydedilmiş, elekten geçemeyen numuneler ise tartılarak  $M_3$  olarak kaydedilmiştir. Hesaplamalar (4.23) ve (4.24) denklemleriyle yapılmış olup, deney ile ilgili görseller Şekil 4.17'de görülmektedir.

$$m = M_2 / M_1 \times 100 \quad (4.23)$$

$$(AIV) = (MAIV) = 15 m / n \quad (4.24)$$



Şekil 4.17: Agrega darbe dayanımı deneyi cihazı ve deneyin yapılışı.

**Çizelge 4.49:** Agrega darbe dayanım sınıflama değeri çizelgesi (Külekcı, 2018).

<b>Agrega Darbe Dayanım Sınıflamaları</b>	<b>İndeks Değerleri (%)</b>
Çok Yüksek	<10
Yüksek	10-20
Orta Yüksek (Yol Kaplamaları İçin)	20-30
Düşük (Yol Kaplamaları İçin Zayıf-Uygun Değil)	>35

BS 812-112 (BS, 1990) 'ye uygun olarak yapılan düzeltilmiş agrega darbe dayanımı deneyi (Modified Aggregate Impact Value-MAIV) sonucunda ise; B ocağı numunelerinin ortalama MAIV değeri  $22,034 \pm 1,702$  olduğu, K ocağı ocağı numunelerinin ortalama MAIV değeri  $24,562 \pm 1,369$  olduğu, Z ocağı ocağı numunelerinin ortalama MAIV değeri  $22,708 \pm 1,075$  olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.50, 4.51 ve 4.52). Bu sonuçların Çizelge 4.49'a göre "Orta Yüksek İndeks Değeri" aralığına karşılık geldiği görülmüştür.

**Çizelge 4.50:** B Ocağı agregalarının MAIV deneyi sonuçları.

<b>Numune No</b>	<b>İlk doymun ağırlık-M<sub>1</sub> (g)</b>	<b>Geçen malzeme ağırlığı -M<sub>2</sub> (g)</b>	<b>Kalan malzeme ağırlığı -M<sub>3</sub> (g)</b>	<b>m</b>	<b>MAIV(%)</b>
MBA1	315,73	57,22	256,49	18,12	20,91
MBA2	324,45	64,37	259,18	19,84	22,89
MBA3	314,98	68,33	244,69	21,69	25,03
MBA4	324,25	62,25	260,31	19,20	22,15
MBA5	326,57	64,77	260,94	19,83	22,88
MBA6	317,58	63,57	252,76	20,01	23,09
MBA7	326,22	62,96	261,79	19,30	22,27
MBA8	335,16	63,52	271,15	18,95	21,87
MBA9	324,29	68,1	255,57	20,99	24,23
MBA10	319,78	66,86	251,58	20,91	24,12
MBA11	338,95	58,95	277,11	17,39	20,07
MBA12	313,63	54,22	258,18	17,29	19,95
MBA13	332,1	56,15	267,48	16,91	19,51
MBA14	319,45	55,87	262,48	17,49	20,18
MBA15	323,1	59,83	261,95	18,52	21,36
<b>Art Ort.±Std Sap.</b>					<b>22,034±1,702</b>

**Çizelge 4.51:** K Ocağı agregalarının MAIV deneyi sonuçları.

Numune No	İlk doymun ağırlık- $M_1$ (g)	Geçen malzeme ağırlığı - $M_2$ (g)	Kalan malzeme ağırlığı - $M_3$ (g)	m	MAIV(%)
MKA1	312,36	65,82	243,92	21,07	24,31
MKA2	321,36	67,95	251,31	21,14	24,40
MKA3	317,67	69,8	246,29	21,97	25,35
MKA4	323,79	71,22	250,42	21,99	25,38
MKA5	327,63	77,74	248,34	23,73	27,37
MKA6	333,48	68,21	263,64	20,45	23,60
MKA7	326,76	76,96	248,1	23,55	27,17
MKA8	328,67	67,28	259,72	20,47	23,61
MKA9	327,22	66,05	256,65	20,18	23,29
MKA10	319,78	68,62	244,23	21,46	24,76
MKA11	338,95	65,59	243,23	19,35	22,33
MKA12	313,63	64,35	247,81	20,52	23,67
MKA13	332,1	71,81	248,53	21,62	24,95
MKA14	319,45	65,62	251,8	20,54	23,70
MKA15	323,1	68,73	256,19	21,27	24,54
<b>Art Ort.±Std Sap.</b>					<b>24,562±1,369</b>

**Çizelge 4.52:** Z Ocağı agregalarının MAIV deneyi sonuçları.

Numune No	İlk doymun ağırlık- $M_1$ (g)	Geçen malzeme ağırlığı - $M_2$ (g)	Kalan malzeme ağırlığı - $M_3$ (g)	m	MAIV(%)
MZA1	311,53	62,97	245,31	20,21	23,32
MZA2	313,33	61,1	248,58	19,50	22,50
MZA3	319,86	59,4	256,88	18,57	21,43
MZA4	306,44	64,74	238,32	21,13	24,38
MZA5	308,61	61,67	244,35	19,98	23,06
MZA6	329,5	60,17	265,23	18,26	21,07
MZA7	318,77	58,04	256,86	18,21	21,00
MZA8	313,98	63,92	245,95	20,36	23,49
MZA9	309,67	64,26	244,05	20,75	23,94
MZA10	319,79	61,03	255,3	19,08	22,02
MZA11	320,34	64,08	252,77	20,00	23,08
MZA12	318,13	66,77	247,72	20,99	24,22
MZA13	323,54	61,71	258,66	19,07	22,00
MZA14	320,05	62,94	252,54	19,66	22,69
MZA15	321,08	62,43	255,8	19,44	22,43
<b>Art Ort.±Std Sap.</b>					<b>22,708±1,075</b>

#### 4.3.11 İnce Tanelerin Tayini - Metilen Mavisi Deneyi

Bu deney, ince agregalarda veya boyutlarına göre fraksiyonlara ayrılmamış agregalarda (0-2) mm aralığının metilen mavisi değerinin (MB) tayini için TS EN 933-9+A1 (TS, 2014b) standardı doğrultusunda yapılmaktadır. İçerisinde kil barındıran agregada test sırasında metilen mavisi değerini artırmaktadır ve kil varlığı beton priz aldıktan sonra kılcal çatlakların meydana gelmesini tetikler. Bu tip zararlı etkilerin varlığı beton dayanımına ciddi derecede etki eder. Agreganın kirli yani killi olması aderansı olumsuz etkiler ve ayrıca kil taneleri su ihtiyacını da arttırır. Bu deneyde metilen mavisinin renk değişimi ile kil minerallerin varlığının ortaya çıkarılması hedeflenmiştir.

Ocaktan alınan 0-5 mm boyutundaki agregada numuneleri 105 °C' de sabit kütleye kadar kurutulmuş, daha sonra soğutularak, 2 mm elekten elenmiş ve en az 200 g olacak şekilde azaltılarak numune tartılmıştır (M<sub>1</sub>). 500 mL'lik de-mineralize su ve deney numunesi beherde kronometre takibiyle önce 5 dakika süreyle 600 devir/dakika karıştırılır, daha sonra boya eklendikçe (her boya eklemesi 5 ml) 400 devir/dakika hızda metilen cihazının karıştırıcısıyla karıştırılmıştır. Metilen leke deneyi, her boya katılmasından sonra, cam çubuk ile karışımdan bir damla alınması (birikinti çapı 8 mm ilâ 12 mm) ve damlanın süzgeç kâğıdı üzerine bırakılmasıyla yapılmıştır. (Şekil 4.18). Merkezi ıslak bölge çevresinde yaklaşık 1 mm'lik açık mavi bir hale oluştuğu esnada deney pozitif olarak yorumlanmıştır. Ancak kil minerallerinin boya adsorpsiyonunu tamamlaması biraz zaman alacağından, bu hale daha sonra kaybolur ve leke deneyi daha fazla boya çözeltisi ilave edilmeksizin 1 dakika arayla, 5 dakika sürecek şekilde tekrarlanmıştır. Sonuçlar (4.25) denklemi ile hesaplanmıştır.

$$MB = V_1 / M_1 \times 10 \quad (4.25)$$



**Şekil 4.18:** Metilen mavisi deneyi cihazı ve deneyin yapılışı.

Beton üretiminde kullanılacak agregaların içerisinde bulunan kil ve silt gibi ince madde ihtivasının fazla olması beton üretimi için gereken su miktarını arttırmakta ve betonun sertleşmesine etki eder. Ayrıca Doğan (2006)'ya göre, yüzeyini bir örtü gibi kaplamış olan ince maddeler, agregalar ile çimento hamuru arasındaki aderansı azaltmaktadır ve bu nedenle beton dayanımının az olması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenlerle agregaların kil-silt gibi ince maddeleri içermesi istenmez. TS 706 EN 12620 (TS, 2009a) standardında ince agregaların içerdiği % muhtevanın % 3'ten az olması beklenir. Her üç ocaktan temin edilen 0-5 mm gradasyondaki agregalara uygulanan metilen mavisi deney sonuçları birbirine çok yakın değerler almıştır. B ve K ocağındaki sonuçlarında en yüksek metilen değeri % 1,0 iken, Z ocağında bu değer % 0,75'tir. Z ocağından agrega üretilen formasyon içeriğinde kil içeriğinin diğer formasyonlara nispeten daha az olduğu görülmektedir (Çizelge 4.53, 4.54 ve 4.55).

**Çizelge 4.53:** B Ocağı agrega numuneleri metilen mavisi deney sonuçları.

Deney Numunesi	Numune Kütlesi (g)	İlave Edilen Çözelti Hacmi-V <sub>1</sub> (mL)	MB Değeri (g/100g)
1. Numune	200	10	0,50
2. Numune	200	15	0,75
3. Numune	200	10	0,50
4. Numune	200	15	0,75
5. Numune	200	15	0,75
6. Numune	200	15	0,75
7. Numune	200	20	1,00
8. Numune	200	5	0,25
Art Ort.±Std Sap.			<b>0,66±0,23</b>

**Çizelge 4.54:** K Ocağı agrega numuneleri metilen mavisi deney sonuçları.

Deney Numunesi	Numune Kütlesi (g)	İlave Edilen Çözelti Hacmi-V <sub>1</sub> (mL)	MB Değeri (g/100g)
1. Numune	200	15	0,75
2. Numune	200	10	0,50
3. Numune	200	15	0,75
4. Numune	200	15	0,75
5. Numune	200	20	1,00
6. Numune	200	15	0,75
7. Numune	200	10	0,50
8. Numune	200	15	0,75
Art Ort.±Std Sap.			<b>0,72±0,16</b>

**Çizelge 4.55:** Z Ocağı agrega numuneleri metilen mavisi deney sonuçları.

Deney Numunesi	Numune Kütlesi (g)	İlave Edilen Çözelti Hacmi-V <sub>1</sub> (mL)	MB Değeri (g/100g)
1. Numune	200	5	0,25
2. Numune	200	10	0,50
3. Numune	200	10	0,50
4. Numune	200	5	0,25
5. Numune	200	15	0,75
6. Numune	200	10	0,50
7. Numune	200	15	0,75
8. Numune	200	10	0,50
Art Ort.±Std Sap.			<b>0,50±0,19</b>

#### 4.3.12 Kil Topağı Tayini

Temin edildikleri formasyon özelliklerinden dolayı, doğal halde agrega taneleri üzerinde yapışık şekilde bulunan kil parçacıklarına “kil topakları” denir. Kil topakları agregalar arasında bazen, bir agrega tanesi gibi de görülebilir. Kil topakları ve diğer kırılabilir maddeler betona karıştığında sertleşme sırasında beton yüzeyinde boşluklar oluşturur, ayrıca betonun mukavemetini azaltan önemli etkenlerden biridir.

Deney ASTM C-142 (ASTM, 2017) standardına göre yapılmış olup, her gradasyon aralığını ait etüvde kurutulmuş agregalar ayrı ayrı tartılmıştır (M). Her bir gradasyon aralığındaki deney numunesi ve ayrı bir kaba yayılarak, su içerisinde 24 saat bekletilmiştir. El ile taneler yuvarlatılıp, sıkıştırılarak daha küçük taneler haline getirilmiş, parmaklarla daha ince tanelere ayrılabilen agregalar, kil topağı veya ufalanabilir taneler olarak ıslak eleme ile atılabilir olarak sınıflandırılmıştır. Görünür tüm kil topakları ve ufalanabilir taneler ayrıldıktan sonra, kırıntı malzemeler numune üzerine su dökülerek No:20/0.85, No:8/2.38 mm, No:4/4.75 mm yıkama elekleri kullanılarak ıslak eleme ile ayrılmıştır. Kalan taneler 105 °C’de sabit sıcaklığa ulaşmaya kadar etüvde kurutulmuş ve daha sonra tekrar tartılarak (R) hesaplamalar denklem (4.26) ile yapılmıştır.

$$P = (M - R) / M \times 100 \quad (4.26)$$

P = Kil topağı ve ufalanabilir tanelerin yüzdesi, (%)

ASTM C-142 (ASTM, 2017) standardına göre, betonda kullanılacak agregaların % 3’ten fazla kil ve gevrek malzemeler barındırmaması beklenir. Her üç ocaktan alınmış olan, tüm fraksiyonlara ait numunelerin kil topağı tayini sonuçlarına baktığımızda elde edilen değerlerin sınır değerinin epey altında kaldığı görülmektedir (Çizelge 4.56).

**Çizelge 4.56:** Ocaklardan alınan numunelerinin kil topağı tayini sonuçları.

Numune No	Tane Boyutu Fraksiyonu	B Ocağı (Kayıp %)	K Ocağı (Kayıp %)	Z Ocağı (Kayıp %)
1. Set Numune	0-5 mm	0,31	0,04	0,02
	5-12 mm	0,145	0,03	0,005
	12-22 mm	0,12	0,02	0,01
2. Set Numune	0-5 mm	0,56	0,03	0,03
	5-12 mm	0,145	0,03	0,015
	12-22 mm	0,14	0,02	0,005
3. Set Numune	0-5 mm	0,21	0,13	0,02
	5-12 mm	0,10	0,61	0,005
	12-22 mm	0,07	0,72	0,005
4. Set Numune	0-5 mm	0,18	0,03	0,04
	5-12 mm	0,1	0,03	0,005
	12-22 mm	0,05	0,02	0,01
5. Set Numune	0-5 mm	0,11	0,18	0,03
	5-12 mm	0,05	0,05	0,015
	12-22 mm	0,06	0,04	0,01
6. Set Numune	0-5 mm	0,04	0,04	0,03
	5-12 mm	0,025	0,06	0,015
	12-22 mm	0,02	0,05	0,01
Art Ort.±Std Sap.	0-5 mm	<b>0,235±0,183</b>	<b>0,075±0,064</b>	<b>0,028±0,008</b>
	5-12 mm	<b>0,094±0,048</b>	<b>0,135±0,233</b>	<b>0,010±0,005</b>
	12-22 mm	<b>0,077±0,045</b>	<b>0,145±0,282</b>	<b>0,008±0,003</b>

#### 4.3.13 Organik Madde Tayini

Bu deney TS EN 1744-1+A1 (TS, 2013c) standardı doğrultusunda, agregaların humus muhtevası yönünden değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Beton içerisinde kullanılacak olan agregaların içerisinde bulunan organik maddeler betonun sertleşmesini negatif olarak etkileyeceğinden istenmezler (TS 706 EN 12620, 2009). Yöntemde 0-5 mm agregada bulunan organik maddelerin NaOH ile reaksiyona girmesiyle gelişen renk değişimi esas alınmıştır. Sıvı karışımdaki rengin koyuluğu organik madde içeriğine bağlıdır. Çözeltide hiç ya da az renk değişimi varsa, agreganın kayda değer miktarda organik madde içermediği düşünülür. Çok fazla bir renk



değişimi ise genellikle agreganın fazla organik madde ihtiva ettiğini düşündürür. Fakat renk değişimi başka etkenlere de bağlı olabileceğinden, deney kesin sonuç çıkarmaya uygun değildir.

TS EN 1744-1+A1 (TS, 2013c)'ye göre alınan 0-5 mm gradasyondaki numuneler birer tepsiye yayılmış ve etüvde kurutulmuştur. Numune 4 mm'lik elekten elenmiş ve eleğin üzerinde kalan numune, eleğin altına geçecek şekilde kırılmış ve elek altına geçen diğer agregalarla birleştirilmiştir. Cam şişe içerisine, yaklaşık 80 mm yüksekliğe gelecek kadar %3 derişik olacak şekilde NaOH çözeltisi konulmuş ve çözelti, agrega yüksekliği 120 mm oluncaya değin şişeye agrega eklenmiştir. Şişenin tapası kapatılarak şişe 1 dakika kuvvetlice çalkalanmıştır. 24 saat sonra deney numunelerinin içerisinde bulunduğu çözeltideki renklenme Çizelge 4.57'ye göre analiz edilmiştir.

**Çizelge 4.57:** Çözelti rengine göre agregaların kullanılabilirliği (Baradan, 2006).

<b>Renk</b>	<b>Organik Madde</b>	<b>Agreganın Kullanımı</b>
Renksiz veya çok hafif sarı	Hiç yok veya çok az var	Kaliteli beton üretiminde kullanılabilir
Safran sarısı	Az miktarda var	Normal işler için uygun
Belirgin kırmızı	Var	Önemsiz işlerde kullanılabilir.
Belirgin kahverengi	Çok var	Kullanılmaz

Baradan (2006)'ya göre agregada organik madde muhtevsasında fazla olması beton dayanımında düşmeye ve renk değişimine neden olabilmektedir. Ocaklardan alınan 0-5 mm gradasyonundaki agrega numunelerinde yapılan tayine göre, agrega numuneleri üzerindeki karışım sıvısının, "Renksiz" olduğu görülmüştür (Çizelge 4.59). TS 706 EN 12620 (TS, 2009a) standardında belirtildiği üzere elde edilen bu sonuçlara göre, agregaların, betonun katılma süresine etkiyecek önemli miktarda organik madde ihtiva etmedikleri kabul edilmektedir (Çizelge 4.58).

**Çizelge 4.58:** Agregaların organik madde deney sonuçları.

Numune No	Tane Boyutu Fraksiyonu	B Ocağı (Organik Madde Tayini)	K Ocağı (Organik Madde Tayini)	Z Ocağı (Organik Madde Tayini)
1 Nolu Numune	0-5 mm	Renksiz	Renksiz	Renksiz
2 Nolu Numune	0-5 mm	Renksiz	Renksiz	Renksiz
3 Nolu Numune	0-5 mm	Renksiz	Renksiz	Renksiz

#### 4.3.14 Alkali-Silika Reaksiyonu (Hızlandırılmış Harç Çubuk Metodu)

Betonda oluşan “Alkali Silika Reaksiyonu”, beton bünyesindeki alkali hidroksitlerin, agregada bulunan reaktif silikalarla reaksiyona girmesi sonucu oluşur. Suda çözünebilir alkalilerin miktarın fazlalığı, betonun alkali silika reaksiyonuna maruz kalması potansiyelini oluşturur ve bu nedenle betonda kullanılacak olan çimentonun içerisinde bulunan suda çözünen alkalilerin miktarının bilinmesi önem arz eder. Çimentonun içerdiği alkali oksit, çimentonun kimyasal analizi vasıtasıyla “ $\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$ ” bağıntısından hesaplanır ve bu değer, “Çimentonun Alkalinite Değeri” olarak tanımlanır (TS 2517, 2010c). Betonda kullanılacak çimentolar için alkalinite değeri uluslararası standartlarca en çok % 0.6 (düşük alkali çimento) olarak sınırlandırılmış olup, bu değer üzerinde alkali varlığına ek olarak su, katkı, agrega ve benzeri diğer beton bileşenlerinden gelen suda çözünen alkaliler de, betona giren toplam alkali miktarını artırır (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013). Alkalilerin varlığı, agrega bünyesindeki reaktif silislerin varlığı ve rutubetli ortam şartlarının var olması durumunda reaksiyon oluşur ve sonuç olarak betonda jel oluşur. Bu jel, çevredeki suyu emerek genleşme sonucunda betona kuvvet uygular. Belirli şartlar altında (nem olduğu şartlarda, sıcaklık ise bu reaksiyonu hızlandırır), betonda gerçekleşen bu reaksiyonlar, betonda çatlama yol açar ve beton zamanla parçalanmaya başlar. Betonda gerçekleşen ve geri dönüşümü olmayan bu hasarın engellenmesi için agreganın içerdiği reaktif silis minerallerinin (amorf silis mineralleri, çört, opal, kristobalit, kalsedon, camsı, riyolit vb. gibi) miktarının belirlenmesi, bu miktarın sınır değerlerden fazla olması durumunda agregaların betonda kullanılmaması gerekir.

Bu nedenle çalışma kapsamındaki agrega ocaklarından alınan 0-5 mm tane boyutunda olan numunelere, alkali silika reaksiyon testleri CANADA CSA 23.2 – 25A' ya göre Karayolları Genel Müdürlüğü laboratuvarında yapılmıştır ve bu deneylerde CEM I 42,5 R sınıfı çimento kullanılmıştır.

Ocaklardan alınan agrega numunesi kırıcıda kırılıp, öğütülerek 5 mm –0.160 mm arası malzeme elde edilmiş, 5 mm, 2.5 mm, 1.25 mm, 0.63 mm, 0.315 mm, 0.160 mm açıklıklı eleklerden elenmek ve kurutulmak suretiyle elde edilen malzemelerden her bir ocak numunesi için 25 x 25 x 285 mm boyutlarında, agrega çimento oranı 2,25, su/çimento oranı 0,47 olan, 3 adet harç çubuğu dökülerek, çubuklar 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış ve saf suda bekletilmiştir. 24 saat suda bekletilen çubukların ölçümleri alınmıştır ( $L_i$ ). Daha sonra 80 °C sıcaklıkta NaOH çözeltisine maruz bırakılan çubukların, 3 gün, 7 gün ve 14 günlük boy ölçümleri alınarak ( $L_{3,7,14}$ ) genişleme % değerleri (4.27) denklemi ile hesaplanmıştır. Çubuklarda gözlenen genişlemeye dair grafikler ise Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21'de verilmiştir.

$$G = [ (L_{3,7,14} - L_0) / L_i ] \times 100 \quad (4.27)$$

$L_i$  : Kalıptan çıkarılan harç çubuklarının boyları.

$L_0$ : Saf sudan çıkarıldıktan sonra harç çubuklarının boyları.

Ocaklardan alınan agregaların alkali silika reaksiyonu test sonuçlarından çıkan değerlerinin CANADA CSA A-23.2-25A hızlandırılmış harç çubuk metoduna göre; 14 günün sonunda 0-5 mm gradasyonundaki numunelerden hazırlanan ve NaOH çözeltisinde bekleyen beton çubukların boyca genişleme limitinin 0,15'in altında kaldığı görülmüştür (Çizelge Çizelge 4.59, 4.60, 4.61). Bu sonuçlar ışığında her üç ocaktan elde edilen agregaların uygun bileşenlerle birlikte (% 0,6 değeri altında alkali içeren çimento) kullanılması halinde beton imalatları için zararlı etkiler oluşturmayacağı anlamına gelmektedir.

**Çizelge 4.59:** B ocağı 3-7-14 günlük alkali silika testi sonuçları.

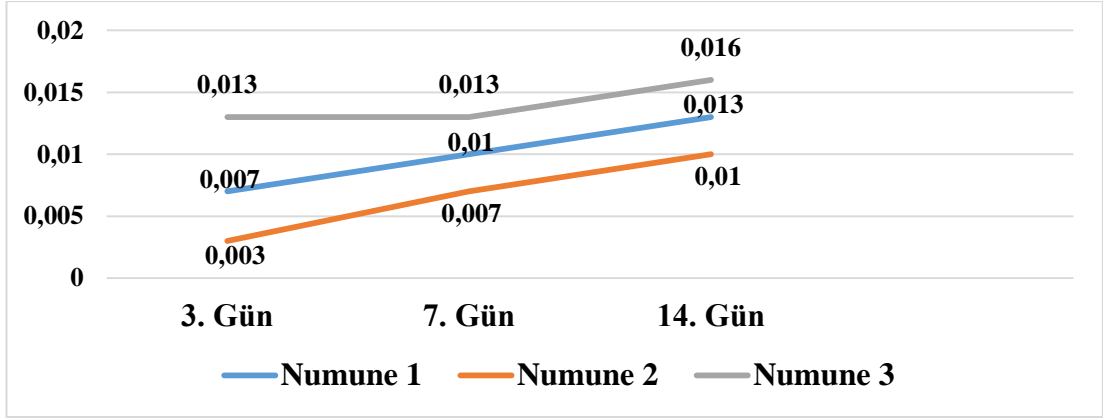
Deney Numunesi	Numune Tane Boyutu Fraksiyonu	Harç Çubukların Ortalama Genleşme Yüzdeleri (%)		
		3. Gün	7. Gün	14. Gün
Numune 1	0-5 mm	0,007	0,01	0,013
Numune 2	0-5 mm	0,003	0,007	0,013
Numune 3	0-5 mm	0,003	0,01	0,016
Art Ort.±Std Sap.		<b>0,004±0,002</b>	<b>0,009±0,002</b>	<b>0,014±0,002</b>

**Çizelge 4.60:** K ocağı 3-7-14 günlük alkali silika testi sonuçları.

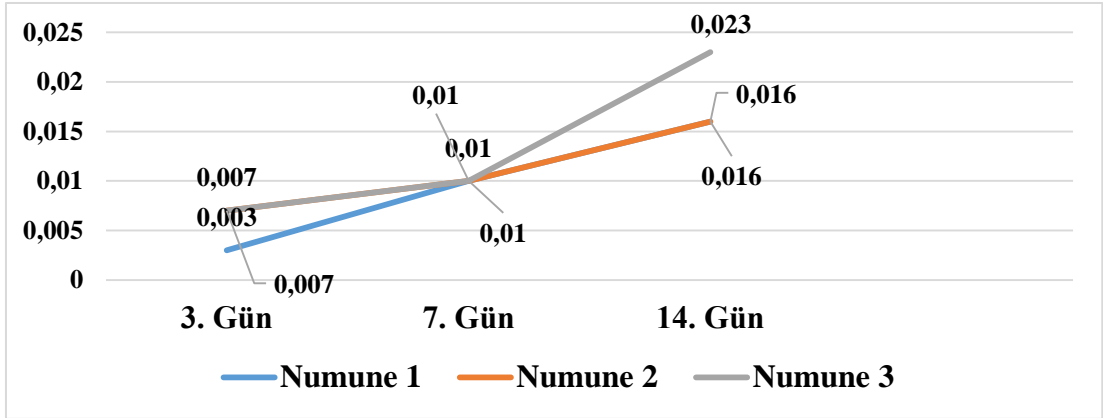
Deney Numunesi	Numune Tane Boyutu Fraksiyonu	Harç Çubukların Ortalama Genleşme Yüzdeleri (%)		
		3. Gün	7. Gün	14. Gün
Numune 1	0-5 mm	0,003	0,01	0,016
Numune 2	0-5 mm	0,007	0,01	0,016
Numune 3	0-5 mm	0,007	0,01	0,023
Art Ort.±Std Sap.		<b>0,006±0,002</b>	<b>0,010±0,000</b>	<b>0,018±0,004</b>

**Çizelge 4.61:** Z ocağı 3-7-14 günlük alkali silika testi sonuçları.

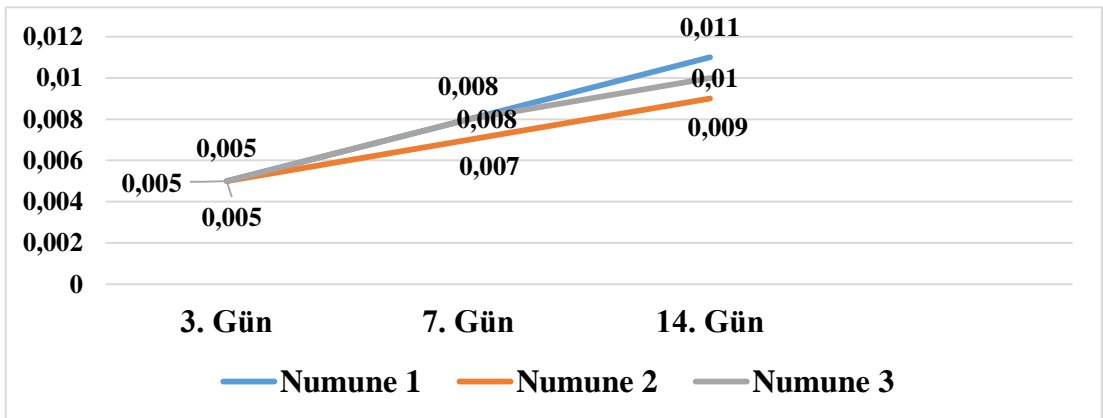
Deney Numunesi	Numune Tane Boyutu Fraksiyonu	Harç Çubukların Ortalama Genleşme Yüzdeleri (%)		
		3. Gün	7. Gün	14. Gün
Numune 1	0-5 mm	0,005	0,008	0,011
Numune 2	0-5 mm	0,005	0,007	0,009
Numune 3	0-5 mm	0,005	0,008	0,01
Art Ort.±Std Sap.		<b>0,005±0,000</b>	<b>0,008±0,001</b>	<b>0,010±0,001</b>



Şekil 4.19: B ocağı numuneleri alkali silika reaksiyonu deneyi genleşme grafiği.



Şekil 4.20: K ocağı numuneleri alkali silika reaksiyonu deneyi genleşme grafiği.



Şekil 4.21: Z ocağı numuneleri alkali silika reaksiyonu deneyi genleşme grafiği.

#### 4.4 Taze ve Sertleşmiş Beton Özelliklerine İlişkin Çalışmalar

Çalışma alanlarından alınan kiretaşı numunelerinden betonların üretimi Nurool İnşaat Ticaret A.Ş kalite kontrol laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Üretilmiş olan betonlardan taze beton özelliklerini belirlemek üzere slump (çökme) deneyi, birim hacim ağırlık deneyi, sertleşmiş beton özelliğini belirlemek üzere beton basınç dayanımı testi uygulanmıştır.

Karışımında çimento olarak “Çimentaş CEM I 42,5 R Erken Dayanımlı Portland Çimentosu” kullanılmış ve dozajı 290 kg/m<sup>3</sup> olarak alınarak minimum C25/30 basınç dayanımı sınıfında beton üretimi hedeflenmiştir. Beton üretiminde kullanılan çimentonun üretici tarafından yapılan analiz değerleri Çizelge 4.62’de verilmiştir.

**Çizelge 4.62:** CEM I 42,5 R Çimentosuna ait kimyasal, fiziksel ve mekanik dayanım değerleri.

Analitler	Analiz Değerleri	TS 197-1:2012 Sınır Değerler
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	-
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3,13 g/cm <sup>3</sup>	-
Özgül Yüzey (g/cm <sup>2</sup> )	3370 g/cm <sup>2</sup>	-
İncelik (0,090 mm elek üstü malzeme %'si)	% 0,6	-

Çizelge 4.62 (devamı)

Hacim Sabitliği (mm)	0,5 mm	≤10 mm
Priz süresi (dk)	Başlangıç: 170 dk	≥ 60 dk
	Sona Erme: 270 dk	-
2 Gün. Basınç Dayanımı (MPa)	31,45 MPa	≥18 MPa
7 Gün. Basınç Dayanımı (MPa)	43,40 MPa	-
28 Gün. Basınç Dayanımı (MPa)	55,15 MPa	42,5-62,5 MPa

#### 4.4.1 Beton Karışım Dizaynı ve Numunelerin Hazırlığı

Beton dizaynı hesaplamasında su/çimento oranı 0,58 olarak tüm karışımlarda sabit olarak alınmıştır. Beton karışım suyu olarak, dış laboratuvarlarda beton karma suyu testi yapılmış ve beton üretimi için uygun değerlere sahip keson kuyu suyu kullanılmıştır. Ayrıca işlenebilirliği arttırmak ve su/çimento oranını sabit tutmak için akışkanlaştırıcı, su azaltıcı özellikteki (INKA BSC 950) kimyasal katkı kullanılmıştır. Çalışma alanından 3 farklı ocaktan alınan agregalarla 1'er m<sup>3</sup>'lük betonlar üretilmiştir. Beton karışım hesapları, TS 802 (TS, 2016)'da belirtilen abaklar ve grafikler yardımıyla, beton bileşenlerinin miktarları ise 1 m<sup>3</sup> sıkıştırılmış beton hacmi esasına göre ve yine TS 802 (TS, 2016) standardına istinaden, denklem (4.28) ve (4.29) ile hesaplanmıştır. Karışım miktarları, Çizelge 4.63'te toplu olarak verilmiştir. Betonda kullanılacak olan agregaların elek analizi sonuçları Çizelge 4.64, 4.65 ve 4.66'da, elek analizleri gradasyon eğrileri ise Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24'te verilmiştir. ASTM elekleriyle yapılmış olan elek analizlerinin sonucunda elde edilen karışım granülometrisi için, karışımda kullanılan en büyük agrega tane çapına göre (22 mm), TS 802 (TS, 2016) standardındaki B32 granülometri eğrisi alt-üst sınır değerleri baz alınarak enterpolasyon yöntemi karışım alt-üst limit değerleri hesaplanmış ve kullanılmıştır. Her bir ocağa ait agregaların granülometri analizlerine göre, tane dağılımlarının uygun olduğu görülmüştür.

$$\frac{c}{\rho_c} + \frac{p}{\rho_p} + \frac{k}{\rho_k} + W + \frac{W_a}{\rho_a} + 10 \times A = 1 \text{ m}^3 \quad (4.28)$$

$$\zeta = s / (s/\zeta) \quad (4.29)$$

$\zeta$  : Çimento kütlesi (kg) ,

$p$  : Çimentoya ek olarak kullanılacak mineral katkı kütlesi (kg) ,

$k$  : Çimentoya ek olarak kullanılacak kimyasal katkı kütlesi (kg),

$\rho_{\zeta}$  : Çimento yoğunluğu (kg/dm<sup>3</sup>) ,

$\rho_p$  : Mineral katkı malzemenin yoğunluğu (kg/dm<sup>3</sup>) ,

$\rho_k$  : Kimyasal katkı yoğunluğu (kg/dm<sup>3</sup>) ,

$W$  : Suyun hacmi (dm<sup>3</sup>) ,

$W_a$  : Agreganın kütlesi (kg) ,

$\rho_a$  : Agreganın ortalama özgül kütlesi (g/cm<sup>3</sup>) veya (kg/dm<sup>3</sup>) ,

$A$  : Beton içeriğindeki toplam hava yüzdesi (%)

$s$ : Karışıma girecek su kütlesi (kg)

$s/\zeta$  : Su/çimento oranı

Beton harcını hazırlamak için pan mikser kullanılmış ve pan mikserin içerisi su ile nemlendirilerek agrega gradasyonu 5 dakika süre ile karıştırılmış, daha sonra çimento katılarak üç dakika daha karışım devam ettirilmiştir. Daha sonra mikserdeki karışıma gerekli su ve katkı ilave edilerek karıştırma üç dakika daha sürdürülmüştür. Karışımın işlenebilirliğine ilişkin slump (çökme testi) yapılmıştır. Daha sonra el küreği ile beton karışımı içleri kalıp yağı ile yağlanmış 150 x 150 x 150 mm'lik üçer adet plastik küp numune kaplarına üç aşamada 25 kere şişlenmek ve plastik tokmakla çeperlerinden tokmaklanmak suretiyle yerleştirilmiş ve kaptan taşan betonlar mala ile masterlanarak yüzeyler düzlenmiştir. Hazırlanan numuneler, üzerlerine nemli telis bezi kapatılarak 24 saat süre saklanmıştır. Daha sonra kaplarından çıkarılan numuneler 22°C'lik kirece doygun ve en az % 95 nemli ortamda bulunan su dolu kür havuzuna konulmuştur. Beton örnekler 3-7-28 gün sonunda kür havuzundan çıkarılmış ve basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır.



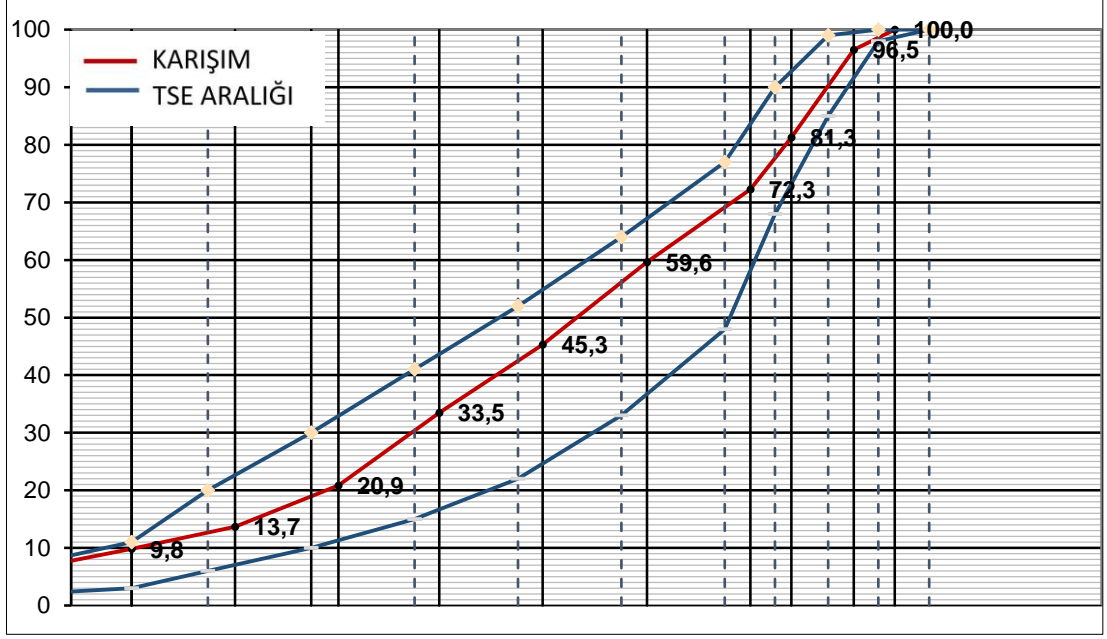
**Çizelge 4.63:** Üretimi yapılan betonlarda kullanılan çimento, su/çim, katkı oranları.

BETON ADI	ÇİMENTO		GRADASYON (%-kg)						Su/Çimento	Katkı	
	Tipi	Doz (kg)	0-5 mm		5-12 mm		12-22 mm			%	kg
			%	kg	%	kg	%	kg			
<b>B Beton</b>	CEM I 42,5 R	290	52	984	23	444	25	483	0,58	1,1	3,2
<b>K Beton</b>	CEM I 42,5 R	290	56	1066	18	346	26	500	0,58	1	2,9
<b>Z Beton</b>	CEM I 42,5 R	290	55	1037	22	425	23	444	0,58	0,9	2,6

**Çizelge 4.64:** Beton üretiminde kullanılan B ocağı agregası gradasyonu.

ASTM ELEKLERİ		Gradasyon				
		0-5 mm (%)	5-12 mm (%)	12-22 mm (%)	Alt-Üst Limit	Karışım
1 1/2"	38,1	100,0	100,0	100,0	<b>100 - 100</b>	100,0
1 1/4"	31,5	100,0	100,0	100,0	<b>100 - 100</b>	100,0
1"	25,4	100,0	100,0	100,0	<b>98 - 100</b>	100,0
3/4"	19,1	100,0	100,0	86,0	<b>85 - 99</b>	96,5
1/2"	12,7	100,0	100,0	25,0	<b>68 - 90</b>	81,3
3/8"	9,5	100,0	85,0	2,8	<b>48 - 77</b>	72,3
No:4	4,76	100,0	31,0	2,0	<b>33 - 64</b>	59,6
No:8	2,38	85,0	4,7		<b>22 - 52</b>	45,3
No:16	1,19	63,3	2,5		<b>15 - 41</b>	33,5
No:30	0,600	40,1			<b>10 - 30</b>	20,9
No:50	0,300	26,3			<b>6 - 20</b>	13,7
No:100	0,150	18,9			<b>3 - 11</b>	9,8
No:200	0,074	12,0			<b>2 - 7</b>	6,2

<b>Karışım oranları %</b>	<b>52</b>	<b>23</b>	<b>25</b>	<b>100,0</b>
---------------------------	-----------	-----------	-----------	--------------

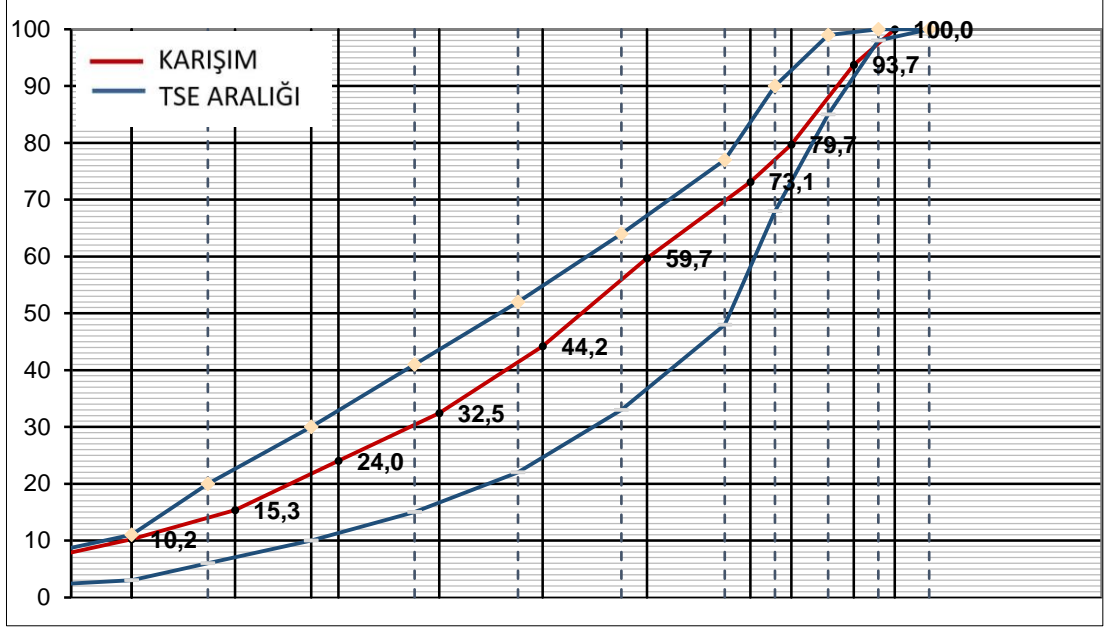


Şekil 4.22: B ocağı agregaları gradasyon eğrisi.

Çizelge 4.65: Beton üretiminde kullanılan K ocağı agregası gradasyonu.

ASTM ELEKLERİ		Gradasyon				
		0-5 mm (%)	5-12 m (%)	0-5 mm (%)	Alt-Üst Limit	0-5 mm (%)
1 1/2"	38,1	100,0	100,0	100,0	100 - 100	100,0
1 1/4"	31,5	100,0	100,0	100,0	100 - 100	100,0
1"	25,4	100,0	100,0	100,0	98 - 100	100,0
3/4"	19,1	100,0	100,0	75,9	85 - 99	93,7
1/2"	12,7	100,0	100,0	22,0	68 - 90	79,7
3/8"	9,5	100,0	92,3	2,0	48 - 77	73,1
No:4	4,76	98,4	24,8	0,6	33 - 64	59,7
No:8	2,38	76,3	8,3		22 - 52	44,2
No:16	1,19	56,0	6,1		15 - 41	32,5
No:30	0,600	42,9			10 - 30	24,0
No:50	0,300	27,4			6 - 20	15,3
No:100	0,150	18,3			3 - 11	10,2
No:200	0,074	11,0			2 - 7	6,2

<b>Karışım oranları %</b>	<b>56</b>	<b>18</b>	<b>26</b>	<b>100,0</b>
---------------------------	-----------	-----------	-----------	--------------

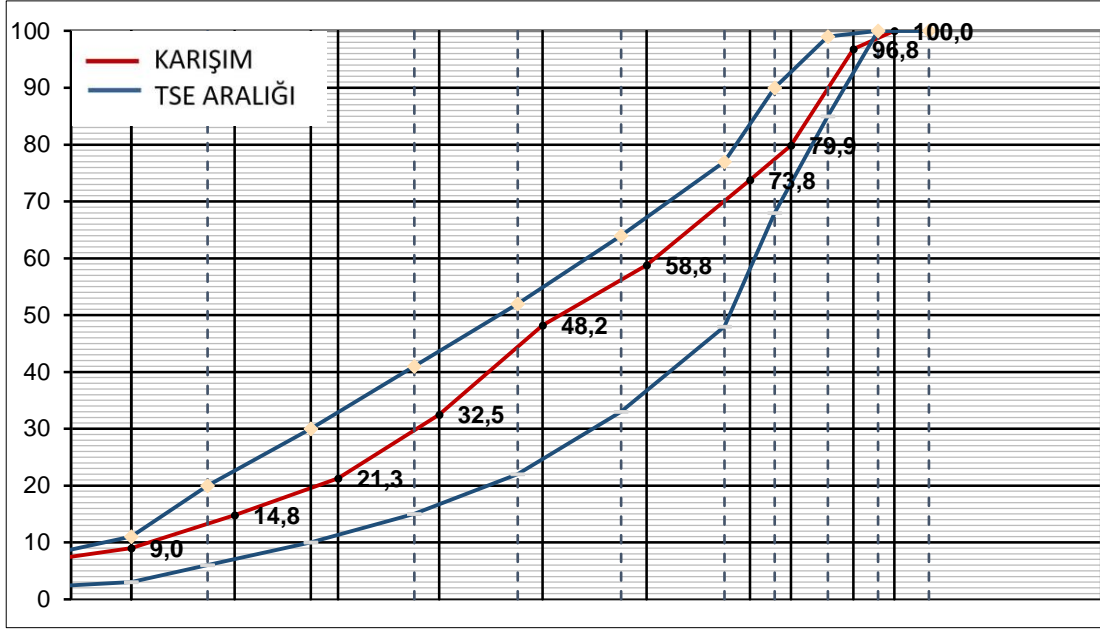


Şekil 4.23: K ocağı agregaları gradasyon eğrisi.

Çizelge 4.66: Beton üretiminde kullanılan Z ocağı agregası gradasyonu.

ASTM ELEKLERİ		Gradasyon				
		0-5 mm (%)	5-12 mm (%)	0-5 mm (%)	Alt-Üst Limit	0-5 mm (%)
1 1/2"	38,1	100,0	100,0	100,0	100 - 100	100,0
1 1/4"	31,5	100,0	100,0	100,0	100 - 100	100,0
1"	25,4	100,0	100,0	100,0	98 - 100	100,0
3/4"	19,1	100,0	100,0	86,1	85 - 99	96,8
1/2"	12,7	100,0	96,4	16,0	68 - 90	79,9
3/8"	9,5	100,0	78,2	6,9	48 - 77	73,8
No:4	4,76	100,0	13,4	3,7	33 - 64	58,8
No:8	2,38	85,0	3,6	2,8	22 - 52	48,2
No:16	1,19	59,1			15 - 41	32,5
No:30	0,600	38,7			10 - 30	21,3
No:50	0,300	26,9			6 - 20	14,8
No:100	0,150	16,4			3 - 11	9,0
No:200	0,074	11,5			2 - 7	6,3

Karışım oranları %	55	22	23	100,0
--------------------	----	----	----	-------



Şekil 4.24: Z ocağı agregaları gradasyon eğrisi.

#### 4.4.2 Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Belirli bir hacim esas alınmak suretiyle, birim hacimde sıkıştırılarak yerleştirilmiş taze betonun ağırlığının  $\text{kg/m}^3$  olarak hesaplanması ve taze beton içerisine hapsolan hava miktarının belirlenmesi amacıyla TS EN 12350-6 (TS, 2010d) standardı, silindir çubuk ile sıkıştırma yöntemi dikkate alınarak deney uygulanmış olup, taze beton  $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ 'lik numune kaplarına konmadan kapların ağırlığı tartılmış ve  $m_1$  (kg) olarak kaydedilmiştir. Daha sonra numune kabı taze beton ile sıkıştırılarak doldurulduktan sonra kap tartılmış ve kg olarak kaydedilmiştir ( $m_2$ ). Kabın haciminde hesaplanarak  $V$  olarak kaydedilmiştir. Taze betonun yoğunluğu ( $D$ )  $\text{kg/m}^3$  cinsinden denklem 4.30 ile hesaplanmıştır (Çizelge 4.67).

$$D = (m_2 - m_1) / V \quad (4.30)$$

#### 4.4.3 Çökme (Slump) Testi

Bu test TS EN 12350-2 (TS, 2010e) standardı doğrultusunda yapılmıştır. Beton karışımından el küreği ile alınan taze beton metal tepsi üzerine geniş ağzı altta kalacak

şekilde üzerine basılmak suretiyle sabitlenmiş kesik huni şekilli kalıp içerisine 3'te 1 oranında eşit tabaka kalınlıkta olacak şekilde üç aşamada her bir doldurma esnasında bir önceki tabakaya şiş girecek şekilde şişleme yapılarak tamamen doldurulmuştur. Sıkıştırma tamamlandıktan sonra, kalıp üst seviyesinden taşan fazla beton spatula ile sıyrılarak düz bir yüz oluşturulmuş ve tepsi üzerine dökülen betonlar temizlenmiştir. Daha sonra kalıp 2-5 s'de tamamen çekilecek hızda alınmıştır. Kalıbın alınmasına müteakip, kalıbın üst yüzeyi ile çökmüş olan beton ile koni arasındaki yükseklik farkı üç noktadan çelik metre ile ölçülmek suretiyle ortalama alınarak belirlenmiştir (Çizelge 4.67).



Şekil 4.25: Taze beton deneyleri ve taze betonun kalıplara yerleştirilmesi.

Çizelge 4.67: Taze beton deney sonuçları.

Beton Adı	Beton Sıcaklığı (°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Slump (mm)	Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )
<b>B Betonu</b>	17,5	20,4	200	2370
<b>K Betonu</b>	21,1	26,5	200	2377
<b>Z Betonu</b>	17,6	20,4	210	2369

#### 4.4.4 Beton Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı testi TS EN 12390-3, (TS, 2010f) standardı esaslarınca yapılarak 150x150x150 mm küp beton numularının 3, 7 ve 28 günlük dayanım sonuçları tespit edilmiştir. Deney numunesi, tek eksenli basınç yüklemesi prensibiyle çalışan beton press makinesinin yükleme plakaları arasına merkezlenecek şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra 0,6 MPa/s (N/mm<sup>2</sup>-s) sabit hızda, yükleme hızı sapma,  $\pm$  %10'u geçmeyecek şekilde yükleme yapılmıştır. Numunelerin kırılma anında göstergeden okunan en büyük yükleri kayıt altına alınmıştır.

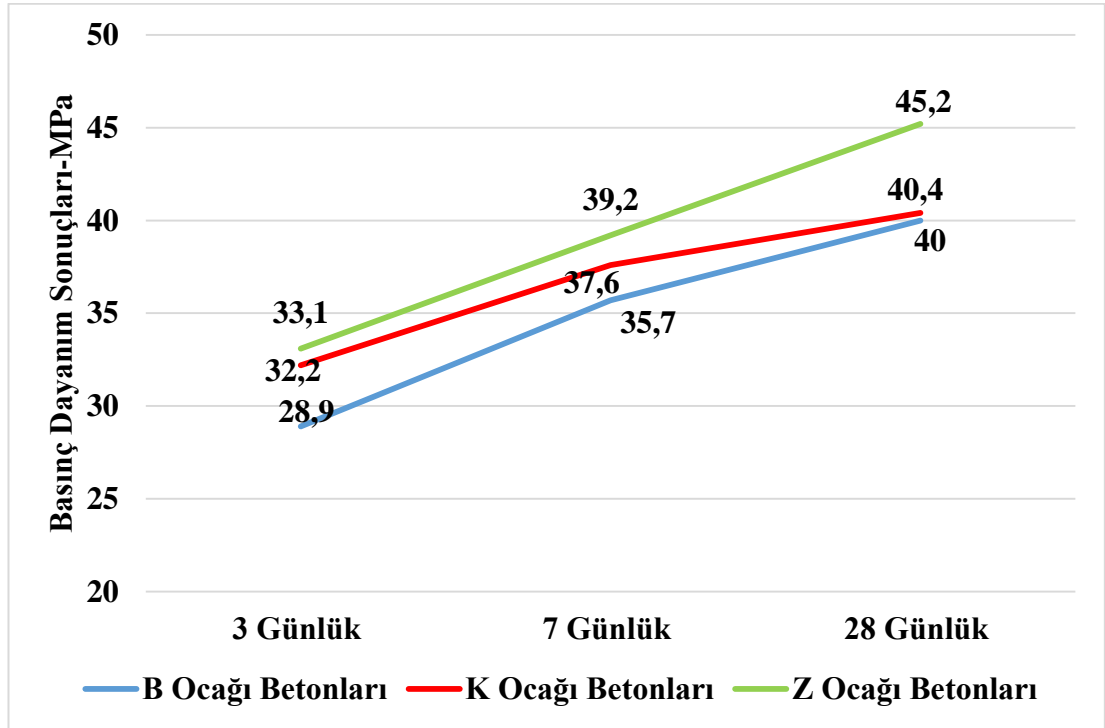


Şekil 4.26: Kür havuzu ve beton basınç dayanımı testi fotoğrafları.

Her üç ocaktan alınmış örneklerle üretilen betonların dayanım sonuçlarına bakıldığında 3. günde K ve Z betonu C25/30 basınç dayanımı sınıfına ulaşmıştır. B ocağı agregalarıyla üretilen beton 7. gün sonunda C25/30 dayanım sınıfı değerini vermiştir (Çizelge 4.68). Standart dayanım değeri 28 günlük sonuçlara baktığımızda ise en yüksek dayanımı 45,2 MPa ile Z ocağı agregalarıyla üretilen Z betonu, daha sonra 40,4 MPa ile K ocağı agregalarıyla üretilen K betonu ve son olarak en az dayanımı ise 33,1 MPa ile B ocağı agregalarıyla üretilmiş B betonu vermiştir.

**Çizelge 4.68:** Beton basınç dayanımı sonuçları.

Beton Adı	Dayanım (MPa)					
	3 Günlük	Ort. 3 Günlük	7 Günlük	Ort. 7 Günlük	28 Günlük	Ort. 28 Günlük
B Betonü	28,8	28,9	35,8	35,7	40,4	40
	29,0		35,7		39,0	
	28,9		35,5		40,6	
K Betonü	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 Betonü	33,4	33,1	39,4	39,2	45,6	45,2
	32,9		39,0		44,8	
	33,0		39,1		45,2	



**Şekil 4.27:** Üretilen betonların basınç dayanımları karşılaştırma grafiği.



## 5. SONUÇLAR

Tez kapsamında Manisa - Balıkesir illeri arasında kalan bölgede; Bakacak, Kızılören ve Kırkağaç yörelerinde yüzlek veren Triyas yaşlı kireçtaşlarından kırma taş üretimi yapılan agrega ocaklarından örnekleme yapılarak, öncelikle kireçtaşlarının petrografik ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra kireçtaşlarının malzeme özelliklerini ve kireçtaşlarından üretilen agregaların agrega kalitesini belirlemek için BS, TS, ASTM standartlarında ve ISRM’ce önerilen yöntemlerle fiziko-mekanik testler ve agrega testleri yapılmıştır. Son olarak malzeme özellikleri belirlenen agregalardan beton üretilmiş, üretilen taze ve sertleşmiş betonların özellikleri belirlenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- İncelenen kireçtaşları İzmir –Ankara Sütur Zonu içerisinde yer alan Triyas yaşlı kireçtaşlarıdır. Bakacak ve Kırkağaç yöresi kireçtaşları tümsele yakın oranda (%97 ve % 99) kalsit mineralinden oluşurken, Kızılören yöresine ait olanlar ise daha az oranda kalsit (% 95) minerali içermekte ve içerdiği dolomit minerali (% 5) nedeniyle dolomitik kireçtaşı karakteri göstermektedir.
- Bu kireçtaşları düşük poroziteli, orta derecede dirençli ( $I_{s50} = 2,34 - 2,90$  MPa) kayalardır. Bu kireçtaşlarından düşük su emme değerlerine ( $< \% 0,5$ ) sahip normal yoğunlukta ( $2400-2800$  kg/m<sup>3</sup>) agregalar elde edilebilmektedir.
- Kireçtaşları konkasör tesislerinde uygun yöntemlerle kırılıp üretildiklerinde köşeli (kübik şekilli) agregalar elde edilir. Tüm ocaklarda yüzeyleyen kireçtaşları üç aşamalı kırma ve by-pass (ön eleme sistemi) özellikli sistemlerle kırılmış ve yassılık indeksi değeri olarak % 10 ve daha küçük ( $FI_{15}$ ) ve şekil indeksi değeri olarak ise % 13 ve daha küçük değerlerde ( $SI_{15}$ ) agregalar elde edilmiştir.
- Bakacak ve Kırkağaç yöresi ocaklarından üretilen kireçtaşı agregalarının Los Angeles parçalanma ortalama değeri % 24 ( $LA_{25}$ ) iken Kızılören yöresi kireçtaşlarında bu değer % 28 ( $LA_{30}$ )’dur. Mikro deval aşınma değerleri ise tüm ocaklarda % 25 ( $MD_{25}$ )’den küçüktür.
- Aynı yöntemlerle elde edilmiş agregaların ince malzeme miktarını ifade eden metilen mavisi değeri ortalaması tüm ocaklarda % 0,75 den küçüktür. Tüm ocakları birbirleriyle karşılaştırdığımızda, Bakacak yöresi kireçtaşlarında bu oran diğer ocaklara göre az da olsa, daha fazla değerdedir.



- Dona dayanım (Magnezyum Sülfat) değerleri Kızılören agregalarında 0,77, Kırkağaç yöresi agregalarında % 0,66 iken Bakacak yöresi kireçtaşı agregalarında bu değer % 0,67'dir.
- Yöredeki ocaklardan üretilen agregalar alkali agrega reaksiyonuna neden olacak oranda silis içermediklerinden reaktif agregalar değildir.
- Yöredeki kireçtaşlarından elde edilen agregalar ile üretilen betonların erken yaştaki (7 günlük) dayanımları TS EN 206:2013+A1 (TS, 2017)' de belirtilen basınç dayanım sınıflamasına göre C25/30 sınıfı beton dayanımına ulaşmıştır. Standart yaştaki (28 günlük) beton dayanımları ise 40 ila 45 MPa değerlerini vermiştir. Üretilen betonların dayanım alma hızlarına baktığımızda ise B ocağı agregalarıyla üretilen betonun diğer ocak agregalarıyla üretilen betonlara nazaran az da olsa erken yaşlarda daha yavaş dayanım aldığı görülmüştür. Bu durumda, B betonun diğer betonlara göre daha geç priz alma hızına sahip olduğu söylenebilir.
- Sonuç olarak yöredeki, İzmir-Ankara Zonu'na ait Triyas yaşlı kireçtaşlarından üretilen agregalar birim ağırlıklarına göre normal agrega özelliğinde olup, normal dayanımlı beton üretimi için uygun özelliktedirler.

Bu çalışmada yapılan deney sonuçlarının ortalamaları aşağıdaki Çizelge 5.1'de toplu olarak verilmiştir.

**Çizelge 5.1:** Yapılan Deney Sonuçları

Deney		B Ocağı	K Ocağı	Z Ocağı	Numune Adeti	
Kireçtaşları Fiziksel Deneyleri	Kireçtaşlarının görünür yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	2703,5±7,862	2699,2±3,330	2687,6±6,852	5	
	Kireçtaşları açık gözeneklilik yüzdeleri (%)	0,199±0,059	0,255±0,017	0,373±0,198	5	
	Kireçtaşları su emme Yüzdeleri (%)	0,074±0,022	0,095±0,006	0,163±0,074	5	
	Ultrases Hız Deneyi (m/s)	Kuru	5943,2±82,6	5709,3±85,7	6001,9±120,6	4
		Doygun	6005,3±143,4	6081,1±106,1	6072,7±42,9	4
	Nokta Dayanım Yük İndeksi (MPa)	Kuru	2,94±0,814	2,34 ± 0,839	2,75 ± 0,892	15
Doygun		2,90±0,935	2,18 ± 0,634	2,50 ± 0,912	15	

Çizelge 5.1 (devam)

	Tek Eksenli Basınç Dayanım Deneyi (MPa)	81,533±3,697	64,243±6,167	96,848±11,618	4	
	Yassılık İndeksi (%)	10	9	9	4	
	Şekil İndeksi (%)	13,70±0,36	9,85±1,33	13,05±1,81	3	
	Gevşek Birim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	0-5 mm	1,578 ±0,048	1,593±0,022	1,603±0,004	8
		5-12 mm	1,466±0,013	1,447±0,015	1,450±0,014	8
		12-22 mm	1,416±0,007	1,419±0,002	1,419±0,001	8
	Sıkışık Birim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	0-5 mm	1,898±0,01	1,904±0,01	1,913±0,01	8
		5-12 mm	1,636±0,02	1,665±0,01	1,663±0,02	8
		12-22 mm	1,581±0,01	1,555±0,02	1,546±0,01	8
	Tane Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	0-5 mm	2,624±0,022	2,657±0,014	2,652±0,026	8
		5-12 mm	2,692±0,006	2,686±0,006	2,693±0,003	8
		12-22 mm	2,702±0,004	2,692±0,008	2,697±0,002	8
	Su Emme (%)	0-5 mm	1,31±0,2	1,30 ± 0,0	1,11 ± 0,2	8
		5-12 mm	0,56±0,2	0,60 ± 0,1	0,55 ± 0,1	8
		12-22 mm	0,35±0,1	0,46 ± 0,1	0,40 ± 0,1	8
	Dona Dayanıklılık (%)	0,67±0,15	0,77±0,36	0,66±0,26	8	
	Agrega Parçalanma Deneyi (%)	23,14±0,85	28,62±0,40	24,10±0,97	8	
	Micro Deval Aşınma Deneyi (%)	%23,73±0,72	22,84±0,96	24,50±0,44	3	
	Agrega Darbe Değeri (%)	22,034±1,702	24,562±1,369	22,708±1,075	15	
	Metilen Mavisini Deneyi (g)	Maks.	1	1	0,75	8
		Min.	0,25	0,50	0,25	
		Ort.	0,66±0,23	0,72±0,16	0,50±0,19	
	Kil Topağı Tayini (%)	0-5 mm	0,235±0,183	0,075±0,064	0,028±0,008	6
		5-12 mm	0,094± 0,048	0,135±0,233	0,010±0,005	6
		12-22 mm	0,077±0,045	0,145±0,282	0,008±0,003	6
	Organik Madde Tayini	0-5 mm	Açık Renk	Açık Renk	Açık Renk	1
	Alkali Silika Reaksiyonu (%)	3 Gün	0,004	0,006	0,005	3
		7 Gün	0,009	0,010	0,008	3
		14 Gün	0,014	0,018	0,010	3

Çizelge 5.1 (devam)

Betón Deneyleri	Betón Sıcaklığı (°C)		17,5	21,1	17,6	3
	Betón Slumpı (mm)		200	200	210	3
	Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )		2370	2377	2369	3
	Betón Basınç Dayanımı (MPa)	3 Gün Ort.	28,9	32,2	33,1	3
		7 Gün Ort.	35,7	37,6	39,2	3
		28 Gün Ort.	40	40,4	45,2	3

## 6. KAYNAKLAR

Akyürek, B. ve Soysal, Y., (1978). Kırkağaç – Soma (Manisa) – Savaştepe – Korucu – Ayvalık – (Balıkesir) – Bergama – (İzmir) Civarının Jeolojisi, *MTA Jeoloji Dairesi*, Rapor No:6432.

Arslantaş B., (2009). Karaburun Kireçtaşı Taşocakları Atıklarının Agregat Kaynağı Olarak Kullanılmasının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, İzmir.

Anonim, (2013). Karayolu Teknik Şartnamesi, *Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları*, 351/18, Ankara.

ASTM C 136, Standard Test Method For Sieve Analysis of Fine And Coarse Aggregates, *American Society for Testing and Materials*, (2014).

ASTM C 142, Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates, *American Society for Testing and Materials*, (2017).

ASTM C33/C33M-18, Standard Specification for Concrete Aggregates, *American Society for Testing and Materials*, (2018).

Baradan B., (2006). Yapı Malzemesi II, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, No:207(8),71.

BS 812-112, Testing aggregates. Method for determination of aggregate impact value (AIV), *British Standards Institution*, London, (1990).

CAN/CSA-A23.2-25A-14, Test Method for Detection of Alkali-Silica Reactive Aggregate by Accelerated Expansion of Mortar Bars, *Canadian Standards Association*, (2014).

Çağlayan M., Haberveren S., İpekoğlu B., Kurşun I. (1999). Beton Yapımında Kullanılan Agregaların Özellikleri ve Örnek Bir Kuruluş "İSTON", 2. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, ISBN B.L6.0.KGM.O.63.O0.03/606, İstanbul.

Çomak B., (2007). Isparta Yöresinde Çıkarılan ve Beton Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta.

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 Special Weapons Center, Kirtland Air Force Base, New Mexico.

Doğan S. (2006). Zonguldak-Sapça Taş Ocağı Agregalarının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.

Elçi,H. (2011). Karaburun Yöresi Doğal Yapı Taşlarının Mühendislik Jeolojisi. Doktora Tezi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, İzmir.

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.

Eroğlu, İ. ve Bozyiğit R. (2012). Yunt Dağı ve çevresinin jeomorfolojik özelliklerine tektonik-vulkanik unsurların etkileri, *Marmara Coğrafyası Dergisi*, 25, 32-59.

Erol G., (2008). Boztepe Taş Ocağı Malzemesinin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Maden İşletme Anabilim Dalı, Isparta.

Ersoy, Y., Dindi, F., Karaoğlu, Ö. Ve Helvacı, C. (2012). Soma Havzası ve Çevresindeki Miyosen Volkanizmasının Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, Batı Anadolu, Türkiye, *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 33 (1), 59-80.

Folk, R.L., (1962), *Spectral Subdivision of Limestone Types- In W.E. Ham (ed.), Classification of Carbonate Rocks*; Amer. Assoc. Petroleum Geologist Mem., 1,62-83.

Güneyli A., (2010). Adana ve Çevresinde Üretilen Agregaların Beton Üretiminde Kullanılabilirlikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.

Kula M., (2008). Edirne Yöresindeki Bazı Agregalar ve Taşocakları Malzemelerinin Beton ve Beton-Asfalt Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Namik Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ.

Keleş İ., (2009). Zonguldak - Bartın Arasındaki Yılanlı Formasyonu Dolomitik Kireçtaşlarının Agregalar Olma Özellikleri ve Beton Üretiminde Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak.

Keskin G., (2011). Cendere Vadisi Kayaçlarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Karaman K. ve Kesimal K. (2012). *Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmininde Nokta Yüğü Deney Yöntemleri ve Porozitenin Değerlendirilmesi*, Cilt.51, Sayı. 4; 3 - 13.

MTA (1978) 1/25.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Balıkesir-J19d3 Paftası, Ankara.

MTA, 1/25.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Balıkesir-I19c1 Paftası, Ankara.

MTA 1/25.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Balıkesir-J19a3 Paftası, Ankara.

Özbek A. (2016). Kahramanmaraş ve çevresindeki kireçtaşlarının mühendislik özellikleri ve agregalar olarak kullanılabilirliği, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 146-155.

Pehlivan, Ş., Duru, M., Dönmez, M., Ilgar, A., Akçay, A., Erdoğan, K. ve Özer, D. (2007) “MTA 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Balıkesir İ-19 Paftası”, *MTA Jeoloji Dairesi*, Rapor No:96.

TS 10088 EN 932-3, Agregaların genel özellikleri için deneyler-Kısım 3: Basitleştirilmiş petrografik tanımlama için işlem ve terminoloji, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1997).

TS EN 932-1, Agregaların genel özellikleri için deneyler-Kısım 1 numune alma metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1997).

TS EN 932-2, Agregaların genel özellikleri için deneyler-Bölüm 2: Laboratuvar numunelerin azaltılması metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1999).

TS EN 1097-3, Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler-Bölüm 3:Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1999).

TS 706 EN 12620+A1, Beton Agregaları Deneyleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2009).

TS EN 933-4, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 4: Tane şeklinin tayini - Şekil endeksi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2009).

TS EN 1936, Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2010).

TS EN 1097-2, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2010).

TS 2517, Agregaların potansiyel alkali silis reaktifliğinin tayini - Kimyasal yöntem, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2010).

TS EN 12350-2, Beton - Taze beton deneyleri-Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2010).

TS EN 12390-3, Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2010).

TS EN 12350-6, Beton-Taze beton deneyleri-Bölüm 6: Yoğunluk, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2010).

TS EN 1097-1, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro-Deval), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2011).

TS EN 1367-2, Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler-Bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2011).

TS EN 933-3, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 3: Tane Şekli Tayini - Yassılık Endeksi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2012).

TS EN 1097-6, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2013).

TS EN 1926, Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Tek eksenli basınç dayanımı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2013).

TS EN 1744-1+A1, Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Kimyasal analiz, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2013).

TS EN 933-9+A1, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 9: İnce malzeme tayini-Metilen mavisi deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2014).

TS EN 13755, Doğal taşlar - Deney yöntemleri-Atmosfer basıncında su emme tayini” *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2014).

TS 802, Beton karışım tasarımı hesap esasları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2016).

TS EN 206:2013+A1, Beton - Özellik, performans, imalat ve uygunluk, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2017).

Ulusay, R.,Gökçeoğlu, C. ve Binal, A., *Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, (2001).

[Url-1]-Bakacak Yöresinin İklim Verileri [online]. (15.02.2019), <https://tr.climate-data.org/>

[Url-2]-Bölgenin genel jeoloji haritası [online]. (23.03.2019), <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx/>

[Url-3]-Kırkağaç Yöresinin İklim Verileri [online]. (15.02.2019), <https://tr.climate-data.org>

[Url-4]-Kızılören Yöresinin İklim Verileri [online]. (15.02.2019), <https://tr.climate-data.org/> .



[Url-5]-Küleççi, G., Agrega Darbe Dayanımı Deneyi [online]. (11 Aralık 2018), [http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/maden\\_15f6c.pdf/](http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/maden_15f6c.pdf/)

Ünsal A., Şen H., *Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri*, TC. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 2-16-100-101, (2008).

Varol, O., V., Türkmenoğlu M. ve Türkmenoğlu, Z. F. (2016). Van İli Tabanlı Mevkii Kireçtaşlarının Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 146-151.

Williams, D.M., & Mcnamara, K. (1992). Limestone to dolomite to dedolomite conversion and its effect on rock strength: a case study, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 24, 131-135.

Yıldırım, M. ve Yılmaz, I. (2002). Yıldız Irmağı çökellerinin beton agregası olarak kullanılabilirliklerinin incelenmesi, *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A- Yer Bilimleri C*. 19(2), 181-192.

Yılmaz, F., Kotka, S., ve Sabah, E. (2011). Emirdağ-Adaçal (Afyonkarahisar) Kireçtaşlarının Beton Agregaları Standardına Uygunluğunun Araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(015801), 1-12.

Yüksel, K., A. ve Çona, A. (2014). Rahmanlar Aglomerası'na (Yağcılı/Manisa) ait ince taneli malzemelerin jeoteknik özellikleri ve düzenli katı atık sahalarında kullanılabilirliği, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(1), 14-26.