

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEBZE TAVŞANLI KİREÇTAŞI İLE KANDIRA BABAKÖY
BAZALTI KIRMATAŞ AGREGALARININ BETON AGREGASI
OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

HÜSEYİN AKYILDIRIM

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEBZE TAVŞANLI KİREÇTAŞI İLE KANDIRA BABAKÖY
BAZALTI KIRMATAŞ AGREGALARININ BETON AGREGASI
OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

HÜSEYİN AKYILDIRIM

Doç. Dr. Ahmet KARAKAŞ
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Dr. Öğr. Üyesi Özkan CORUK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Doç. Dr. Hasan YILDIRIM
Jüri Üyesi, İTÜ

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 19.01.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

- ☐ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.
- ☒ Bu tez çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı, İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarı ve İSMAİL DEMİRTAŞ Beton A.Ş. tarafından alt yapı desteği (laboratuvar kullanımı) alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Hüseyin AKYILDIRIM

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- ☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Hüseyin AKYILDIRIM

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Beton üretiminde, kireçtaşı kökenli kaya hammaddelerinden üretilen agregalar sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle yapılaşma faaliyetlerinin arttığı Kocaeli ve İstanbul’da beton ve dolayısıyla agrega ihtiyacı oldukça fazladır. Bu artan talep doğrultusunda agrega üretiminde, farklı kayaç türlerinin agrega kalitesi belirlenerek, beton agregası olarak kullanılabilirliği incelenmesi gerekmektedir. Bu tez kapsamında beton üretiminde yaygın olarak kullanılan Gebze kireçtaşı agregaları yanı sıra farklı türdeki Kandıra bazalt agregalarının beton agregası olarak kullanılabilirlikleri normal ve yüksek dayanımlı betonlarda karşılaştırılmıştır.

Bu konuda bana çalışma fırsatı veren, yüksek lisans ve tez çalışmam boyunca engin hoşgörüsü ve tecrübeleri ile her türlü desteği sağlayan değerli danışman hocam Doç. Dr. Ahmet KARAKAŞ’a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bana yardımcı olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Özkan CORUK’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez konusunda eşsiz bilgi ve birikimlerini benden esirgemeyen, değerli önerileriyle çalışmayı yönlendiren ve tez kapsamında yaşadığım maddi manevi sorunlar karşısında bana İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvarı imkânlarını sunan değerli hocam Doç. Dr. Hasan YILDIRIM’a çok teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım laboratuvar ve malzeme imkânı sağlayan İsmail Demirtaş Beton A.Ş. Kalite Müdürü Hakkı YILDIRIM’a teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmaları sırasında göstermiş oldukları yardımlardan dolayı, İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvarı çalışanlarına ve teknisyen Oktay YALÇINKAYA’ya, İsmail Demirtaş Beton A.Ş. çalışanlarına ve teknisyen Koray TUĞ’a teşekkür ederim.

Tez aşamasında petrografik araştırmalarda yardımlarını esirgemeyen sevgili lisans arkadaşlarım Araş. Gör. Cemre AY’a, Araş. Gör. İnal DEMİRKAYA’ya ve Eralp BOZKIR’a teşekkür ederim.

Petrografik incelemeler için XRD ve XRF analizleri konusunda desteğini esirgemeyen Öğr. Gör. Zeyni ARSOY’a teşekkür ederim.

Tüm çalışmalarım ve yüksek lisans eğitimim boyunca her zaman beni dinleyen, fikir ve önerilerini esirgemeyen ve tez yazım aşamasında yanımda olan dostum Yüksek Jeoloji Mühendisi Anıl ATAKAN’a teşekkür ederim.

Yaşamımın her anında yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, kıymetli babam Osman AKYILDIRIM, canım annem Gönül AKYILDIRIM, abim Hasan AKYILDIRIM ve kardeşim Enes AKYILDIRIM’a teşekkürü borç bilir, şükranlarımı sunarım.

Ocak – 2022

Hüseyin AKYILDIRIM

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. İncelemenin Amacı.....	2
1.2. İnceleme Alanı.....	3
1.3. Önceki İncelemeler.....	4
1.3.1. Ulusal Düzeyde Yapılan İncelemeler.....	4
1.3.2. Uluslararası Düzeyde Yapılan İncelemeler.....	9
2. BÖLGESEL JEOLojİ VE İNCELEME ALANININ JEOLojİSİ.....	12
2.1. Önceki Jeolojik İncelemeler	12
2.2. Bölgesel Jeoloji	13
2.3. İnceleme Alanının Jeolojisi	18
2.3.1. Gebze Bölgesi	18
2.3.1.1. Kapaklı Formasyonu.....	18
2.3.1.2. Erikli Formasyonu	19
2.3.1.3. Hereke Formasyonu.....	20
2.3.1.4. Tepecik Formasyonu.....	21
2.3.2. Kandıra Bölgesi.....	22
2.3.2.1. Akveren Formasyonu.....	22
2.4. Bölgesel Tektonik Konum.....	24
3. AGREGA VE BETON İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER.....	26
3.1. Beton Agregası Tanımı.....	27
3.1.1. Agregaların Sınıflandırılması.....	27
3.1.1.1. Kökenlerine Göre Agregalar.....	27
3.1.1.2. Boyutlarına Göre Agregalar.....	29
3.1.2. Agregalarda Numune Alma Yöntemi	30
3.1.3. Agregaların Fiziksel Özellikleri	30
3.1.3.1. Granülometri (Tane Büyüklüğü Dağılımı)	31
3.1.3.2. Agregada Nem (Rutubet) Durumu	32
3.1.3.3. Özgül Ağırlık	34
3.1.3.4. Agrega Tane Şekli	35
3.1.4. Agregaların Mekanik Özellikleri	36
3.1.4.1. Agreganın Aşınmaya Karşı Dayanımı	36
3.1.4.2. Agreganın Parçalanmaya Karşı Dayanımı.....	37
3.1.4.3. Agregaların Basınç Dayanımı.....	37
3.1.4.4. Agregalarda Dona Dayanıklılık	37
3.1.5. Agregalarda Bulunabilecek Zararlı Maddeler.....	39
3.1.5.1. Organik Maddeler	39
3.1.5.2. İnce Maddeler (Yıkanabilir Maddeler)	39

3.1.6. Alkali Agregası Reaksiyonu (AAR)	40
3.1.6.1. Alkali Silika Reaksiyonu (ASR)	41
3.2. Betonun Tanımı	42
3.2.1. Betonların Sınıflandırılması	44
3.2.2. Betonun Oluşturan Malzemeler	44
3.2.2.1. Beton Karışım Suyu	44
3.2.2.2. Çimento	45
3.2.2.3. Katkı Maddeleri	45
3.2.3. Betonun Bileşimi	45
3.2.4. Taze Betonun Özellikleri	47
3.2.5. Sertleşmiş Betonun Özellikleri	48
3.2.6. Betonun Üretim Süreci	48
4. MALZEME VE YÖNTEM	50
4.1. Malzeme	50
4.2. Arazi Çalışmaları	51
4.3. Laboratuvar Çalışmaları	51
4.4. Büro Çalışmaları	52
5. AGREGA VE BETON İLE İLGİLİ DENEYSEL ÇALIŞMALAR	54
5.1. Agregaların Fiziksel ve Mekanik Deneyleri	55
5.1.1. Tane Büyüklüğü Dağılımı	55
5.1.2. Özgöl Ağırlık ve Su Emme	59
5.1.3. Metilen Mavisi Deneyi	62
5.1.4. Yassılık Endeksi	63
5.1.5. Parçalanmaya Karşı Dayanım (Los Angeles Oranı)	65
5.1.6. Aşınmaya Karşı Dayanım (Mikro-Deval Oranı)	66
5.1.7. Donmaya Karşı Dayanıklılık (Magnezyum Sülfat Deneyi)	67
5.1.8. Kaya Malzemelerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı	68
5.2. Agregaların Kimyasal Özellikleri	71
5.3. Agregaların Mineralojik ve Petrografik Özellikleri	72
5.3.1. Gebze Bölgesi Kireçtaşlarının Makroskobik Tanımlama	72
5.3.2. Gebze Bölgesi Kireçtaşlarının Mikroskobik Tanımlama	72
5.3.3. Kandıra Bölgesi Bazaltlarının Makroskobik Tanımlama	76
5.3.4. Kandıra Bölgesi Bazaltlarının Mikroskobik Tanımlama	76
5.4. Kireçtaşı ve Bazalt Agregalarının Alkali Agregası Reaksiyonu	78
5.4.1. Hızlandırılmış Harç Çubuğu Yöntemi	78
5.4.2. Kimyasal Analiz Yöntemi	79
5.5. Beton Araştırmaları	81
5.5.1. Deneme Betonlarda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	81
5.5.1.1. Çimento Özellikleri	81
5.5.1.2. Agregası Özellikleri	82
5.5.1.3. Kimyasal Katkı Özellikleri	83
5.5.1.4. Karma Suyu	84
5.5.2. Agregası Karışımının Granülometrisi	84
5.5.3. Beton Karışımları ve Üretimleri	85
5.5.4. Taze Beton Deneyleri	86
5.5.4.1. Çökme Deneyi	86
5.5.4.2. Birim Ağırlık Deneyi	87
5.5.5. Sertleşmiş Beton Deneyleri	88

5.5.5.1. Basınç Dayanımı Deneyi	88
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	92
6.1. Fiziksel ve Mekanik Deney Sonuçları.....	92
6.1.1. Tane Büyüklüğü Dağılımı	92
6.1.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme	93
6.1.3. Metilen Mavisi Deneyi.....	93
6.1.4. Yassılık Endeksi.....	94
6.1.5. Parçalanmaya Karşı Dayanım (Los Angeles Oranı)	94
6.1.6. Aşınmaya Karşı Dayanım (Mikro-Deval Oranı).....	95
6.1.7. Donmaya Karşı Dayanıklılık (Magnezyum Sülfat Deneyi)	95
6.1.8. Kaya Malzemelerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı	95
6.2. Agregaların Kimyasal Özellikleri.....	95
6.3. Agregaların Mineralojik ve Petrografik Özellikleri	96
6.4. Kireçtaşı ve Bazalt Agregalarının Alkali Agregat Reaksiyonu	96
6.4.1. Hızlandırılmış Harç Çubuğu Yöntemi	96
6.4.2. Kimyasal Analiz Yöntemi.....	96
6.5. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	97
6.5.1. Çökme Deneyi Sonuçları	97
6.5.2. Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları	97
6.6. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	97
6.6.1. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları	97
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	100
KAYNAKLAR.....	103
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	111
ÖZGEÇMİŞ.....	112

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	İnceleme alanı yer bulduru haritası	4
Şekil 2.1.	Gebze Tavşanlı kireçtaşı ocağının görünümü	14
Şekil 2.2.	Gebze ocağının kırma-eleme tesisi	14
Şekil 2.3.	Gebze Taşocakları ve civarının jeoloji haritası (Eren ve diğ., 1996'den değiştirilerek hazırlanmıştır).	15
Şekil 2.4.	Gebze taşocakları alanı ve civarı genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Ölçeksiz).....	16
Şekil 2.5.	Kandıra Babaköy bazalt ocağının görünümü	17
Şekil 2.6.	Kandıra Bölgesi'nin inceleme alanının jeoloji haritası (Çelebi ve Köprübaşı 2007'den değiştirilerek hazırlanmıştır).....	17
Şekil 2.7.	Kandıra Bölgesi'nin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Ölçeksiz)	18
Şekil 2.8.	Erikli Formasyonunda gözlenen kumlu kireçtaşları.....	19
Şekil 2.9.	Hereke Formasyonunda gözlenen dolomitik kireçtaşları.....	20
Şekil 2.10.	Tepecik Formasyonunda gözlenen kireçtaşı seviyeleri.....	21
Şekil 2.11.	Akveren Formasyonunda gözlenen bazaltların mostra görüntüsü	23
Şekil 2.12.	Çangaza Volkaniklerine ait andezitik bazaltların görünümü	23
Şekil 3.1.	İri agregalara ait örnekler	29
Şekil 3.2.	İnce agregalara ait örnekler	29
Şekil 3.3.	Elek analizi deney ekipmanları	31
Şekil 3.4.	Agregalar için ideal tane boyu dağılımı eğrisi	32
Şekil 3.5.	Agrega tanelerinin nem durumları (Ün, 2007).....	33
Şekil 3.6.	2019 yılı ERMCO' ya ülkelerin hazır beton üretimi	42
Şekil 3.7.	Türkiye'de yıllara göre toplam hazır beton üretimi	43
Şekil 3.8.	Beton karışımında kullanılan malzemelerin oranları (Arıoğlu ve diğ., 2006)	46
Şekil 4.1.	Kireçtaşı ve bazalt örneklerinin görünümü	50
Şekil 4.2.	Agrega ve beton deneylerinde kullanılan malzemeler	51
Şekil 4.3.	Çalışma yöntemi akış diyagramı	53
Şekil 5.1.	Gebze kireçtaşlarından elde edilen kırmataş agregaların granülometri eğrileri	58
Şekil 5.2.	Gebze kireçtaşlarından elde edilen kırmataş agregaların granülometri eğrileri	58
Şekil 5.3.	Kandıra bazaltlarından elde edilen kırmataş agregaların granülometri eğrileri	59
Şekil 5.4.	Kandıra bazaltlarından elde edilen kırmataş agregaların granülometri eğrileri	59
Şekil 5.5.	Kireçtaşı ve bazalt agregalarının özgül ağırlığı değerlerinin değişimi.....	60
Şekil 5.6.	Kireçtaşı ve bazalt agregalarının su emme oranlarının değişimi	62
Şekil 5.7.	Metilen mavisi deneyi ve deneye ait leke kartları	62
Şekil 5.8.	Kireçtaşı ve bazalt agregalarının metilen mavisi değerlerinin değişimi.....	63
Şekil 5.9.	Kireçtaşı ve bazalt agregalarının yassılık endeksi değerlerinin değişimi.....	64
Şekil 5.10.	Los Angeles deneyinin uygulanışı	65

Şekil 5.11.	Kireçtaşı ve bazalt agregalarına ait Mikro-Deval aşınma oranı ve Los Angeles parçalanma oranı değerlerinin değişimi	67
Şekil 5.12.	Agregaların kütle kaybı değerlerinin değişimi	68
Şekil 5.13.	Tek eksenli basınç dayanımı deneyinin uygulanışı	70
Şekil 5.14.	Bazalt numunesinin toplam alkali ve silis içeriğine karşı silis diyagramında sınıflandırılması (Le Bas ve diğ., 1986)	71
Şekil 5.15.	Kireçtaşı birimi ince kesit görünümü (a: kalsit ve dolomit kristalleri - tek nikol, b: kalsit ve dolomit mineralleri - çift nikol)	73
Şekil 5.16.	Kireçtaşı birimi ince kesit görünümü (a: kalsit mineralleri ve oolitik kireçtaşları - tek nikol, b: kalsit mineralleri ve oolitik kireçtaşları - çift nikol)	74
Şekil 5.17.	Kireçtaşı birimi ince kesit görünümü (a: kalsit ve kuvars mineralleri - tek nikol, b: kalsit ve kuvars mineralleri - çift nikol)	74
Şekil 5.18.	Kireçtaşı ince kesit görünümü (a: fosil kavkaları ve kalsit mineralleri - tek nikol, b: fosil kavkaları ve kalsit mineralleri - çift nikol)	75
Şekil 5.19.	KRÇ-1 numunesine ait XRD grafiği ve içeriği oluşturan minerallerin % dağılımı	75
Şekil 5.20.	KRÇ-2 numunesine ait XRD grafiği ve içeriği oluşturan minerallerin % dağılımı	76
Şekil 5.21.	Bazalt birimi ince kesit görünümü (a: yarı özşekilli piroksen mineralleri ve plajiyoklaz mineralleri - tek nikol, b: yarı özşekilli piroksen mineralleri ve plajiyoklaz mineralleri - çift nikol)	77
Şekil 5.22.	Bazalt birimi ince kesit görünümü (a: piroksenlerin etrafında kloritleşme ve plajiyoklaz mineralleri - tek nikol, b: piroksenlerin etrafında kloritleşme ve plajiyoklaz mineralleri - çift nikol)	77
Şekil 5.23.	Bazalt numunesine ait XRD grafiği ve içeriği oluşturan minerallerin % dağılımı	78
Şekil 5.24.	İncelenen kireçtaşlarının boy uzama oranları	79
Şekil 5.25.	İncelenen bazalt agregalarının kimyasal analiz sonuçlarının grafik gösterimi	80
Şekil 5.26.	Agrega numuneleri ile yapılan karışım tasarımı granülometrileri	85
Şekil 5.27.	Taze betonda çökme deneyinin uygulanışı	86
Şekil 5.28.	Kireçtaşı ve bazalt agregalarına ait çökme değerleri	87
Şekil 5.29.	Kireçtaşı ve bazalt agregalarına ait birim ağırlık değerleri	87
Şekil 5.30.	Beton numunelerinin hazırlanması	89
Şekil 5.31.	Kirece doymuş suda bekletilen beton numuneleri ve kür uygulaması	90
Şekil 5.32.	Üretilen deneme betonlarda basınç dayanımı deneyinin uygulanışı	90
Şekil 6.1.	Kireçtaşı ve bazalt agregalarına ait beton basınç dayanımı değerleri	99

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3. 1.	Kırmataş hammaddelerinin jeolojik sınıflandırılması (Lefond, 1985)	28
Tablo 3. 2.	Dona dayanıklılık deneyinde agregada yer alabilecek maksimum ağırlık kayıpları (%)	38
Tablo 3.3.	Çimento hamuru, harç ve betonun genel tanımı	43
Tablo 5. 1.	Tez kapsamında yapılan deneyler ve ilgili standartlar	54
Tablo 5. 2.	Gebze kireçtaşı agregalarının elek analizi sonuçları	55
Tablo 5. 3.	Gebze kireçtaşı agregalarının elek analizi sonuçları	56
Tablo 5. 4.	Kandıra bazalt agregalarının elek analizi sonuçları	56
Tablo 5. 5.	Kandıra bazalt agregalarının elek analizi sonuçları	57
Tablo 5. 6.	Agregalarda doymuş yüzey kuru özgül ağırlığı	60
Tablo 5. 7.	Agregalarda su emme oranı	61
Tablo 5. 8.	İncelenen kırma kumların metilen mavisi değerleri	63
Tablo 5. 9.	Kireçtaşı ve bazalt agregalarının yassılık endeksi değerleri	64
Tablo 5. 10.	İncelenen agregaların Los Angeles aşınma değerleri	65
Tablo 5. 11.	İncelenen agregaların Mikro-Deval aşınma değerleri	66
Tablo 5. 12.	Agregaların kütle kaybı değeri	67
Tablo 5. 13.	Kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması (Deere ve Miller, 1966)	69
Tablo 5. 14.	Kayaç malzemelerinin tek eksenli basınç dayanım değerleri	70
Tablo 5. 15.	Kireçtaşı ve bazalt numunelerinin kimyasal ana oksit yüzdeleri	71
Tablo 5. 16.	Hereke Formasyonuna ait kireçtaşlarının petrografik özellikleri (Folk, 1962)	73
Tablo 5. 17.	İncelenen kireçtaşının genleşmeye bağlı boy uzama oranları	79
Tablo 5. 18.	İncelenen bazalt agregalarının kimyasal analiz sonuçları	80
Tablo 5. 19.	Beton karışımında kullanılan çimentonun özellikleri	81
Tablo 5. 20.	Deneme betonlarda kullanılan agregaların tane boyu dağılımı	82
Tablo 5. 21.	Deneme betonlarda kullanılan agregalara ait özellikler	83
Tablo 5. 22.	Üretilen deneme betonların karışım miktarları	85
Tablo 5. 23.	Taze beton özellikleri	88
Tablo 5. 24.	Sertleşmiş beton özellikleri	91
Tablo 6. 1.	İncelenen agregaların elek analizi sonuçları	92
Tablo 6. 2.	Deney sonuçlarına göre kireçtaşı ve bazalt agregalarının sınır değerlerine uygunluğu	94

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Numunenin alanı
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
CaO	: Kalsiyum Oksit
Dyk	: Doygun yüzey kuru
Dmax	: Maksimum dane çapı
Fc	: Kırılma anındaki maksimum yük
Fe ₂ O ₃	: Demir Oksit
FI	: Yassılık Endeksi
g	: Gram
kg	: Kilogram
K ₂ O	: Potasyum Oksit
LA	: Los Angeles Katsayısı
m	: 1,6 mm göz açıklı elek üzerinde tutulan agreg a kütlesi
MB	: Metilen Mavisi değeri
M _{DE}	: Mikro-Deval katsayısı (yaş olarak)
MDE	: Mikro-Deval Katsayısı
Mg/m ³	: Miligram/metreküp oranı
MgO	: Magnezyum Oksit
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
MPa	: Megapaskal
M ₁	: Deney numune kısmının kütlesi, gram
Na ₂ O	: Sodyum Oksit
S _a	: Agreganın özgül ağırlığı
SiO ₂	: Silisyum Oksit
t/m ³	: Ton/metreküp oranı
V ₁	: İlave edilen boya çözeltisinin toplam hacmi, ml
WA ₂₄	: Agreganın suya daldırıldıktan 24 saat sonra su emme oranı
W _{dyk}	: Agreganın doyg un, yüzey kuru durumundaki ağırlığı
W _k	: Agreganın tamamen kuru durumundaki ağırlığı
W ₁	: Numunenin ağırlığı
W ₂	: Su ile dolu ölçü kabının ağırlığı
W ₃	: İçine numune konmuş, su dolu kabın ağırlığı
σ _c	: Kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı
°C	: Santigrat

Kısaltmalar

AAR	: Alkali Agrega Reaksiyonu
A.Z	: Ateş Zayi atı
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ASR	: Alkali Silika Reaksiyonu
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Birliğı)
BZLT	: Bazalt

BZLT-1	: Bazalt 1
BZLT-2	: Bazalt 2
CEM I 42,5 R	: Dayanımı 42,5 MPa olan yüksek erken dayanımlı Portland Çimentosu
D-B	: Doğu-Batı
ERMCO	: European Ready Mixed Concrete Organization (Avrupa Hazır Beton Birliği)
HCl	: Hidroklorik asit
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KD	: Kuzey Doğu
KD-GB	: Kuzey Doğu-Güney Batı
KRÇ-1	: Kireçtaşı 1
KRÇ-2	: Kireçtaşı 2
MTA	: Maden Tetkik Arama Enstitüsü
TS	: Türk Standardı
UCS	: Uniaxial Compressive Strength (Tek Eksenli Basınç Dayanımı)
XRD	: X-Ray Diffraction (X-Işını Kırılması)
XRF	: X-Ray Fluorescence (X-Işını Floresansı)

GEBZE TAVŞANLI KİREÇTAŞI İLE KANDIRA BABAKÖY BAZALTI KIRMATAŞ AGREGALARININ BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada, Kocaeli'nin Gebze Tavşanlı bölgesindeki kireçtaşları ile Kandıra Babaköy bölgesindeki bazaltlarının jeolojik ve petrografik özelliklerinin yanı sıra standart agrega deneyleri ve beton deneyleri yapılarak normal ve yüksek dayanımlı betonlarda agrega olarak kullanılabilirlikleri karşılaştırılmıştır. Gebze ve Kandıra bölgesindeki kırmataş ocaklarının mostrasından alınan kaya numunelerinin jeolojik ve petrografik özellikleri incelenmiş, kimyasal analiz (XRF) ve XRD analizi ile birlikte detaylı kayaç analizi yapılmıştır. Ayrıca kaya malzemelerinin tek eksenli basınç dayanımı da belirlenmiştir. Bu kaya numunelerinin boyut küçültme ve sınıflandırma işlemine tabii tutulması ile elde edilen agrega numunelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri standart agrega deneyleri yapılarak incelenmiştir. Kireçtaşı ve bazalt agregalarının alkali agrega reaksiyonu yönünden değerlendirebilmek için kireçtaşı agregaları üzerinde hızlandırılmış harç çubuğu yöntemi ve bazalt agregaları üzerinde ise kimyasal analiz yöntemi uygulanmıştır. İncelenen agrega örnekleriyle çimento dozajları farklı iki deneme betonu üretilmiştir. Çalışmada, kireçtaşı agregaların ince ve iri agregaları ile bazalt agregaların iri agregaları kullanılarak hazırlanan beton numuneleri üzerinde taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında, normal dayanımlı betonlarda en yüksek dayanımı Gebze kireçtaşı agregalı betonların, yüksek dayanımlı betonlarda ise en yüksek dayanımı Kandıra bazalt agregalı betonların verdiği görülmüştür. İncelenen agregaların petrografik özelliklerinin yanı sıra agrega özellikleri ve beton deneyleri sonucunun normal ve yüksek dayanımlı betonlarda değerlendirildiğinde; Gebze kireçtaşı agregalarının ince ve iri agrega olarak, Kandıra bazalt agregalarının ise iri agrega olarak kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bazalt, Beton Agregası, Kireçtaşı, Mekanik Özellikler.

COMPARISON OF GEBZE TAVŞANLI LIMESTONE AND KANDIRA BABAKÖY BASALT CRUSHED STONE AGGREGATES AS CONCRETE AGGREGATE

ABSTRACT

In this study, besides the geological and petrographic properties of limestones in Kocaeli's Gebze Tavşanlı region and basalts in Kandıra Babaköy region, standard aggregate tests and concrete tests were carried out and their usability as aggregates in normal and high strength concretes were compared. The geological and petrographic properties of the rock samples taken from the outcrop of the crushed stone quarries in the Gebze and Kandıra regions were examined, and a detailed rock analysis was carried out together with the chemical analysis (XRF) and XRD analysis. In addition, uniaxial compressive strength of rock materials was determined. The physical, chemical and mechanical properties of the aggregate samples obtained by subjecting these rock samples to size reduction and classification processes were investigated by performing standard aggregate tests. In order to evaluate the limestone and basalt aggregates in terms of alkali aggregate reaction, accelerated mortar bar method was applied on limestone aggregates and chemical analysis method was applied on basalt aggregates. Two trial concretes with different cement dosages were produced with the analyzed aggregate samples. In the study, fresh and hardened concrete tests were carried out on concrete samples prepared using fine and coarse aggregates of limestone aggregates and coarse aggregates of basalt aggregates. When the 28-day compressive strengths of the concretes produced according to the test results were compared, it was seen that Gebze limestone aggregate concretes gave the highest strength in normal strength concretes and Kandıra basalt aggregate concretes gave the highest strength in high strength concretes. When the petrographic properties of the analyzed aggregates as well as the aggregate properties and the results of concrete tests are evaluated in normal and high strength concrete; It was concluded that Gebze limestone aggregates can be used as fine and coarse aggregates, and Kandıra basalt aggregates can be used as coarse aggregates.

Keywords: Basalt, Concrete Aggregate, Limestone, Mechanical Properties.

1. GİRİŞ

Beton üretiminde, kireçtaşı kökenli kaya hammaddelerinden üretilen agregalar sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle yapılaşma faaliyetlerinin arttığı Kocaeli ve İstanbul'da beton ve dolayısıyla agrega ihtiyacı oldukça fazladır. Yapıların güvenliği için beton kalitesi çok önemlidir. Agregalar, beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturduğundan kaliteli beton üretimi için önemli bir bileşendir (Erdoğan, 2021). Gelişen teknoloji ile birlikte yapılarda orta ve yüksek dayanımlı betonlar kullanılabilmektedir. Normal dayanımlı betonlarda agregalar mekanik özelliklerini beton yapısına tam manasıyla aktaramamaktadır. Ama yüksek dayanımlı betonlarda düşük su/çimento oranından dolayı, çimento hamuru ve agrega karmaşık biçimde çalışmakta ve agrega türünün betona etkisi artmış olmaktadır. Dolayısıyla artan beton sınıfı ile birlikte agreganın kalitesinin de arttırsak daha ekonomik ve kaliteli beton üretimi yapabilmek söz konusu olacaktır.

Beton çok farklı alanlarda kullanımı olan yaygın bir yapı malzemesidir. Beton ekonomik olması, bileşenlerin doğada bol miktarda bulunabilmesi, yerel ürün olması, istenilen şekli alabilmesi, dayanım ve dayanıklılığının yüksek, maliyetinin düşük olması ve üretiminde az enerji kullanımı gibi birçok olumlu özellikleri ile en çok kullanılan yapı malzemesidir. Bu yapı malzemesinde araştırma ve geliştirme ile inovasyon çalışmalarına gereken önem verildikçe, betonun teknolojik olarak her geçen gün daha özellikli, yaygın ve farklı alanlarda kullanımı kaçınılmaz olacaktır.

Kireçtaşı, bazalt ve andezit gibi hammadde ocaklarından delme-patlatma yöntemiyle gevşetilen kayaçların kırma eleme tesislerinde boyut küçültme ve sınıflandırma işlemine tabii tutulması neticesinde agrega ortaya çıkar. Agregaların büyük bir kısmı, kırmataş ocakları ile kum ve çakıl yataklarından üretilmektedir. Agregalar; betonun iskeletini oluşturan kum, çakıl ve kırmataş karışımından oluşan organik olmayan malzemelerdir. Çimento, su ve kimyasal katkı malzemesi ile karıştırıldığında beton elde edilmektedir. Agrega betonda bir dolgu malzemesi olarak kullanılmakta ve maliyeti çimento maliyetinden düşüktür. Agregalar ekonomik olması ile birlikte betona önemli teknik avantajlar da sağlar; beton daha az hacim değişikliğine, çevre etkilere karşı daha çok dayanıklılığa ve daha yüksek dayanıma sahip olur. Agregalar beton malzemesi, dolgu malzemesi ve yol yapımında asfalt malzemesi olarak yaygın kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Kocaeli ili Gebze ve Kandıra Bölgeleri'ndeki agrega ocaklarında üretilen kireçtaşı ve bazalt agregalarının beton agregası olarak kullanılabilirlikleri karşılaştırılmıştır. İncelemelere ilk olarak saha çalışmaları ile başlanmıştır. Çalışma alanlarının kırmataş ocaklarının mostrasından alınan kaya numunelerden ince kesitler hazırlanarak polarizan mikroskobu ile mineralojik ve petrografik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca kayaçların mineralojik bileşimlerini teyit etmek amacıyla kimyasal analiz (XRF) ve XRD analizleri de yapılmıştır.

Çalışma kapsamında standart agrega deneylerinin yapılabilmesi için Gebze ve Kandıra Bölgeleri'nde bulunan agrega üretiminin yapıldığı kırmataş üretim tesislerinden alınan, farklı boyutlardaki agregaların TS 706 EN 12620 Standardına uygun olarak yapılan deneylerle fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Gebze kireçtaşı agregaları üzerinde hızlandırılmış harç çubuğu yöntemi ve Kandıra bazalt agregaları üzerinde ise kimyasal analiz yöntemi ile alkali agrega reaksiyonu deneyleri yapılmıştır.

İncelenen kireçtaşı ve bazalt agregalarının beton özelliklerine etkilerinin araştırılması amacıyla kireçtaşları ve bazalt agregaları kullanılarak, çimento dozajları farklı (300 kg/m^3 ve 450 kg/m^3) iki farklı deneme betonları üretilmiştir. Beton karışımları için agregalarda uygun granülometri belirlenmiş, aynı tür kum ve çimento kullanılmış ve su/çimento oranı sabit tutulmuştur. Üretilen betonlarda taze beton deneyleri olarak çökme deneyi ve birim ağırlık, sertleşmiş beton numunelerine ait ise basınç dayanım deneyi yapılmıştır.

1.1. İncelemenin Amacı

Betonun özellikleri, betonu oluşturan malzemeler tarafından belirlenmektedir. Beton içinde hacimsel olarak %60-75 oranında bulunan agrega malzemesi ve çimento malzemesinin kayaçlardan elde edilmesiyle sebebiyle beton, petrografik açıdan kayaçlara benzemektedir. Çalışmada beton tasarımı yapılırken agreganın hangi kayaçtan elde edildiğine vurgu yapılmak amaçlanmıştır. Çünkü her kayacın kendine özgü mühendislik özellikleri ve davranışları vardır. Kayaçların davranış farklılıkları, betonun dayanım ve durabilitesini etkilemektedir.

Bu çalışma kapsamında Gebze ve Kandıra Bölgeleri'ndeki agrega ocaklarında üretilen kireçtaşı ve bazalt agregalarının mineralojik ve petrografik özellikleri, kimyasal analiz (XRF) ve XRD analizi ile birlikte detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Bu özelliklerle birlikte

bölgede bulunan kırma-eleme tesislerinden elde edilen farklı boyutlardaki kireçtaşı ve bazalt agregaların; fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri ile alkali agrega reaksiyon riskinin belirlenmesi ile betonda kullanımının uygunluğu araştırılmıştır. Ayrıca incelenen agregalar kullanılarak, beton özelliklerine etkilerinin araştırılması amacıyla deneme betonlar üretilerek kireçtaşı ve bazalt agregalarının normal ve yüksek dayanımlı betonda kullanılabilirlikleri karşılaştırılmıştır.

1.2. İnceleme Alanı

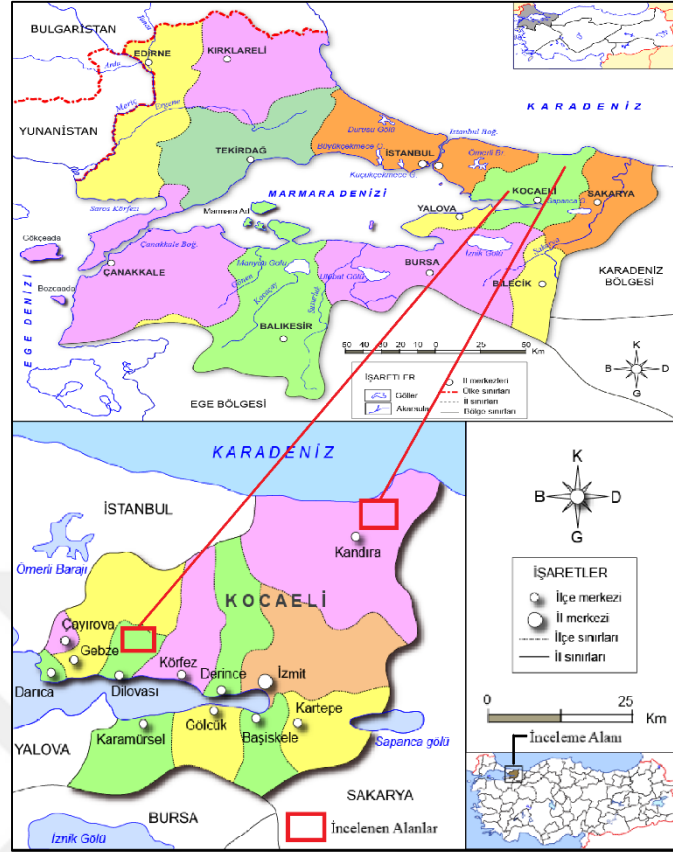
İnceleme alanı Marmara Bölge'sinin doğusunda bulunmaktadır. Kuzeyinde Karadeniz, kuzeybatı ve batısında İstanbul İli, doğusunda Sakarya İli, güneyinde İzmit Körfezi yer almaktadır.

İnceleme alanı Kocaeli ilinin güneybatısında yer alan Gebze ve kuzeydoğusunda yer alan Kandıra Bölgelerini kapsar (Şekil 1.1).

Gebze Bölgesi: İstanbul-İzmit E5 Devlet Karayolu'nun kuzeyinde İstanbul'a 60 km uzaklıktadır. İzmit'e ise 48 km uzaklıktadır. Batısında Çayırova İlçesi ve İstanbul ili, doğusunda Körfez ve Derince İlçeleri ve güneyinde İzmit Körfezi yer alır.

Gebze bölgesinde özel bir maden firması tarafından işletilen kireçtaşı ocakları; Kocaeli-Gebze İlçesi, Tavşanlı Köyü Taşocakları mevkiinde yer almaktadır. Bölge, jeolojik süreçlerle aşınmaya maruz kaldığından engebeli bir morfoloji sunmaktadır. Bölgenin yaklaşık olarak yüz ölçümü 424 km²'tir.

Kandıra Bölgesi: Kuzeyden Karadeniz sahili ile sınırlı olup, doğusunda Sakarya İli ve batısında ise İstanbul İli (Şile ilçesi) yer almaktadır. İzmit'e 45 km uzaklıktadır. İstanbul'a ise 148 km uzaklıktadır. Bu bölgede incelenen, özel bir maden firması tarafından işletilmiş olan Babaköy bazalt taşocakları; Kandıra'nın kuzeyinde yer almaktadır. Bölgenin yaklaşık olarak yüz ölçümü 933 km²'tir.



Şekil 1. 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası

1.3. Önceki İncelemeler

Çalışma konusu kapsamında, geçmiş yıllarda çeşitli yazarlar tarafından yapılan çalışmalar, ulusal düzeyde ve uluslararası düzeyde incelemeler olmak üzere iki başlıkta incelenmiştir.

1.3.1. Ulusal Düzeyde Yapılan İncelemeler

Erdoğan (1993) çalışmasında İstanbul ve dolayının yapay agrega potansiyelini araştırmıştır. Bölge kayaçlarının agrega özelliklerini inceleyerek farklı kırıcı tiplerinin agrega kalitesine olan etkilerini incelemiştir. Araştırmalar sonucunda agrega tane boyunun küçültükçe kusurlu agrega tane oranlarının arttığını belirtmiştir.

Eren ve diğ. (1996) Kocaeli-Gebze Tavşanlı Köyü dolayındaki kireçtaşlarının jeolojisi incelenmiş, rezerv analizi yaptıkları çalışmada kireçtaşlarının İstanbul için önemine vurgu yapmışlardır. İşletmeciliğe esas olan Hereke Formasyonu'nun petrografik özellikleri incelenmiş ve formasyonun esas olarak kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı

olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca formasyonun bölgedeki tektonizma etkisi ile kırıklı ve kıvrımlı bir hal aldığını ve ayrışma olaylarının arttığını ve kolaylaştığını vurgulamışlardır.

Özturan ve Çeçen (1997) “Farklı Dayanımdaki Betonların Mekanik Özelliklerine İri Agregat Tipinin Etkileri” adlı araştırmalarında, kireçtaşı, bazalt ve iri kum (çakıl) iri agregaları kullanılarak hazırlanan betonlarda en yüksek dayanımı bazalt agregaları betonlar göstermiş, en düşük dayanımı ise iri kum (çakıl) agregaları betonların sağladığını belirtmişlerdir.

Taşdemir (1998) iki farklı kökenli kireçtaşı ile yaptığı çalışma da beyaz kireçtaşı içeren betonlar, gri kireçtaşı içerenlere göre daha yüksek mukavemet göstermiştir. Bu durumu, beyaz kireçtaşının elastik olarak daha uyumlu olmasına ve agrega-matriks yüzeyinde daha üniform gerilme dayanımları oluşturmaya bağlı olduğunu savunmuştur.

Tokyay (1998) dört farklı iri agreganın (granit, diyabaz, kireçtaşı ve dere çakılı) yüksek dayanımlı betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemek için bu agrega tiplerinden betonlar hazırlamıştır. Basınç dayanımı en düşük olan kireçtaşı ile hazırlanan betonlar en yüksek dayanım elde edilmiştir.

Halili ve Gözübol (1999) Kocaeli-Gebze Tavşanlı köyü civarında işletilen ve geniş yayılım gösteren Hereke formasyonunun kırmataş özellikleri ve agrega özelliklerini belirlemek amacıyla teknolojik özelliklerini incelemişlerdir. Yazarlar, Hereke formasyonunun bölgede yoğun tektonizmadan dolayı kırıklı ve çatlaklı oluşu, teknolojik ve kimyasal özelliklerinin uygun sınırlar aralığında olması nedeniyle birimin kırmataş olarak değerlendirilmesinin daha doğru olacağını belirtmişlerdir.

Korkanç ve Tuğrul (2003) “Niğde Yöresi Bazaltlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği” adlı araştırmalarında, bölgedeki bazaltların petrografik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra, standart agrega deneyleri yapılarak beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. İncelenen bazaltların deney sonuçları değerlendirildiğinde, Karataş volkaniklerine ait bazaltların diğer bazaltlara göre fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından, beton agregası olarak özel bir öneme sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Zarif ve diğ. (2003) İstanbul'da bulunan kireçtaşlarının agrega kalitesi yönünden değerlendirdikleri araştırmalarında, bileşim ve dokusal olarak farklılıkları nedeniyle ortaya çıkan değişik özellikli kireçtaşlarının agrega olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. İncelenen kireçtaşlarının jeolojik, kimyasal ve agrega özellikleri bakımından uygun özellikte olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla İstanbul'un kireçtaşları agrega olarak kullanılabilir özellikte olduğunu vurgulamıştır.

Dursun (2004) Gebze ve Hereke bölgelerinde yüzeylenen Hereke formasyonundan üretilen kireçtaşı agregalarının özelliklerini değerlendirmiştir. Çalışmada kireçtaşlarının petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri yanı sıra jeomekanik özellikleri de belirlenmiştir. Elde edilen veriler ile kireçtaşlarının hem jeomekanik hem de agrega olarak kullanım özelliklerinin uygun olduğunu vurgulamıştır.

Güler (2006) İstanbul'un Avrupa yakasındaki kumtaşları ve kireçtaşlarının jeolojik ve petrografik özelliklerinin yanı sıra yapılan standart agrega deneyleri ve beton deneyleri ile yüksek dayanımlı betonda agrega olarak kullanılabilirlikleri detaylı olarak karşılaştırmıştır. Bu çalışmada Ayazağa, Cebeci ve Çatalca Bölgesi'ndeki kırmataş ocaklarında bulunan farklı agregaların beton özelliklerine etkilerini değerlendirmek amacıyla standart agrega deneyleri ve beton deneyleri yapılmıştır. İncelenen kumtaşı ve kireçtaşı agregaların petrografik özellikleri ile agrega özelliklerinin yüksek dayanımlı beton agregası olarak kullanılabilir özellikte olduğunu belirtmiştir.

Yitik (2006) çalışmasında 4 farklı kayaç türlerine ait 0-2 mm arası ince agregaların metilen mavisi değerleri ile aynı kayaçlardan hazırlanan betonlar arasında ilişkiyi araştırmıştır. Agregaların metilen mavisi değeri arttıkça, hazırlanan betonların basınç dayanımlarında, yarmada çekme dayanımlarında, aşınma miktarlarında, ultra ses hızı ilerlemesinde ve beton çekici sıçrama değerlerinde azalma olduğunu ifade etmiştir.

Apaydın (2007) çalışmasında beş farklı kökenli (bazalt, kumtaşı, dolomit, beyaz kalker ve mavi kalker) agreganın ve kırma kum kullanımının taze ve sertleşmiş betona etkilerini araştırmıştır. Beton karışımına giren ince agrega miktarı değiştirilerek, çimento dozajı ve katkı oranı sabit tutularak 15 farklı deneme beton

üretimi yapılmıştır. Farklı agregalar ile hazırlanan betonlarda, bazalt agregası ile üretilen betonların en yüksek basınç dayanımına ulaştığını belirtmiştir.

Hasdemir (2007) Marmara Bölgesindeki doğal kumların jeolojik, mineralojik ve kimyasal özelliklerinin ile standart agrega deneyleri yapılmış ve betonda ince agrega olarak kullanılabilirliği araştırmıştır. İncelenen kumların içerdiği çok ince malzemenin türü ince agreganın kalitesini önemli oranda etkilediğini belirtmiştir. Çalışmada kumların mineralojik bileşimi uygun olsa da, beton üretiminde kullanılan doğal kumların, özgül yüzey alanı, incelik modülü, tane boyu dağılımı ve maksimum tane boyu dikkate alınarak, kumların beton karışımında yüzdelerinin belirlenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Tuğrul ve diğ. (2008) İstanbul'un Anadolu yakasında yüzeylenen Ordovisiyen yaşlı Kurtköy Formasyonuna ait kumtaşlarının beton agregası olarak kullanılabilirliğini değerlendirmişlerdir. Çalışmada yapılan beton deneyleri ile ince agregasının bir bölümü ile iri agregasının tamamı kumtaşlarından oluşan beton örneklerinin dayanımı, ince agregasının tamamı referans kireçtaşı ile iri agregasının tamamı kumtaşlarından oluşan beton örneklerinin dayanımından daha düşüktür. Dolayısıyla kumtaşlarının agrega ihtiyacının artacağı dönemlerde, yüksek dayanımlı betonlar dışında, iri agrega olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Kara ve diğ. (2009) İstanbul da bulunan, kireçtaşından ve kumtaşından agrega üretimi yapılan taş ocağındaki kayaç değişimlerinin agrega kalitesi ve beton özelliklerine etkisini araştırmışlardır. İncelenen ocakta kireçtaşı ve kumtaşlarının bulunduğu alanlar ayırtlanarak, ocağın 1/3000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası hazırlanmıştır. Kireçtaşı agrega ve beton özellikleri bakımından kumtaşlarından daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca yazarlar seçici ocak işletmeciliği yapılabildiği kesimlerden kaliteli agregalar üretilabileceğini ve bu agregalarla üretilen betonlarında kaliteli olabileceğini vurgulamışlardır.

Güler ve diğ. (2010) İstanbul'un Avrupa yakasındaki Ayazağa-Cebeci-Çatalca bölgelerindeki taş ocaklarından alınan kumtaşları ve kireçtaşlarının jeolojik özellikleri yanı sıra, standart agrega ve beton deneyleri ile agrega kalitesi dikkate alınarak beton agregası olarak kullanılabilirlikleri karşılaştırmışlardır. Elde edilen

veriler sonucunda; incelenen agregalar kimyasal, fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özellikleri yönünden beton agregası olarak kullanımının uygun olduğu ve kireçtaşlarının çimento hamuru ile olan iyi aderansı ile beton agregası olarak kullanılmalarının daha uygun olduğunu vurgulamışlardır.

Keskin (2011) İstanbul'un Ayazağa bölgesindeki Cendere vadisi kayaçları beton agregası olarak incelemiştir. Çalışmada kayaçların beton agregası olabilirliğini incelerken, agrega özellikleri ile agreganın elde edildiği kayaç özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Sonuç olarak, Cendere vadisi agregalarının, ince madde ve alkali miktarının yıkanması gerektiği ve alkali silika reaksiyonu önleyici yöntemlerle önlem alınırsa, Cendere vadisi kayaçlardan uygun şartlarda ve kalitede beton agregası üretilebileceğini belirtmiştir.

Gürsel ve Erenson (2017) araştırmalarında, 24 farklı kayaç kullanılarak numuneler üzerinde basınç, çekme, ultrasonik ses iletimi hızı ve Schmidt çekici deneyleri yapmışlardır. Değerlendirmeler sonucunda; yüksek dayanımlı betonlarda kullanılacak agregaların kayaç petrografik özelliklerinin tek başına agrega kalitesini belirlemede yeterli olmadığına önce mekanik özelliklerle yeterlilik sağlanıp sonra petrografik inceleme ile agrega kalitesinin desteklenmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Yılmaz ve diğ. (2017) İstanbul Kemerburgaz Bölgesinde bulunan Cendere Agrega tesisinde ince malzeme yıkama sisteminin, ince agrega kalitesini araştırmışlardır. Çalışmada agrega ocağında Trakya formasyonuna ait kumtaşları agrega olarak kullanılmıştır. Üretilen ince agregalar (0-5 mm) üzerinde, yıkama prosesine girmeden önce ve sonrasında fiziksel testler yapılmıştır. Elde edilen verilere göre, başlangıçta ince agregalarda çok ince malzeme içeriği %10-15 seviyelerinden, yıkama sonucunda %3-5 seviyelerine düşmüştür. Yıkama prosesinden geçen agregaların fiziksel özelliklerinde iyileşmeler görülmüş ve ayrıca bu agregalar ile üretilen betonların taze beton özelliklerinde, önemli ölçüde iyileşme olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar, yıkama tesisinin ince agregaların kalitelerini oldukça iyileştirdiğini ve üst sınıf beton üretiminde kullanılabilir hale geldiğini de belirtmişlerdir.

Kürüm (2019) “Elazığ ve Yakın Çevresindeki Kayaçların Beton Agregası Olabilirliğinin İncelenmesi” adlı çalışmasında, bölgedeki gabro, granit, kireçtaşı ve bazalt kayaçların jeolojik, petrografik, kimyasal özellikleri ile birlikte standart agregada deneyleri de yapılarak beton agregası olabilirliği ortaya konmuştur. Çalışmada elde edilen veriler sonucunda Kömürhan Ofiyolitleri’nin gabroları, Elâzığ Magmatitleri’nin granitleri, Seske Formasyonu’nun kireçtaşları ve Karabayır Formasyonu’nun bazaltlarının agregada kullanımının sakıncalı olduğunu ve diğer kayaçların özellikleri agregada kullanımına uygun olduğunu belirtmiştir.

1.3.2. Uluslararası Düzeyde Yapılan İncelemeler

Fookes (1980) çalışmasında agregaların fiziksel-mekanik özelliklerinin betonun dayanımına ve dayanıklılığına olan etkilerini araştırmıştır. Araştırmacı, betonda kullanılan agregalar için, agregada özelliklerine ait limit değerlerin hangi sınırlar arasında olması yönünde değerlendirmelerde bulunmuştur.

Al-Jassar ve Hawkins (1991) Bristol’e yakın olan kireçtaşı ocaklarından aldıkları numuneler üzerinde petrografik, kimyasal ve mineralojik özelliklerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda kireçtaşlarının litolojik özelliklerinin dirençlerini etkilediğini, özellikle alkali-karbonat reaksiyonunun, direnci önemli oranda düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Fookes (1991) kayaların agregada kullanımında ayrışma özelliklerinin önemli oranda etkili olduğunu ifade etmiştir. Araştırmacı, kayaların mühendislik özellikleri ile agregada darbe dayanımları, agregada olma niteliklerini etkileyen önemli parametreler olduğunu vurgulamıştır.

Murdock ve diğ. (1991) kireçtaşı üzerinde yaptıkları çalışmada, kalsiyum karbonat kökenli, sert ve yoğun kireçtaşlarının beton üretimine en uygun kayaç olduğunu ve yüksek oranda magnezyum karbonat içeren dolomitik kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanımının uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Williams ve McNamara (1992) Kireçtaşlarının farklı bileşimleri üzerinde çalışma yapan araştırmacılar, kireçtaşlarındaki bileşim değişimlerinin bunların dirençlerini etkilediğini belirtmişlerdir.

Uribe-Afif (1994) kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Ayırışma olayının kayaçların agrega kalitesini etkilediğini ve beton agregası olarak kullanılacak malzemelerin %7'den fazla kil minerali içermemesi gerektiğini vurgulamıştır. Kil oranının arttıkça betonun mukavemetinin düştüğünü belirtmiştir.

Gutierrez ve Canovas (1996) çalışmalarında, yüksek dayanımlı betonlarda karışım oranları ve malzeme seçimi için bazı önerilerde bulunmuşlardır. Çalışmalarda 6 farklı agreganın beton kıvamı ve dayanımına etkilerini araştırmışlardır. Betonun kıvamını en çok etkileyen agrega özelliğinin su emmesi olduğunu ve su emmelerinin yakın olması durumunda işlenilebilmeyi etkileyen diğer faktörlerin ise tane şekli, tane boyu dağılımı, maksimum tane boyutu gibi özelliklerin olduğunu ifade etmişlerdir.

De Larrard ve Belloc (1997) çalışmalarında beton sınıfına göre agrega tercihinin yapıldığı takdirde, normal ve yüksek dayanımlı betonda daha iyi sonuçlar elde edilebileceğini vurgulamışlardır.

Tasong ve diğ. (1998) kireçtaşı, bazalt, kuvarsit ve silis kumu gibi değişik malzemelerin beton agregası olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalar sonucunda; seçilen örneklerin çimento hamuru ile kimyasal etkileşimlerinin birbirinden farklı olduğunu ifade etmişlerdir.

Poitevin (1999) kireçtaşı agregaları ile hazırlanan betonların kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada kireçtaşı agregalarının betonda kullanılabilirliğinin en önemli özelliklerinden birinin Los Angeles parçalanma dayanımı olduğunu belirtmiş ve alkali-agrega reaksiyonu tehlikesi nedeniyle detaylı ve sistematik incelemeler yapılması gerektiğini ifade etmiştir.

Smith ve Collis (2001) özellikle İngiltere olmak üzere çeşitli Avrupa ülkelerinin agregaları hakkında özet bilgiler içeren bir kitap hazırlamışlardır. Kitap 13 bölüm ve ardından fiziksel ve mekanik toplam özellikleri gösteren bir ek, bir sözlük ve bir indeks içermektedir. Agregası kaynaklarının jeolojisi, agregaların incelenmesi ardından agregaların çıkarılması ve işlenmesi, tanımlanması ve sınıflandırılması gibi aşamalar şekiller ile açıklayıcı bir şekilde anlatılmaktadır. Ayrıca agregalar kullanım alanlarına göre ayrılmış ve değerlendirmeler kaya türlerine göre yapılmıştır.

Beshr (2003) çalışmasında iri agreganın dört çeşidinin (kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kuvarsit, kireçtaşı ve çelik cürufu), yüksek dayanımlı betonun sıkışma ve çekme dayanımı ve elastisite modülü üzerindeki etkilerini ortaya koymayı amaçlamıştır. En yüksek basınç dayanımını çelik cürufunun, en düşük basınç dayanımını ise kireçtaşı kullanılarak hazırlanan betonlarda elde edilmiştir. İri agreganın türünün betonun elastisite modülünü de etkilediğini belirtmiştir.



2. BÖLGESEL JEOLJİ VE İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

Kocaeli bölgesinde, jeolojik açıdan iki önemli tektonik ve yapısal birlik bir arada bulunmaktadır. Bunlardan biri İzmit Körfezi'nin kuzeyinde yer alan ve Şengör ve Görür (1983) tarafından Moezya platformundan kopup geldiği ileri sürülen ve ağırlıklı olarak İstanbul Paleozoyik ile Kocaeli Triyas'ını içeren Kocaeli Yarımadası, diğeri ise İzmit Körfezi'nin güneyinde yer alan ve Sakarya Zonu'nun bir bölümü olan Armutlu Yarımadası'dır (MTA, 2005). Bu iki birlik Kocaeli ili Marmara denizinin bir uzantısı olan ve çöküntü havzası durumundaki İzmit körfezi tarafından, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ile ayrılmakta olup, kuzey ve güney tektonik birlikleri olarak ikiye ayrılmıştır. Kuzeyde Kocaeli Yarımadası ile güneyde Armutlu Yarımadası ait yükseltiler bulunmaktadır. Çalışma alanında görülen Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimlerin litolojik özellikleri, stratigrafik ilişkileri sunulmuştur. İnceleme alanı Kocaeli Yarımadası'nda yer almaktadır.

2.1. Önceki Jeolojik İncelemeler

Bu bölümde bölge ve civarında yapılmış önceki jeolojik araştırmalar kronolojik bir sıra ile verilmiştir.

Baykal (1943) Adapazarı-Kandıra bölgesinde bölgenin jeolojik evrimini araştırmıştır. Çalışmasında, Alt Devoniyen mermerleşmiş kireçtaşıdan, Orta Devoniyen kumlu-killi şistten ve Dikmen dağları Paleozoyik volkaniklerden oluştuğunu ileri sürmüştür.

Ergüvanlı (1949) Gebze-Hereke civarındaki çalışmasında; incelediği birimleri stratigrafik adlanması yerine birimler içerisinde derlediği fosillerin tanımlamasını yapmış ve diğer bölgelerle korele etmiştir. Maastrichtiyen yaşlı marnlı kireçtaşlarını ve Devoniyen'e ait yoğun Discocyclina'lı kireçtaşlarını tanımlamıştır. Tavşanlı Köyü batısında işletilen Kampaniyen yaşlı Rudistli kireçtaşı ile Hereke ve dolayında yüzeylenen çakıllı kireçtaşları ilgili bilgiler vermiştir.

Abdüsselamoğlu (1963) Kocaeli Yarımadası'nın tümünün 1/100.000 ölçeğinde jeolojisini çalışmış, birimleri Paleozoyik, Mesozoyik, Senozoyik başlıkları ile tanımlamıştır.

Altınlı (1968) Hereke-İzmit-Kurucudağ alanının jeolojisinin incelediği araştırmasında, kaya birimlerini stratigrafik olarak Alt Ordovisiyen yaşlı Sopalı formasyonu, Alt Triyas yaşlı Kapaklı formasyon, Orta Triyas yaşlı Hereke formasyonu, Üst Kretase yaşlı Kutluca kireçtaşı ve Üst Kretase yaşlı Şemsettin kireçtaşını ayırtlamıştır.

Dizer ve Meriç (1972) Kocaeli Yarımadası'nda, Üst Kretase'nin Paleosen'e dereceli geçişli olduğunu mikro fosiller yardımıyla belirlemişlerdir.

Abdüsselamoğlu (1977) Gebze bölgesinde Triyas-Üst Kretase birimleri üzerinde incelemeler yapmıştır. Bölgenin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamış ve stratigrafisini belirlemiştir. Triyas birimlerinin üzerinde açılal uyumsuzlukla gelen Kretase'ye ait kireçtaşlarında, Genç Kretase yaşını veren bir fauna olduğunu saptamıştır.

Yurtsever (1982) Kocaeli Triyası'nın stratigrafisi ve biyostratigrafisine yönelik araştırmasında Triyas yaşlı birimleri; Kapaklı Formasyonu, Hereke grubu (Erikli fm., Demirciler fm. ve Ballıkaya fm.), Kazmalı Formasyonu, Tepeköy Formasyonu, Çerkeşli Formasyonu, Kretase-Tersiyer birimleri; Eren Çakıltası, Kutluca Kireçtaşı, Şemsettin Kireçtaşı, Korucu Formasyonu, Pliyosen birimlerini Belgrad Formasyonu, Kuvaterner çökellerini ise; traverten ve alüvyon adlarıyla, püskürük kayalar volkanitler başlığıyla ele almıştır. Ayrıca Üst Kretase birimleri Paleozoyik ve Triyas birimleri üzerinde açılal uyumsuz olarak yer aldığını belirtmiş ve birimlerin aralarında olan geçiş özellikleri ve içerisinde bulunan faunaya göre yaşları konusunda bilgiler vermiştir.

Bargu ve Sakınç (1990) Şemsettin Formasyonunun, litolojik özellikleri ve fosil içeriğini belirleyerek ve stratigrafik konumlarını da değerlendirildiğinde, derin denizel bir ortamın ürünü olduğunu belirtmişlerdir.

Çelebi ve Köprübaşı (2007) Kandıra'nın kuzeyinde yaptıkları incelemede, yüzeylenen volkanik kayaların jeokimyasal özelliklerini ve bölgesel jeolojisini belirlemişlerdir.

2.2. Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanı olan, Kocaeli Gebze ve Kandıra Bölgeleri, Kocaeli Yarımadası'nda yer almaktadır. Kocaeli Yarımadası'nda Paleozoyik, Permo-Triyas, Geç Kretase-Orta Eosen, Geç Oligosen-Erken Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı çökel kayalar ile Permiyen,

Permo-Triyas ve Geç Kretase yaşı magmatik kayalar yüzeyler. Kocaeli Yarımadası, kaya türü olarak birbirinden kısmen farklı iki çeşit Paleozoyik İstif bulunmaktadır. Bunlar yaygın olan ‘İstanbul Paleozoyik İstifi’ ve ‘Çınarlıdere Paleozoyik İstifi’dir. İstifler arasında tektonik bir ilişki vardır (MTA, 2005).

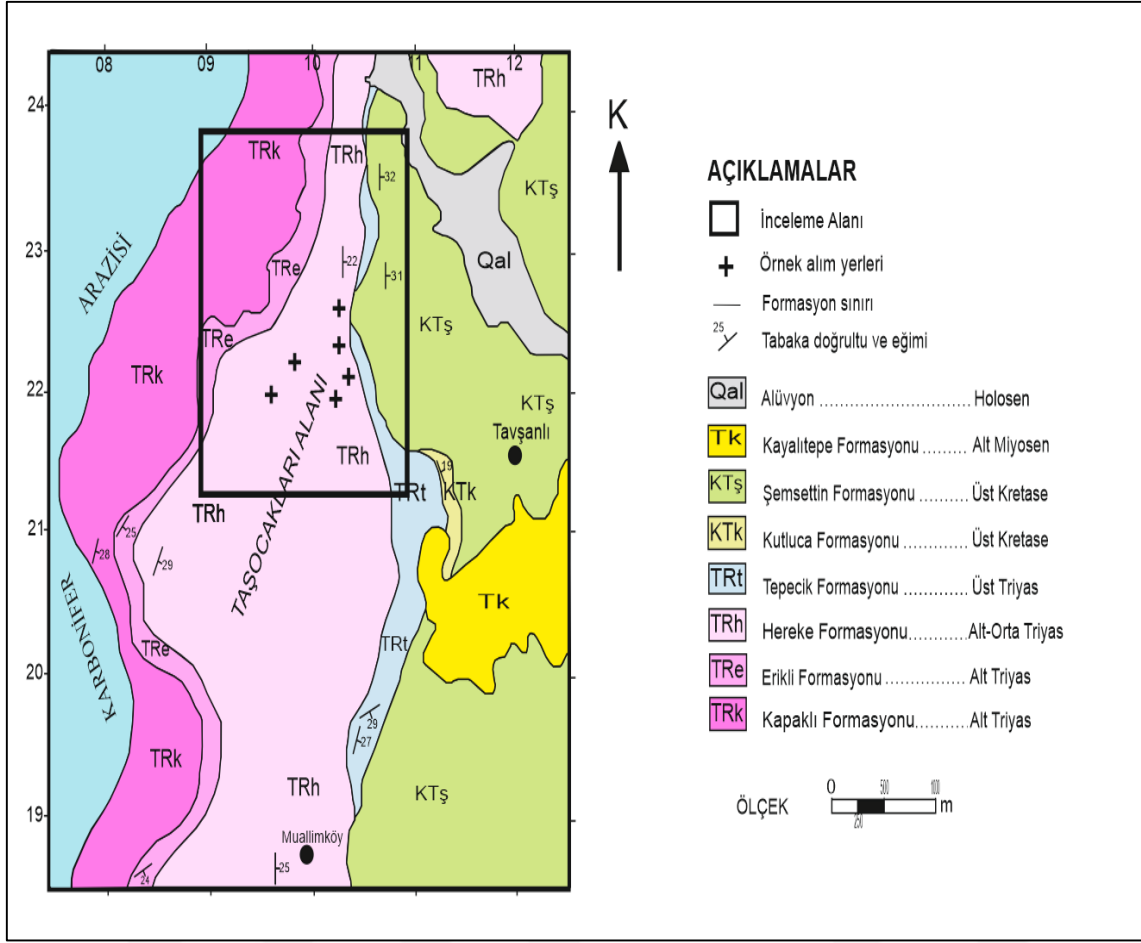
İncelenen Gebze Kireçtaşı, Gebze’nin Tavşanlı Köyü, Taşocakları bölgesindeki kırmataş ocaklarında bulunmaktadır (Şekil 2.1, Şekil 2.2). Bölgede yaşıdan gence doğru; Kapaklı Formasyonu, Erikli Formasyonu, Hereke Formasyonu, Tepecik Formasyonu, Kutluca Formasyonu, Şemsettin Formasyonu, Kayalıtepe Formasyonu ve alüvyon bulunmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.1. Gebze Tavşanlı kireçtaşı ocağının görünümü



Şekil 2.2. Gebze ocağının kırma-eleme tesisi



Şekil 2.3. Gebze Taşocakları ve civarının jeoloji haritası (Eren ve diğ., 1996'den değiştirilerek hazırlanmıştır).

Kapaklı formasyonu Alt Triyas yaşlı birimleri içerir. Bölgenin batısında görülen birim, kötü boylanmalı genellikle iri çakıllar içeren çakıltaşı ve ince-kalın çapraz tabakalı kumtaşlarından oluşur. Alt Triyas yaşlı Erikli Formasyonu Kapaklı Formasyonun üzerine uyumsuzlukla gelmekte olup bölgede faaliyette bulunan kırmataş ocağındaki kireçtaşlarının tabanında yer alır. Birim tabanda sarı kumtaşı olup üst kısımlarda kumlu kireçtaşına geçiş göstermektedir. Erikli Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen Alt-Orta Triyas yaşlı Hereke Formasyonu beyazımsı koyu, gri ve mavimsi gri kireçtaşlarından oluşur. Bölgede faaliyet gösteren taşocağı Hereke Formasyonunun kireçtaşı seviyelerinde üretim yapmaktadır. Bölgenin doğusunda görülen Üst Triyas yaşlı Tepecik formasyonu Hereke formasyonun üzerine uyumsuzlukla gelmekte olup beyazımsı krem renkli şeyllerden oluşmaktadır (Şekil 2.4).

Triyas serileri, Kretase birimleri üzerine bindirmiş olarak görülmektedir. Kretase'yi tabanda bol Rudistli kireçtaşı olan Kutluca Formasyonu (Eep, 1987) ile aglomera-kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşan Şemsettin Formasyonları temsil etmektedir (Eren ve diğ., 1996). İnceleme alanında dışında yer alan çakıl ve kumdan oluşan Kayalıtepe Formasyonu ile akarsu yataklarında çakıl, kum, kil ve silt gibi malzemelerinden oluşan alüvyon çökelleri görülmektedir.

Üst sistem	Sistem	Seri	Formasyon	Simge	Litoloji	Açıklamalar
SENOZOYİK	KUVATERNER	Holosen	Alüvyon	Q _{al}		Çakıl, kum, kil ve silt
	TERSİYER	Alt Miyosen	Kayalıtepe formasyonu	T _k		Çakıl, kum, silt
MESOZOYİK	KRETASE	Üst Kretase	Şemsettin formasyonu	KT _ş		Aglomera, kumtaşı, çamurtaşı
			Kutluca formasyonu	KT _k		Rudistli kireçtaşı
	TRİYAS	Üst Triyas	Tepecik formasyonu	TR _t		Şeyli kireçtaşı, kumtaşı ardalanmalı
		Alt-Orta Triyas	Hereke formasyonu	TR _h		Kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı
		Alt Triyas	Erikli formasyonu	TR _e		Kumtaşı, kumlu kireçtaşı
			Kapaklı formasyonu	TR _k		İnce-kalın çapraz tabakalı kumtaşı

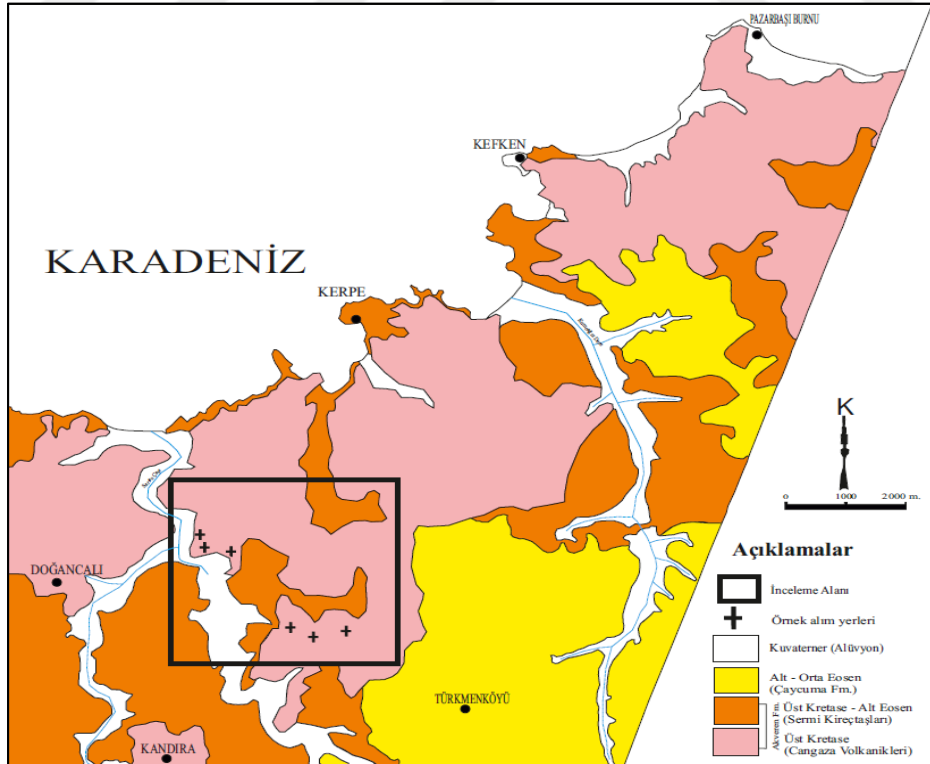
Şekil 2.4. Gebze taşocakları alanı ve civarı genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Ölçeksiz)

Babaköy Bazaltları, Kandıra Bölgesi kuzeyinde yer alan Babaköy bölgesindeki taşocaklarında bulunmaktadır (Şekil 2.5). Ocak sahasında şuan agrega üretim faaliyetleri yapılmamaktadır. Bölgede en yaşlı birimi oluşturan Akveren Formasyonu'na ait Çangaza Volkanikleri yoğun olarak görülmektedir. İncelenen taş ocaklarında üretilen bazalt agregaları bu volkanik birim içerisinde yer almaktadır. Akveren Formasyonu, andezit ve bazaltik andezitlerden oluşan Çangaza Volkanikleri ile Sermi Kireçtaşlarından oluşmaktadır. Çalışma alanında yoğun olarak Çangaza Volkanikleri yayılım göstermektedir (Şekil 2.6). Sermi Kireçtaşları krem, açık gri, pembe renkli, ince-orta-kalın kalın tabakalı kireçtaşlarından oluşur. Bölgenin batısında, güneyinde ve sahil

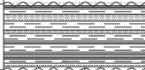
kısmında görülmektedir (Şekil 2.6). Akveren Formasyonu üzerine dereceli geçiş gösteren Alt-Orta Eosen yaşlı Çaycuma Formasyonu gelmektedir. Birim sarı, bej-sarı renkli kumtaşı, silttaşı, kilitaşı ardalannasından oluşur. Bölgede yer alan genç birim ise çakıl, kum ve kil malzemelerinden oluşan alüvyondur. Şekil 2.7’de Kandıra bölgesindeki inceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti görülmektedir.



Şekil 2.5. Kandıra Babaköy bazalt ocağının görünümü



Şekil 2.6. Kandıra Bölgesi'nin inceleme alanının jeoloji haritası (Çelebi ve Köprübaşı 2007'den değiştirilerek hazırlanmıştır).

Üst sistem	Sistem	Seri	Formasyon	Üye	Litoloji	Açıklamalar
SENOZOYİK	KUVATERNER	Holosen	Altıyön			Çakıl, kum, kil
	TERSİYER	Eosen	Çaycuma Formasyonu			San renkli, kumtaşı, silttaşı, kilttaşı ardalanması
		Paleosen	Akveren Formasyonu	Sarı Kireçtaşları		Krem, bej, pembe renkli ince-orta kalın tabakalı kireçtaşı
MESZOZOYİK	KRETASE	Üst Kretase		Çangaza Volkanikleri		
						Grimsi yeşil ve siyahımsı gri renkli bazalt ve andezitik bazalt

Şekil 2.7. Kandıra Bölgesi'nin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Ölçeksiz)

2.3. İnceleme Alanının Jeolojisi

İnceleme alanı, Gebze bölgesinin Tavşanlı Köyü, Taşocakları Mevkiinde ve Kandıra Bölgesinin kuzeyinde yer alan Babaköy taş ocaklarında yer alır. Gebze ve Kandıra Bölgeleri'ndeki Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimlerin litolojik özellikleri, stratigrafik ilişkileri, kalınlıkları, yaşları ve fosil içerikleri her bölge için farklılık sunmaktadır. Bu sebeple, inceleme alanının jeolojisi Gebze Bölgesi ve Kandıra Bölgesi olmak üzere iki bölümde incelenmiştir.

2.3.1. Gebze Bölgesi

Gebze Bölgesi'nde yer alan Triyas yaşlı formasyonlar, Karbonifer serileri üzerine transgresif olarak açılı bir uyumsuzlukla gelmektedir. Altınlı ve diğ. (1970) tarafından Hereke'deki Triyas yaşlı birimler; Kapaklı, Erikli, Hereke ve Tepecik Formasyonları olarak adlandırılmıştır. Kretase'yi ise Kutluca ve Şemsettin Formasyonları temsil etmektedir. Bu çalışmada esas olarak incelenen taş ocaklarını kapsayan, Triyas yaşlı birimler detaylı olarak araştırılmıştır.

2.3.1.1. Kapaklı Formasyonu

Birim Altınlı (1968) tarafından Tepecik Köyü kuzeydoğusundaki Kapaklı Pınarı yöresinde yaygın olarak görüldüğü için "Kapaklı Formasyonu" adı ile adlandırılmıştır. Kapaklı Formasyonu, Karbonifer yaşlı seriler üzerinde açılmalı uyumsuzlukla yer almaktadır. Formasyon, genelde kırmızı renkli, ince-kalın çapraz tabakalı, çakıltaşı, çakıllı kaba kumtaşıdan oluşur.

Birim incelenen alanda esas olarak kırmızı renkli kumtaşı karakterinde olup tabanda kötü boylanmalı genellikle iri çakıllar içeren taban çakıltaşı ile başlayıp üstte doğru taneleri inceler ve ince-kalın çapraz tabakalı kumtaşları içerir.

İnceleme alanında fosile rastlanmamıştır. Birimin Gebze civarında eşdeğeri olan Tepeköy Formasyonuna göre daha önceki çalışmalarda yaşının Alt Triyas olduğu söylenmiştir (Baykal, 1943; Erguvanlı, 1949 ve Altınlı, 1968). Dolayısıyla çalışmada birimin yaşı Alt Triyas olarak kabul edilmiştir.

2.3.1.2. Erikli Formasyonu

Birimin adı, Yurtsever (1982) tarafından, Erikli Deresi'nden (Gebze-Anibal Tepe G'yi) "Erikli Formasyonu" olarak adlandırılmıştır. Formasyon, sarımsı gri ve bej renkli, ince-orta tabakalı kumtaşından ve kumlu kireçtaşından oluşmuştur. Erikli Formasyonunda herhangi bir fosile rastlanmamış olup yaşı "Alt Triyas" olarak kabul edilmiştir. Birim, altta Kapaklı Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir.

Çalışma alanında birim, tabanda sarı kumtaşı olup üst kısımlarda kumlu kireçtaşına geçiş göstermektedir (Şekil 2.8). Kumtaşı esas olarak homojen görünümlü ve gözenekli yapıdadır. Beyazımsı, sarı renkli olan kumlu kireçtaşı taneli dokuya sahiptir. Bölgede formasyon, kırmataş ocaklarının agrega olarak üretim yaptığı kireçtaşlarının tabanında yer almaktadır.



Şekil 2.8. Erikli Formasyonunda gözlenen kumlu kireçtaşları

2.3.1.3. Hereke Formasyonu

Formasyon, Aşağı Hereke-Yukarı Hereke yol hattında gözleendiği için Altınlı (1968) tarafından bu şekilde adlandırılmıştır.

İrtem (1968) tarafından formasyonun, dolomitik kireçtaşı, dolomit ve marn ara seviyelerinden oluştuğunu belirtmiştir. Birim, rengi, litolojisi ve diğer özellikleri karakteristiktir. Altınlı (1968), formasyonun kalınlığının 950 m olarak belirlemiştir. Eroskay (1978), kireçtaşları üzerinde yaptığı petrografik incelemelerde, birimin içerisinde ilksel gözenek ve boşlukların yer aldığını ve ayrıca tabakalanma ile eklem düzlemleri boyunca erime boşluklarının geliştiğini belirtmiştir.

Formasyonun, altında uyumlu olarak Alt Triyas yaşlı Erikli Formasyonu bulunurken üzerinde ise uyumsuzlukla Üst Triyas yaşlı Tepecik Formasyonu yer alır. Erguvanlı (1949) ve Altınlı (1968) birime Alt-Orta Triyas yaşını vermişlerdir. Birim, sıkı-derin deniz aralığında çökelmiştir. Killi malzemelerin olması marn ara seviyelerinin bulunduğunu gösterir. Dolomitleşme ise çökelim sonrasında gelişmiştir (Altınlı, 1968). Birim inceleme alanında, mavimsi gri kireçtaşlarından oluşur. İnce-orta ve kalın tabakalardan oluşan birim dolomitik seviyelerini içinde bulundurmaktadır (Şekil 2.9).



Şekil 2. 9. Hereke Formasyonunda gözlenen dolomitik kireçtaşları

Bölgedeki tektonizma sebebiyle Hereke Formasyonu kıvrılmış, kırılmış ve faylanmış. Bu hareketler sonucu doğan gerilmeler kireçtaşında bir takım fay ve kırıklara neden

olmuştur. Faylar ve kırıklanma ile oluşan ezik zonlar boyunca ayrışma olayları etkili olmuştur (Eren ve diğ., 1996). Gebze bölgesinde faaliyet gösteren inceleme alanındaki kırmataş ocakları, Hereke Formasyonunun kireçtaşları seviyelerini işletmektedirler.

2.3.1.4. Tepecik Formasyonu

Birim kumtaşı ve kireçtaşı aratabakalı halobiyalı şeyllerden oluşan “Tepecik Formasyonu” olarak adlandırılmıştır.

Birim adını Tepecik Köyü’nden almaktadır. Yurtsever (1982) de yaptığı çalışmada birimi alttan üste doğru gri renkli, Ammonitli kireçtaşı-yumrulu kireçtaşı (Küçükburun üyesi) kırmızı renkli, şeyl ara tabakalı ve Ammonitli, yumrulu kireçtaşı (Kuşça üyesi) ara tabakalı Halobiyalı şeyl (Köytepe üyesi) ve kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluşmuş birimler için kullanmıştır. Aynı formasyonu, (Altınlı ve diğ., 1970) ise alttaki gri ve kırmızı renkli, yumrulu kireçtaşlarını “Köytepe üyesi” ve üstteki kumtaşı-şeyl-kireçtaşlarını da “Tepecik Formasyonu” adı ile araştırmıştır.

İnceleme alanında Hereke Formasyonu’nun üzerine uyumsuzlukla gelen Tepecik Formasyonu, beyazımsı, krem renkli şeyllerden oluşmaktadır. Birim tabanda boz görünümde ve giderek kırmızımsı renk alan kireçtaşı ile başlayıp üste doğru krem renkli şeyl, kireçtaşı ve kumtaşı ardalanmalarından oluşur (Şekil 2.10).



Şekil 2. 10. Tepecik Formasyonunda gözlenen kireçtaşı seviyeleri

Formasyon fosil bakımından zengin olup esas olarak Halobiya faunası içerir. Formasyonun yaşı önceki araştırmalarda Altınlı ve diğ. (1970) tarafından “Karniyen”, Yurttaş ve Özdemir (1973) tarafından ise “Geç Karniyen” olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada formasyonun alt ve üst birimlerle ilişkisi göz alınarak yaşı Üst Triyas olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanının doğusunda Triyas serileri, Kretase birimleri üzerine bindirmiş olarak görülmektedir. Kretase birimlerini, tabanda bol Rudistli kireçtaşı olan Kutluca (Eep, 1987) ile aglomera, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşan Şemsettin Formasyonları temsil etmektedir. Bu birimlerin önceki çalışmalarda göz önüne alınarak Üst Kretase yaşı olarak belirlenmiştir.

İnceleme alanının dışında kalan çakıl, kum ve siltten oluşan Kayalitepe formasyonu ile akarsu yataklarında çakıl, kum, kil ve silt malzemelerinden oluşan alüvyon çökelleri görülmektedir.

2.3.2. Kandıra Bölgesi

Kandıra Bölgesi’nde en yaşlı birimler Akveren Formasyonu’na ait Çangaza volkanik kayalardır. Bu kayalar Mesozoyik yaşlıdır. Akveren Formasyonu, andezit ve bazaltik andezitlerden oluşan Çangaza Volkanikleri ile Sermi Kireçtaşlarından oluşur. Formasyonun üzerine kumtaşı, silttaşı, kiltası ardalanmasından oluşan ve dereceli geçiş gösteren Çaycuma Formasyonu gelmektedir. İnceleme alanında yoğun olarak Akveren Formasyonu görülmekte olduğundan bu formasyon detaylı olarak incelenmiştir.

2.3.2.1. Akveren Formasyonu

Akveren Formasyonu inceleme alanında geniş bir yayılım göstermektedir (Şekil 2.11). Sinop İli Ayancık İlçesi güneyinde Akveren Köyü civarında yüzeyleyen Üst Kretase (Maastrichtiyen) yaşlı benzer kaya türlerine ait formasyon için (Ketin ve Gümüş, 1963) “Akveren Formasyonu” adını kullanmıştır.

Formasyon, killi kireçtaşı, marn, türbiditik kumtaşı, kumlu karbonat, resifal kireçtaşı ve volkanitlerden oluşur (Aydın ve diğ., 1987).



Şekil 2.11. Akveren Formasyonunda gözlenen bazaltların mostra görüntüsü

Çangaza Volkanikleri: Akveren formasyonunun volkanitleri için ilk defa (Yergök ve diğ., 1987) Çangaza bazalt üyesi adını kullanmışlardır. Bu çalışmada ise kırmataş ocaklarında gözlenen bazalt ve andezitler için Çangaza Volkanikleri adı kullanılmıştır. İnceleme alanında taş ocakları yakınında birim, grimsi yeşil ve siyahımsı gri renkli, çok kırıklı parçalı yapıda kırıkların içi kil dolgulu, çatlaklı, çatlaklar kalsit dolgulu ve orta derecede ayrılmış bazalt ve andezitik bazalttan oluştuğu görülmüştür (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Çangaza Volkaniklerine ait andezitik bazaltların görünümü

Birimin yaşı önceki çalışmalarda belirlenen Nummulites fosil türlerine göre Üst Kampaniyen-Alt Eosen olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada ise birim yaşı Üst Kretase olarak belirlenmiştir.

Yastık yapılı lavlardan oluşan birim içinde kırıntılı kireçtaşları görülmektedir. Bu kireçtaşları çalışmada Sermi Kireçtaşları olarak adlandırılmıştır.

Sermi Kireçtaşı: Birim ilk kez (Kaya ve diğ., 1986) tarafından adlandırılmıştır. Resif yapan fosiller ve bunlara ait kırıntılılar açısından zengin olan kalın katmanlı masif görünümlü kireçtaşı türlerinden oluşur (Kaya ve diğ., 1986). Sermi Kireçtaşları çalışma alanın güneyinde, batısında ve sahil boyunca yayılım göstermektedir. Birim, krem, bej, pembe renkli, ince-orta-kalın tabakalı kireçtaşları seviyelerinden oluşmaktadır. Önceki yapılan çalışmalarda birim içerisinde saptanan fosillere göre yaşının Maastrichtiyen-Paleosen belirtilmiştir. Bu çalışmada ise birim yaşı Üst Kretase-Alt Eosen olarak belirlenmiştir.

Akveren Formasyonu üzerine kumtaşı, silttaşı, kiltası ardalamasından oluşan dereceli geçişli Çaycuma Formasyonu gelmektedir. Formasyon incelenen kırmataş ocağının güneydoğu kesiminde yayılım göstermektedir ve çalışma alanının dışında kalmaktadır. Bölgede yer alan genç birim ise akarsu yatakları boyunca gözlenen çakıl, kum ve kil malzemelerinden oluşan alüvyondur.

2.4. Bölgesel Tektonik Konum

Kocaeli Yarımadası'nda yüzeylenen birimlerden Permo-Triyas yaşlı istifler allokon, Geç Kretase-Eosen yaşlı olanlar yarı otokon, Oligosen-Miyosen ve Pliyosen-Kuvaterner yaşlı olanları otokondur. Geç Kretase-Erken Miyosen dönemi birimleri süreklilik gösterdiğinden, yarı otokon-otokon sınırlarını belirlemek güçtür (Gedik ve diğ., 2005). Kocaeli Yarımadası, jeolojik süreçlerle Hersiniyen ve Alpin orojenezlerinin etkisi altında kalmıştır. KD-GB gidişli eksenlerine ait kıvrımlar Hersiniyen Orojenezi, D-B gidişli eksenlere ait kıvrımlar ise Alpin Orojenezi oluşturmuştur (Dursun, 2004).

Gebze Bölgesindeki kıvrımlar genellikle KD-GB gidişli olup, Hersiniyen Orojenezi'nin ürünüdürler. Bu kıvrımlar genellikle kumtaşı ve kireçtaşlarından oluştuğu için litoloji etkisiyle paralel tipte gelişmişlerdir (Önalın, 1982). Bölgede incelenen yapısal unsurların

katmanlaşma, kırık, çatlak ve faylar şeklinde görülen süreksizliklerdir. İncelenen kırmataş ocaklarında üretim yapılan Hereke Formasyonu KD-GB doğrultulu, genellikle orta ve kalın tabakalıdır. Bölgenin maruz kaldığı tektonizma etkisiyle Hereke Formasyonu kıvrılmış, kırılanmış ve faylanmışır. Bu hareketler sonucu oluşan gerilmeler kireçtaşıında faylanma ve kırılanmalara neden olarak birim içerisinde çatlak yüzeylerde erime boşluklarının oluştuğı görölmektedir. Bu karst boşlukları ve çatlakları, kırmızı renkli kil ve silt malzemeler doldurmaktadır (Eren ve diğ., 1996). Ayrıca kırmataş ocakları aynalarında yer yer faylanma ile oluşan ezik zonlar açık bir şekilde görölmekte ve çok sayıda küçük ölçekli fay izleri gözlenmektedir. Bu faylar etkisiyle ayrışma zonları oluşmuş ve formasyon yer yer zayıf, dayanıksız malzeme özelliğı kazanmıştır.

Kandıra Bölgesi tektonik açıdan oldukça aktif bir zon olan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun kuzeyinde yer almaktadır. Bu fayın kuzey kolunun Kandıra ilçe merkezine uzaklığı 40 km civarındadır. Bölgede tektonik hareketler etkisiyle kıvrımlı yapılardan ziyade kırıklı yapıların meydana geldiğı gözlenmektedir. Kocaeli Yarımadaının kuzey-kuzeybatısında yer alan Sarıyer-Şile Bindirmesi, İzmit Kuzeyindeki Belen-Sepetçi Ters Fayı, Darıca-Tuzla Örtülü Fayı ile Darıca-Tuzla yarım adacıklarında görölen ve Kuzey Anadolu Fayı'nda bağılı olarak gelişmiş olan aktif özellikli ikinci fay oluşumları bölgedeki önemli tektonik yapılardır (Gedik ve diğ., 2005).

3. AGREGA VE BETON İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Dünyada kişi başına sudan sonra en çok tüketilen madde agregadır (Erkan, 2008). Agregası, ev, okul ve spor salonu gibi bina inşaatı, otoyol ve hızlı tren gibi alt yapı faaliyetlerini oluşturan inşaat sektöründe geniş bir kullanım alanı olan beton ve asfalt üretiminin oldukça önemli kaya hammaddesidir. Dünyada beton agregası ve demiryolu balastı olarak kullanılan en önemli agrega kaynağı kireçtaşlarıdır. Kireçtaşları, yoğunlukları, yüksek dayanımları, düşük su emmeleri ve düşük poroziteleri ($<1\%$) ile beton yapımı için oldukça uygun agregalardır. Çalışmada ise beton agregası olarak yoğun kullanılan kireçtaşları yanı sıra farklı türdeki bazalt agregaların beton agregası olarak kullanılabilirliklerini karşılaştırmak amaçlanmıştır. Agregalar beton hacminin yaklaşık %60-75'ini oluşturur. Beton bileşiminde önemli bir yer işgal eden agrega hem taze betonun hem de sertleşmiş betonun performansının belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir.

Agregaların beton üzerinde etkileri sadece betona ekonomik fayda sağlamak ve dolgu malzemesi olarak kullanmak değildir, aynı zamanda birçok teknik yararlar da sağlamaktadır. Agreganın sağladığı teknik yararlar özetle şunlardır;

Çimento hamuru, zamanla kuruyarak büzülme gösteren bir malzemedir. Agregalar çimento hamurunun aşırı büzülmesini engellemektedirler. Yani betona hacim sabitliği sağlamaktadırlar. Agregası dayanımının yüksek olması betonun dayanımına, aşınmaya karşı dayanımına ve çevresel etkilere karşı dayanıklılığına önemli oranda etki etmektedir. Agregalar özellikle betonun işlenebilme özelliğini; tane dağılımı, şekli, yüzey dokusu ve en büyük tane boyu gibi özellikleri ile doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle beton üretiminde kullanılacak agregaların, beton agregası olma özellikleri ve dolayısıyla agregaların beton özelliklerine etkilerini, kapsamlı bir şekilde incelenmesi önem teşkil etmektedir.

Agregalar beton üretiminde sert, temiz (kirli malzemelerden arınmış), yüksek dayanımlı ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı olmalıdır. Ayrıca agrega kaynakları işletilebilir, kolay nakledilebilir ve ulaşım olarak da yakın konumda olmalıdır.

Türkiye’de üretilen agregaların yaklaşık %96’sı karbonat kayalarından (kireçtaşı, dolomit), %3’ü kırıntılı (kumtaşı, metakumtaşı) ve %1’i de volkanik kayalardan (andezit, bazalt) elde edilmektedir (Erkan, 2008).

3.1. Beton Agregası Tanımı

Beton veya harç yapımında, çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı malzeme ile birlikte bir araya getirilen, organik olmayan, kum, çakıl kırmataş gibi doğal malzemeler veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş kil gibi yapay malzemelerden oluşan, yapı betonlarında çoğunlukla tane boyutu 63 mm’yi geçmeyen kırılmış ve kırılmamış tanelerden oluşan malzeme yığınlarıdır.

3.1.1. Agregaların Sınıflandırılması

Agregaları daha iyi tanımlamak ve farklı tane boyutuna sahip agregaları beton üretiminde daha uygun şekilde kullanılması için agregaları sınıflandırma işlemi yapılır. Sınıflandırma işlemi, belirli bir aralık içinde kalan agreganın beton için uygun olduğunu göstermez. Agregaların beton yapımı için uygunluğuna karar verebilmek için o agreganın özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi ve standart agrega deneylerinde belirlenen sınır değerlerine uygun aralıkta sonuçlar vermesi gerekmektedir. Agregalar kökenlerine göre ve boyutlarına göre olmak üzere ikiye ayrılır (Özkul ve diğ., 1999).

3.1.1.1. Kökenlerine Göre Agregalar

Agregalar kökenlerine göre; doğal, yapay ve geri kazanılmış olmak üzere üçe ayrılır. Bunlar;

Doğal Agrega (Doğal Taş Agregası): Nehir yatakları, deniz ve göl kenarları, dere yatakları ve taş ocakları gibi doğal kaynaklardan elde edilmiş fakat konkasörde kırma, boyut küçültme ve sınıflandırma işlemleri dışında, doğadaki yapılarında değişiklik yapmadan elde edilen agregalardır.

Kırmataş, kum ve çakıl en çok kullanılan doğal agregadır. Çakıl ve kum genellikle dere yatakları ve eski alüvyal teraslardan elde edilmektedir.

Doğal agregalar olarak tanımlanan kırmataşlarının elde edildiği kayalar, jeolojik kökenlerine göre magmatik, metamorfik ve sedimanter olmak üzere üç gruba ayrılır. Kırmataş olarak kullanılan bu kayaların, betonda bağlayıcı malzeme ile bir araya gelerek sağlam yapıda betonların oluşmasına katkı sağlarlar (Tablo 3.1).

Tablo 3. 1. Kırmataş hammaddelerinin jeolojik sınıflandırılması (Lefond, 1985)

Grup	Genel Sınıflama	Kayaç	Yoğunluk (Mg/m ³)
Magmatik	Plütonik	Granit	2,60
		Siyenit	2,70
		Diyorit	2,80
		Gabro	2,90
		Peridotit	2,90
	Volkanik	Riyolit	2,60
		Trakit	2,60
		Andezit	2,60
		Bazalt	2,80
		Diyabaz	2,90
Sedimanter	Kimyasal (Karbonatlı)	Dolomit	2,70
		Kireçtaşı	2,60
	Kırıntılı (Silisli)	Konglomera, Kumtaşı, Kuvarsit, Arkoz, Kiltaşı, Şeyl	2,60
Metamorfik	Foliasyonlu	Amfibolit	3,00
		Şist	2,80
		Gnays, Sleyt	2,70
		Fillit	2,70
	Foliasyonsuz	Mermer Kuvarsit	2,70 2,80

Yapay Agregat (Sanayi Ürünü Agregat): Yüksek fırın cürufu, genişletilmiş perlit ve uçucu kül gibi malzemelere ısı işlem uygulayarak beton yapımında kullanıma uygun hale getirilen agregalardır.

Geri Kazanılmış Agregat: Yapılarda daha önce kullanılmış olan inorganik malzemelerin işlemlerden geçirilerek yeniden elde edilen agregalardır. Yapıda kullanılmış olan beton kırılarak işleminden geçirilip beton agregası olarak kullanılabilir.

3.1.1.2. Boyutlarına Göre Agregalar

Agregalar tane boyutlarına göre üç gruba ayrılırlar. Bunlar;

İri agregalar: 4 mm açıklı elekten geçemeyen (elek üstünde kalan) kırmataş, çakıl veya bunların karışımından elde edilen agregalardır (Şekil 3.1). Kırmataş, kırılma işlemine uğramış olan iri agregadır. Çakıl ise kırılma işlemine uğramamış olan iri agregadır.



Şekil 3. 1. İri agregalara ait örnekler

İnce agregalar: 4 mm açıklı elekten geçen, doğal kum, kırma kum veya bunların karışımından elde edilen agregalardır (Şekil 3.2). Doğal kum kırılma işlemine uğramamış olan ince agregadır. Bazen kumların bulunmadığı ya da şantiye uzaklığı nedeniyle ekonomik olmadığı zamanlarda, ince agrega olarak kırılma işlemine uğramış olan kırma kum kullanılır. Beton agregası olarak kullanılacak ince agregalar için Türk standartlarına göre en küçük elek boyutu 0.25 mm'dir.



Şekil 3. 2. İnce agregalara ait örnekler

Dolgu malzemesi (Filler): 0.063 mm açıklı elekten geçen ve tamamı 0.25 mm'den daha küçük boyutta olan ince malzemedir. Bu malzemeler çoğunlukla beton agregası olarak kullanılmazlar. Dolgu malzemesi ya da bağlayıcı malzeme olarak kullanılırlar.

Agregalar birim ağırlıklarına göre; hafif, normal ve ağır agregalar olarak sınıflandırılır. Hafif agregalar, birim ağırlığı $2,4 \text{ t/m}^3$ 'den küçük olan agregalardır. Hafif agregalar betonlarda dayanım kaybı olmaması için yüksek dozajlı çimento kullanılması gereklidir. Bu nedenle beton üretiminde taşıyıcı özelliği olan hafif betonlarda kullanılır. Bu sınıf agregalara yüksek fırın cürufu ve genişmiş kil örnek olarak verilebilir. Normal agregalar, birim ağırlığı $2,4-2,8 \text{ t/m}^3$ arasında olan agregalardır. Beton sahalarında en çok kullanılan agrega çeşididir. Kum, çakıl ve kırmataş bu sınıf agregalardır. Ağır agregalar, birim ağırlığı $2,8 \text{ t/m}^3$ 'den büyük olan, ağır beton elde etmek için kullanılan agregalardır. Barit, manyetit, hematit vb. agregalardır.

3.1.2. Agregalarda Numune Alma Yöntemi

Malzemenin kalitesini belirleyebilmek için o malzemeyi tamamen temsil edebilecek numunelerle deneysel çalışma yapmak gerekir. Çünkü doğru numune alma malzeme üzerinde yapılan deneyler kadar önemlidir. Aksi halde yanlış numune ile yapılan deneylerin bir önemi yoktur. Bu nedenle agrega kalitesi çok değişkenlik gösterdiği için doğru ve uygun numune alma işlemi, standartlara uygun olarak yapılması gerekmektedir. Beton agregalarında numune alma yöntemi TS EN 932-1'de belirtilmektedir.

Agrega yığınının alınacak örnekler, yığının tepe ve etek kısımlarından değil orta kısımların değişik yerlerinden alınmalıdır. Alınan örneklerin her bir deney için istenen miktarda azaltılması gerekmektedir. Hangi deney isteniyorsa, o deney için standartta gerekli en az deney numune miktarları maksimum tane boyutuna göre belirlenmektedir.

3.1.3. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agregaların fiziksel özelliklerini belirlemek için agregaların; granülometri (tane büyüklüğü dağılımı), nem (rutubet) durumu, özgül ağırlık, su emme, tane şekli araştırılmalıdır.

3.1.3.1. Granülometri (Tane B y kl   Dağılımı)

Agrega numunesi içerisindeki tanelerin b y kl  ne göre dağılımına gradasyon (granülometri) adı verilmektedir. Gran lometrinin belirlenmesinde, agrega numunesinin içerisindeki taneler boyutlarına göre belirli boy gruplarında sınıflandırılmaktadır.

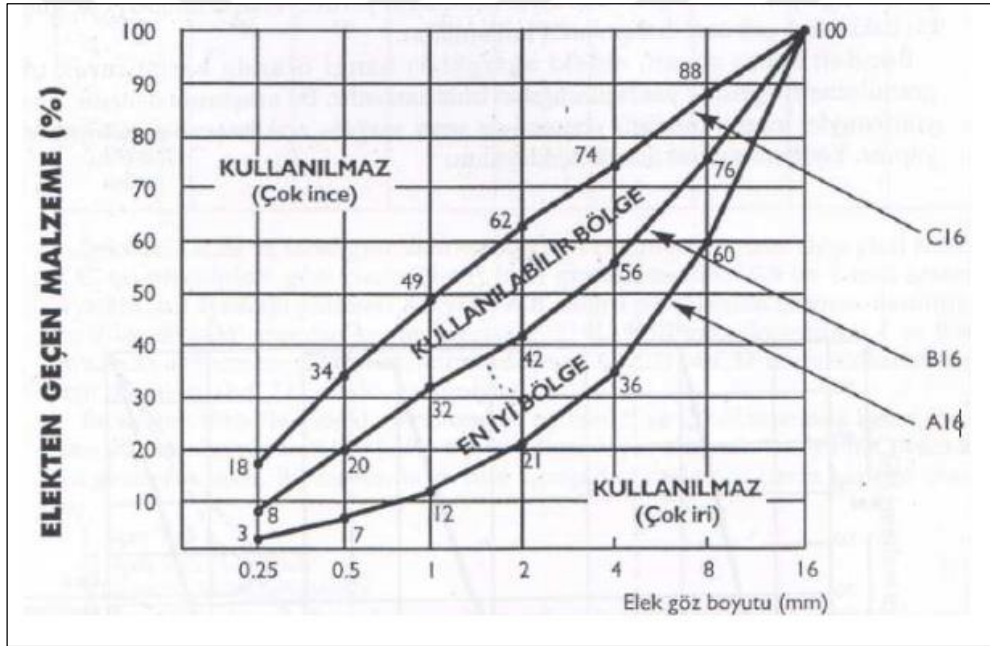
Agrega numunesinde farklı tane boyutlarının olması, sabit bir hacim içerisinde olan agrega taneleri arasında daha az boşluk oluşmasına yol açmaktadır. Beton için agrega taneleri arasında bo lu un az olması, istenen ve betonun dayanımını olumlu yönde etkileyen bir özelliktir.

Beton  retiminde agrega gradasyonunu tayin edebilmek için değişik göz açıklıklarına sahip standart elekler kullanılarak elek analizi deneyi yapılmaktadır ( ekil 3.3). Eleklerde ince ve iri agregayı ayıran elek boyutu Türk standardına göre 4.0 mm göz açıklı elek, ASTM'ye göre ise 4.75 mm göz açıklı elektrir. Bu standart elekler ile yapılan elek analizi deneyi ile hem maksimum agrega tane boyutu belirlenmekte hem de agreganın granülometri eğrisi çizilmektedir.



Şekil 3. 3. Elek analizi deney ekipmanları

Beton üretiminde kullanılacak olan agregra granülometrisi Şekil 3.4’de verilen ideal bölgeler olarak tanımlanan bölgeler içinde kalmalıdır. Bu ideal bölgeler agregra numunesinin maksimum tane boyutuna göre belirlenmektedir. Asıl amaç ideal agregra granülometri eğrileri ile minimum boşluk ve minimum yüzey alanına sahip beton üretmektir. Kaliteli beton için uygun granülometrilik ve ideal bölgelerde yer alan agregralar kullanılmalıdır. Yani betonda agregra malzemesi, ne iri olduğu için işlenebilirlik problemi ne de ince olduğu için su ihtiyacını artırmayacak aralık olan uygun gradasyona sahip olmalıdır. Bu nedenle kullanılmadan önce agregranın granülometrisinin deneyler yapılarak bulunması ve belirli sınırlar içinde olup olmadığı kontrol edilmesi gerekmektedir (Baradan, 1996). Bu sınırlar içinde olmayan agregra beton üretiminde kullanılmamalıdır.



Şekil 3. 4. Agregralar için ideal tane boyu dağılımı eğrisi

3.1.3.2. Agregada Nem (Rutubet) Durumu

Agregra içerdiği su miktarına göre, dört değişik rutubet durumu aşağıda belirtilmiştir;

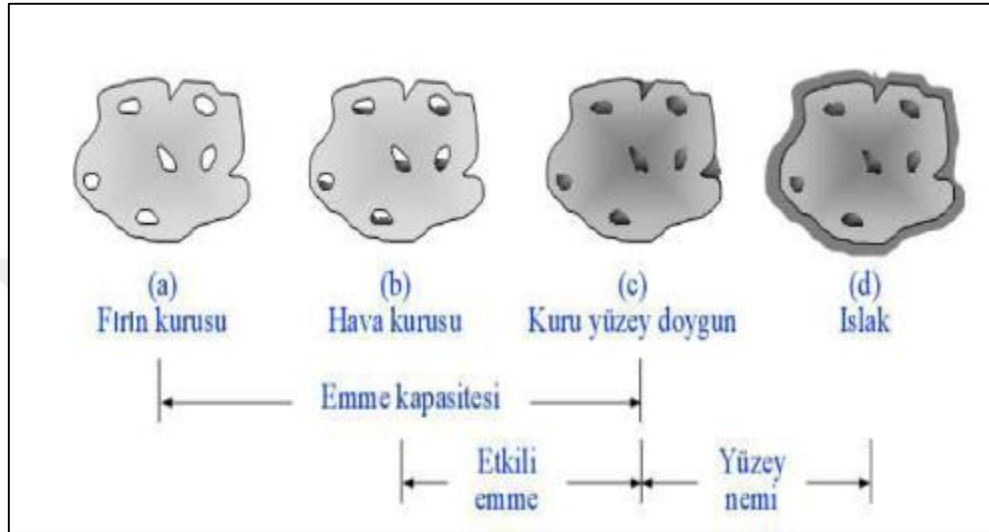
Tamamen Kuru Durum: Agregra içindeki boşluklarda su bulunmamaktadır.

Hava Kuru Durum: Agregra tanelerinin içindeki boşluklarının bir kısmında su var. Fakat tanelerinin yüzeyinin tamamen kuru olması durumudur.

Doygun, Yüzey Kuru Durum: Agregatanelerinin yüzeyi kuru, içi suya doygun olmalıdır.

Islak Durum: Agregatanelerinin tüm boşlukları su ile dolu, yüzeyinin ıslak olması durumudur.

Bahsedilen rutubet durumları Şekil 3.5’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. 5. Agregatanelerinin nem durumları (Ün, 2007)

Beton üretiminde kullanılacak agregat yığını, genellikle “hava kuru” veya “ıslak” durumda olmaktadır. Beton karışım hesaplarında ve beton agregalarının özelliklerini belirlemek için yapılan su emme oranının da agreganın doygun yüzey kuru (dyk) durumu esas alınır.

Agregatanelerinin su emme oranını tayin edebilmek için TS EN 1097-6 veya ASTM C 127 ve ASTM C 128 standardı kullanılmaktadır.

Agregatanelerinin su emmesi, agreganın tamamen kuru durumdaki emebileceği maksimum su miktarının yüzde olarak ifade edilmesidir. Su emme oranı eşitlik (3.1) ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Su Emme Oranı \%} = ((W_{\text{dyk}} - W_k) / W_k) \times 100 \quad (3.1)$$

W_{dyk} : Agreganın doygun, yüzey kuru durumundaki ağırlığı,

W_k : Agreganın tamamen kuru durumundaki ağırlığı.

Su emme, bir agreganın geçirgenliğinin dolaylı bir ölçüsüdür. Agregalarda bulunan su miktarı agreganın özgül ağırlık ve birim ağırlığına etki eder. Genel olarak daha az su emme kapasitesine sahip agregalar mekanik kuvvetlere ve hava koşullarına karşı daha dirençlidir. TS 706 EN 12620 Türk standardına göre, agreganın su emme oranı %1'den az ise donma ve çözölmeye karşı dirençli kabul edilmektedir.

3.1.3.3. Özgül Ağırlık

Agregaların özgül ağırlığı, agrega tanelerinin toplam ağırlığının, aynı agrega tanelerinin toplam hacmine oranıdır. Bir başka deyiş ile agrega tanelerinin kapladığı mutlak birim hacim ağırlık, özgül ağırlığı ifade eder.

Beton teknolojisinde kullanılan özgül ağırlık türü, agreganın kuru veya doygun-yüzey kuru özgül ağırlığıdır. Agreganın özgül ağırlık tayini için TS EN 1097-6 veya ASTM C 127 ve ASTM C 128 standardında deneysel yöntemler ifade edilmiştir. Agreganın özgül ağırlığı tane boyuna göre piknometre veya tel sepet yöntemi kullanılarak belirlenmektedir.

Beton üretiminde özgül ağırlık deneyinde, malzemeler ilk önce tartılır sonra ince ve iri agregalar 24 saat su da bekletilip suya doygun hale getirilir. İri agregalar suya doygun hale getirildikten sonra havlu içinde malzeme sallanarak doygun yüzey kuru (dyk) haline getirilir. İnce agregalarda ise malzemenin dyk haline geldiğini kesik koni yöntemiyle bakılır. Burada iki malzemenin de dyk ağırlığı (W_1), su ile dolu ölçü kabının ağırlığı (W_2) ve içine numune konmuş, su dolu kabın ağırlığı (W_3) ölçölür ve aşağıda belirtilen eşitlik (3.2)'deki gibi hesaplama yapılarak agreganın özgül ağırlığı bulunur.

$$S_a = W_1 / (W_1 + W_2 - W_3) \quad (3.2)$$

S_a = Agreganın özgül ağırlığı

W_1 = Numunenin ağırlığı

W_2 = Su ile dolu ölçü kabının ağırlığı

W_3 = İçine numune konmuş, su dolu kabın ağırlığı

Özgül ağırlık ile agreganın kökeni hakkında bilgi edinilebilmektedir. Düşük özgül ağırlık değeri; gözenekli, zayıf ve emici malzemeleri belirtir. Yüksek özgül ağırlık ise

malzemenin iyi kalitede olduğunu göstermektedir. Agreganın özgül ağırlık değeri, beton bileşeninde yer alacak malzeme miktarlarının hesaplanmasında kullanır. Dolayısıyla agreganın özgül ağırlığı beton karışımının uygunluğuna karar vermek için bir araçtır.

3.1.3.4. Agregalar Tane Şekli

Agregalar genel olarak yuvarlak, köşeli, yassı veya uzun tane şekilli olabilmektedir. Beton üretiminde daha çok yuvarlak ve köşeli agregalar kullanılmaktadır. Yuvarlak agregalar taneleri üzerinde keskin çıkıntılar yer almamakta, köşeli agregalar taneleri ise üzerinde keskin çıkıntılar bulunduran tanelerdir (Erdoğan, 2021). Köşeli agregalara kırma taş agregalar örneklerdir. Agregaların tane şekli, en büyük boyutun en küçük boyuta oranıdır. Türk standartlarında en büyük boyutu en küçük boyutundan 3 kat büyük olan taneler şekilce kusurlu taneler olarak tanımlanır. Eni, boyunun üçte biri veya fazla olan ince uzun agregalar kolay kırılır bu da beton dayanımını düşürmektedir. Bu sebeple tane büyüklüğü 8 mm ve üzerinde olan iri agregalardaki şekilce kusurlu (yassı ve uzun) tanelerin beton agregası olarak yassılık indeksi miktarı ağırlıkça %50'den çok olmaması istenir. Beton agregalarında genel olarak kusurlu tanelerin oranının %10 – 15'den fazla olmaması istenmektedir.

Agrega tanelerinin şeklinin belirleme yöntemi TS EN 933-3 ve TS EN 933-4 standardında ifade edilmektedir. TS EN 933-3 standardında agregaların yassılık indeksi belirlenmekte, TS EN 933-4 standardında ise şekil indeksi belirlenmektedir.

İri ve ince agregaların tane şekil özellikleri hem taze hem de sertleşmiş betonun özelliklerini etkilemektedir. İri agreganın pürüzlü olması betonun işlenebilirliği ve hareketliliğini olumsuz etkiler ve betonun pompalanmasında tıkanmalara neden olur. İnce agregalar tanelerin kusurlu olması beton karışımının su ihtiyacını artırarak taze betonun özelliklerini olumsuz etkiler ve taze betonda segregasyon (ayrışma) olayları görülebilir. Dolayısıyla bu durum sertleşmiş betonun mukavemetinin ve dayanıklılığının azalmasına neden olur (Richards, 1982).

Beton teknolojisinde yaşanan son gelişmeler, pürüzsüz bir yüzey dokusuna sahip agregalar ile çok yüksek dayanımlı (100 N/mm²) beton üretmeyi mümkün kılmaktadır.

3.1.4. Agregaların Mekanik Özellikleri

Beton agregaları kolayca kırılmayan, sağlam, aşınmaya dayanıklı ve sert olması istenmektedir. Yol, havaalanı gibi betonun sürekli aşınmaya ve çarpmaya maruz kaldığı yapılarda betonun bu etkilere dayanım sağlaması için kullanılan iri agregaların aşınmaya ve çarpmaya karşı dayanımının yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenle agreganın doğal koşullarını daha yakından incelemek için agrega mukavemetinin çeşitli yönlerini yani agrega aşınma ve parçalanma değerlerini araştırmak önem teşkil etmektedir. Agreganın aşınma dayanımı, basınç dayanımı, dona karşı dayanıklılığı ve sertliği betona etki yapan mekanik özellikleridir.

3.1.4.1. Agreganın Aşınmaya Karşı Dayanımı

Bünyesinde kayaç bulunan elemanlar aşınma olayının etkisinde kalırlar. Bu sebeple beton yol, havaalanı inşalarında kullanılan agregaların aşınma dayanımı önemlidir. Aşınma dayanımı, herhangi bir malzemenin darbe altında kırılmaya, parçalanmaya veya dağılmaya karşı gösterdiği dirençtir. Aşınmaya karşı direncin tayin etmek üzere TS EN 1097-1 standardında kullanılan yöntem Mikro-Deval Deneyi olarak bilinir. Bu deney agregaların aşınmaya karşı direncinin ölçülmesini kapsar. Deney belirtilen şartlar altında döner bir tambur içerisinde bulunan agregalar ile aşındırıcı malzeme arasındaki sürtünmenin neden olduğu aşınmanın ölçülmesidir. Dönme işlemi tamamlandığında, 1,6 mm göz açıklı elekte tutulan agrega yüzdesi belirlenir ve bulunan değer, Mikro-Deval katsayısının hesaplanmasında kullanılır. Agreganın Mikro-Deval katsayısı eşitlik (3.3)'deki gibi hesaplanır.

$$M_{DE} = 500 - m / 5 \quad (3.3)$$

M_{DE} : Mikro-Deval katsayısı (yaş olarak)

m: 1,6 mm göz açıklı elek üzerinde tutulan agrega kütlesi,

Betonların aşınma ve çarpmaya karşı etkisinin dirençli olması için yapımında kullanılan iri agreganın dayanımlı olması gerekmektedir. Aşınmaya karşı camsı agregalar, marnlar, şistler, killi kireçtaşları ve iri kristalli kayaçlar düşük dayanımlıdır. Aşınmaya karşı dayanım ve agreganın basınç dayanımı doğru orantılıdır.

3.1.4.2. Agreganın Parçalanmaya Karşı Dayanımı

İri agregaların parçalanma direncini tayini için TS EN 1097-2 standardında kullanılan yöntem Los Angeles Deneyi olarak bilinir. Deneyde agreg numunesi, dönen tamburda çelik bilyalar ile birlikte döndürülür. Tambur dakikada 30 – 33 devir yapacak hızda, önce 100 kez, sonra ek olarak 400 kez yani toplam 500 kez döndürülmektedir. Dönme işlemi tamamlanınca 1,6 mm açıklı elekte kalan malzemenin miktarı belirlenir. Agreganın Los Angeles katsayısı eşitlik (3,4)'deki gibi hesaplanır.

$$LA= 5000 - m / 50 \quad (3.4)$$

LA: Los Angeles katsayısı

m: 1,6 mm göz açıklı elek üzerinde kalan agreg kütlesi

Aşınmaya veya parçalanmaya dayanıklı agregalarda bilyalı tamburun 100 ve 500 devir döndürülmesi sonucu aşınma miktarı, sırasıyla %10 ve %50'den fazla olmamalıdır. Bu mekanik özellikler sadece iri agreg için araştırılmaktadır.

3.1.4.3. Agregaların Basınç Dayanımı

Agregaların basınç dayanımı, agreg tanelerinin kaynağını oluşturan kaya parçalarının basınç dayanımına bağlıdır. Kalite beton üretimi için agreg tanelerinin yeterli mukavemete sahip olması gerekir. Doğal olarak oluşmuş kum ve çakıl veya bunların konkasör denilen aletlerle parçalanması sonucu oluşan (kırm kum, kırmataş) agregalar çoğunlukla bu özelliktedir (Özyürek, 1995). Fakat basınç ve aşınma dayanımı düşük olan agregalar ile yüksek mukavemetli beton elde edilemez (Postacıoğlu, 1987). Bir diğer ifade ile agregaların mekanik dayanımı yüksek ise üretilen betonların da dayanımı yüksek olur. Mekanik dayanımının kontrolü için, basınç dayanımı ölçmek gerekir. Agreg dayanımı yalnızca normal dayanımlı beton üzerinde etkisi azdır. Diğer durumlarda agreganın granülometrisi, şekli, zararlı maddeleri bünyesinde bulundurması elde edilecek betonun kalitesini oldukça etkilemektedir.

3.1.4.4. Agregalarda Dona Dayanıklılık

Agrega taneleri donma-çözünme, ıslanma-kuruma, ıslanma-soğuma gibi fiziksel olaylar karşısında hacim değişikliği göstermektedir. Betonun dona dayanıklı olmasında agreg

önemli rol oynar. Bu yüzden bu şartlara maruz kalacak betonlarda kullanılan agreganın da dona dayanıklı olması beklenir. Donma-çözülme olaylarına maruz kalacak betonlarda kullanılacak agregaların dona dayanıklı olup olmadığının beton üretiminden önce kontrol edilmesi gerekmektedir.

Agregaların donmaya ve çözünmeye karşı dayanıklılığı TS EN 1367-1 standardına göre araştırılmaktadır. Agregaların donma-çözülme dayanıklılığını araştırmak için en çok kullanılan yöntemler, TS EN 1367-2 belirtilen magnezyum sülfat deneyi ve ASTM C 88’te belirtilen sodyum sülfat ve magnezyum sülfat deneyidir. Deney, ASTM C 88’e göre, agregalar önce sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözeltisine 16-18 saat sokulup çıkartılarak kurutulur ve bu işlem 5 kez tekrarlanır. Sonuç olarak agregalarda kırılma ve ufalanma olarak yer alacak olan ağırlık kaybı tayin edilir (Erdoğan, 2021). Agregalarda yer alabilecek maksimum ağırlık kaybı Tablo 3.2’de verilmektedir.

Tablo 3. 2. Dona dayanıklılık deneyinde agregada yer alabilecek maksimum ağırlık kayıpları (%)

Agrega Sınıfı	Sodyum Sülfat Çözeltisi	Magnezyum Sülfat Çözeltisi
İnce Agregası	10	15
İri Agregası	12	18

Dona dayanıklılığı, agreganın cinsi, petrografik yapısı ve granülometrisi önemli oranda etkilemektedir. Agreganın içinde bir miktar boşluk vardır. Agregaların boşluk oranı arttıkça, çevre etkilere ve donmaya karşı dayanıklılığı azalmaktadır (Ekmekyapar ve Örüng, 1997). Taneleri iri olan agreganın boşluk oranının az olması, tanelerin dayanımının artmasına neden olur. Dolayısıyla betonun mekanik dayanımını artırmak için dayanımı yüksek olan taneler tercih edilmeli ve beton üretiminde agreganın porozite değeri belirli bir değeri geçmemelidir (Postacıoğlu, 1975).

3.1.5. Agregalarda Bulunabilecek Zararlı Maddeler

Agrega tanelerin yüzeyinde veya aralarında bazı yabancı maddeler yer almaktadır. Bu maddelerin beton içerisinde oranı yüksek olursa beton özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Agregadaki zararlı maddeler, betonun katılaşmasına veya sertleşmesine zarar veren betonun dayanımını azaltan ve beton içindeki donatının, korozyona karşı korunmasını olumsuz etkileyen maddelerdir (Özkul ve diğ., 1999). Bu maddeler sınıflandırılırken dağılışı ve türüne göre, organik maddeler, ince maddeler (yıkanebilir maddeler), kil toprakları ve hafif maddeler olarak gruplandırılmaktadır.

3.1.5.1. Organik Maddeler

Agrega yığınının içerisine karışmış olan çürümüş bitkiler ve humus toprakları gibi organik maddeler yer alabilmektedir. Organik maddeler ince ve dağılmış durumda bulununca betonun sertleşmesini yavaşlatmaktadırlar. Humus, turba gibi organik maddeler, betonun katılaşmasını ve sertleşmesini yavaşlatıp dayanımın azalmasına neden olurlar (Yapıcı, 2002).

Organik maddeler çoğunlukla ince agreganın bünyesinde bulunmaktadır. Çünkü iri agregalar içerisindeki organik maddeler, agrega yıkanma işlemi ile temizlenir. Agreganın içerisindeki az organik madde olması bile betonun sertleşmesini geciktirebilir veya durdurabilir bunun için bu durumdan sakınılmalıdır (Gürbüz, 1998).

3.1.5.2. İnce Maddeler (Yıkanebilir Maddeler)

Türk standardında tane boyutu 0,063 mm'den az olan maddeler “ince madde” olarak tanımlanır. ABD ve İngiliz standartlarında ise tane boyutu 0,075 mm'den az olan taneler ince maddelerdir (Erdoğan, 2021).

Agrega tanelerinin yüzeyinde gevşek bir tabaka gibi yer alan kil ve agrega içerisindeki kil, silt ve taş unu gibi maddeler ince maddelerdir. Doğal (kırılmamış) iri ve ince agregaların içlerinde kil ve silt boyutlu malzemeler baskın iken, kırılmış kaya agregaların içlerinde ise taş unu malzemeler baskın şekilde yer alır. Beton üretiminde agreganın içerisinde bulunan ince maddelerin çok fazla olması istenmemektedir. Beton içerisinde ince madde oranının yüksek olması betonun kıvamı için gerekli su miktarını

artırmaktadır. Betonda artan su miktarı ile betonun büzülmesi artmakta, beton daha gözenekli hale gelerek, dayanımı ve dayanıklılığı düşmektedir. Eğer hem çok fazla ince madde içeren agregalar kullanılır hem de su miktarı sabit tutulursa, taze betonun işlenebilirlik özelliği azalmış olur.

TS standartları, ince agregalarda bulunabilecek çok ince madde içeriğinin %3'den az olması istenmektedir. ASTM standartları, aşınmaya maruz betonlarda ince agregalarda bulunabilecek maksimum ince madde miktarını %3 olarak belirtilmektedir. Diğer betonlarda, ince agregalar için maksimum ince madde miktarı %5'dir. İri agregalarda ise maksimum ince madde miktarı %1 olarak belirtilmektedir.

Agregalarda çok ince madde oranı, ince agregalarda %3 ve iri agregalarda %1'i aştığında bunların malzeme kalitesinin belirlenmesi gerekir. Bu malzemelerin çok ince tanelerinin kalitesini belirlemek için TS EN 933-8'e göre kum eşdeğeri ve TS EN 933-9'a göre metilen mavisi deneyi yapılmaktadır.

Beton üretiminde ince tanelerinin kalitesinin belirlenmesinde daha çok metilen mavisi deneyi yapılır. Bu deney, ince agregalarda veya gruplandırılmamış agregalarda (0-2) mm aralığının metilen mavisi değerinin tayini için yapılır. Deneyde metilen mavisi çözeltisi, su içerisindeki deney numunesi kısmında oluşan süspansiyonuna arka arkaya ilave edilir. Boya çözeltisinin deney numunesi kısmı tarafından adsorpsiyonu, çözeltinin her eklenmesinden sonra süzgeç kâğıdında bir leke deneyi yapılarak serbest boyanın varlığı belirlenir. Serbest boyanın varlığı teyit edildiğinde, metilen mavisi değeri (MB) eşitlik 3.5'deki gibi hesaplanır.

$$MB = (V_1 / M_1) \times 10 \quad (3.5)$$

M_1 : Deney numune kısmının kütlesi, gram.

V_1 : İlave edilen boya çözeltisinin toplam hacmi, ml.

3.1.6. Alkali Agregalar Reaksiyonu (AAR)

Alkali agregalar reaksiyonu (AAR) betonun genleşme ve çatlamalarına neden olan kimyasal bir reaksiyondur. Beton agregaları genel olarak kimyasal etkisi olmayan, tembel malzemeler olarak kabul edilmektedir. Ancak reaktif silika veya reaktif karbonat içeren

bazı agregalar, zamanla, betonun içerisindeki alkalilerle reaksiyona girerek betonda çok büyük genleşmelere yol açabilmektedir. Reaktif silika içeren agregalar ile alkaliler arasındaki reaksiyon “alkali-silika reaksiyonu” olarak adlandırılır.

Opalinli çörtler, kuvarsik çörtler, silisli kalkerler, silisli dolomitler, dasitler ve tüfleri, andezit ve tüfleri ve silisli şeyller, reaktif silis içerikli kaya türleridir. Ayrıca opal minerali oldukça düzensiz bir yapıya sahiptir ve silikanın en reaktif şeklidir. Betonun içerisinde yer alan alkaliler, betonda kullanılan çimentonun içerisinde bulunan alkaliden (Na_2O ve K_2O 'dan) kaynaklanmaktadır (Erdoğan, 2021).

3.1.6.1. Alkali Silika Reaksiyonu (ASR)

ASR, alkali agreg reaksiyonunun en yaygın şeklidir. Bu reaksiyon karmaşık ve karakterize edilmesi oldukça zordur. Betonun gözenekleri içerisindeki alkali hidroksitler ile agreg içindeki silika formları arasında bir alkali-silika jel üreten reaksiyonu içerirler. Bu jel suyu emebilir ve şişebilir. Su emme özelliği olan ürünler, suyu emdikçe şişip betonda içsel gerilmeleri oluşturarak betonun genleşmesine ve agreg ile onu çevreleyen çimento hamurunun çatlamasına sebep olur (Farny ve Kosmatka, 1998). Zararlı alkali silika reaksiyonunun gerçekleşebilmesi için, aşağıdaki üç olayın olması gerekmektedir:

- a) Kritik miktarda reaktif silika içeren agregaların olması,
- b) Betonda yeterince alkali bir gözenek çözeltisi,
- c) Ortamda yeterli nemin olması

Bu koşullardan herhangi biri olmadığında alkali silika reaksiyonu nedeni ile genleşme yani çatlak oluşumu olmayacaktır.

Beton yapımında kullanılacak agreganın mümkün olduğu kadar reaktif silika içermemesi gerekmektedir. Kullanılan çimentodaki $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ miktarının %0,6'dan fazla olmaması istenmektedir (Neville, 1981).

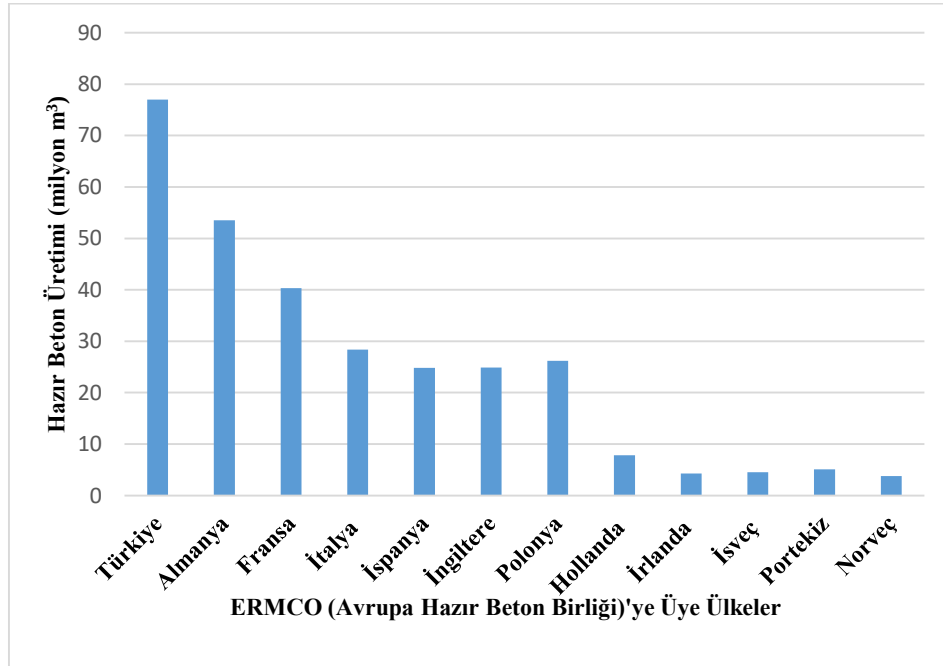
Agregaların petrografik incelemelerinin yanı sıra, agregaların reaktif olup olmadıklarını belirlemek için, TS 2517, ASTM C 227 ve ASTM C 289 numaralı standartlarda bazı deney yöntemleri belirtilmektedir. Burada mevcut deneyler arasında en çok kullanılanı harç çubuklarının denendiği yöntemdir (ASTM C 227). Bu yöntemde, agreg kum

boyutunda öğütüldükten sonra çimento ve suyla karıştırılarak elde edilen harçtan 25 x 25 x 286 mm boyutlu numuneler üretilir. Harç numunelerinin boyu zaman içerisinde ölçülerek genleşme olup olmadığı araştırılır. Harç numunelerin boyu 3 ay sonra %0,05 ve 6 ay sonra %0,10'dan fazla olursa, agreganın reaktif olduğu ve betonda kullanımının zararlı olduğu sonucuna ulaşılır.

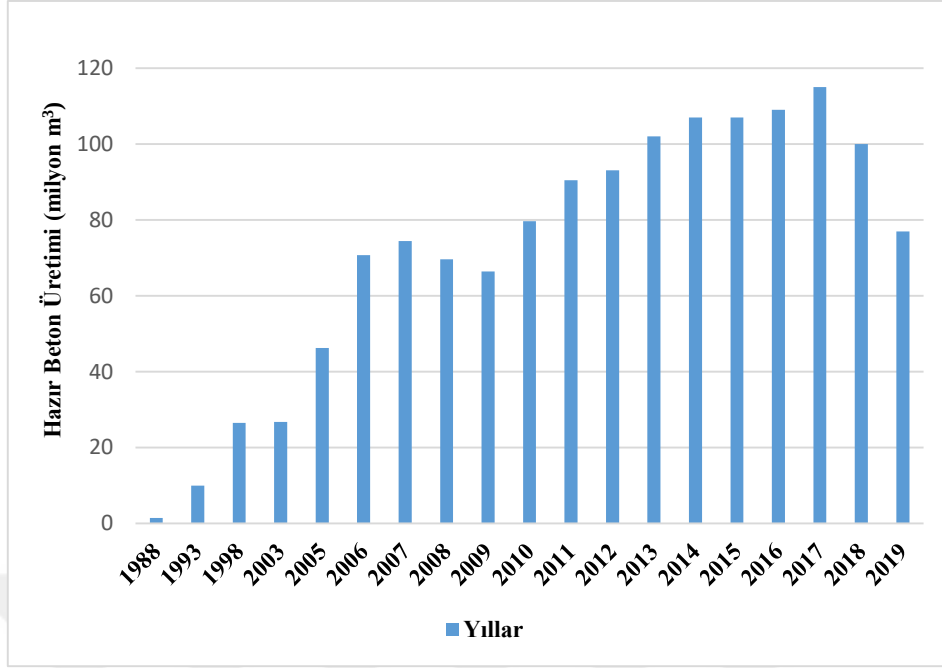
3.2. Betonun Tanımı

Beton, çimento, su, agrega ve gerektiğinde bazı kimyasal katkı maddelerinin karışımı sonucunda oluşan, başlangıçta plastik (şekil verilebilir) bir karışım durumunda olan beton, zamanla çimento ve su arasında kimyasal reaksiyonun artarak gelişmesiyle katılaşır sertleşerek dayanım kazanan bir yapı malzemesidir (Erdoğan, 2021).

Çevremizde yapılan, binalar, yollar, barajlar, köprüler, otoparklar, alışveriş ve iş merkezleri gibi birçok yapının betondan yapıldığı bilinmektedir. Beton ilgili Şekil 3.6'da ERMCO (Avrupa Hazır Beton Birliği)'ne üye ülkelerin 2019 yılında hazır beton üretim miktarları görülmektedir. Şekil 3.7'de ise Türkiye'de yıllara göre toplam hazır beton üretimi miktarı görülmektedir. Bu istatistikler Türkiye Hazır Beton Birliği'nde yayınlanan 2019 yılı hazır beton istatistiklerine göre hazırlanmıştır.



Şekil 3. 6. 2019 yılı ERMCO' ya ülkelerin hazır beton üretimi



Şekil 3.7. Türkiye'de yıllara göre toplam hazır beton üretimi

Beton, günümüzde irili ufaklı birçok yapıda kullanılmakta olan en yaygın malzeme olmasında; diğer yapı malzemelerine göre betonun ekonomik olması, üretiminde daha az enerji tüketilmesi, kolay şekil verilebilir olması, dayanıklı olması, her yerde üretilebilir ve estetik özellikleri nedeniyle beton, en yaygın kullanılan yapı malzemesidir.

Beton çimento, ince agrega, kaba agrega, su ve ilaveten çeşitli kimyasal ve/veya mineral katkıları içeren kompozit malzemedir. Bu malzemelerin, karışımı ile oluşan malzemelerin genel tanımı Tablo 3.3'te verilmiştir.

İyi bir beton üretimi için tüm ince agrega tanelerinin çimento hamuruyla, tüm kaba agrega tanelerinin de harçla bütünüyle kaplanmış olması gerekir. Bağlayıcı malzeme olan çimentonun su ile hidrasyonu sonucu beton dayanım kazanır (Özkul ve diğ., 1999).

Tablo 3.3. Çimento hamuru, harç ve betonun genel tanımı

Malzeme	Bileşimi
Çimento Hamuru	Çimento + Su
Harç	İnce Agrega + Çimento Hamuru
Beton	Kaba Agrega + İnce Agrega + Çimento Hamuru

3.2.1. Betonların Sınıflandırılması

Beton, TS EN 206:2013+A1 standardına göre 3 sınıfa ayrılmıştır:

Normal beton: Etüv kurusu durumdaki yoğunluğu, 2000 kg/m^3 'den büyük olup, 2600 kg/m^3 'ü geçmeyen betonlardır. Bu betonlar daha çok ayrıcalık istenmeyen bina inşaatlarında kullanılır. Kolay işlenebilme, yüksek dayanım ve ekonomik olması nedeniyle diğer betonlara göre daha yaygın kullanılmaktadır. Ayrıca bu betonlarda agrega taneleri en sağlam unsur olduğundan, diğer iki unsur olan çimento hamuru ve aderans mukavemeti belirlemektedir.

Hafif beton: Etüv kurusu durumdaki yoğunluğu, 800 kg/m^3 büyük olup, 2000 kg/m^3 'ü geçmeyen betonlardır. Hafif betonun en yaygın ve ekonomik üretimi kullanılan agreganın bir kısmı veya tamamı hafif agregalarla üretilen betonlardır. Dayanım-ağırlık oranının yüksek olması gerektiği veya yalıtım amaçlı olarak kullanılırlar.

Ağır Beton: Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2600 kg/m^3 'den büyük olan betonlardır. Nükleer santraller ve radyasyon kalkanı olarak kullanılacak yerlerde, bazı özel agregalar kullanılarak üretilen ağır betonlar kullanılır. Betonlar yapı üretiminde birim ağırlık ve dayanım bakımından; normal beton, yüksek dayanımlı beton ve hafif beton gibi farklı betonlar kullanılmaktadır. Burada genel olarak basınç dayanımı 50 MPa üzerinde olan betonlar yüksek dayanımlı beton olarak tanımlanmaktadır. Yüksek dayanımlı betonlar boşluk oranının düşük olması nedeniyle ısı iletim katsayıları normal betondan yüksektir.

3.2.2. Betonu Oluşturan Malzemeler

Beton ince agrega, kaba agrega, çimento ve sudan oluşur. Bu malzemeler betonun iki bileşenini oluştururlar. Çimento ve su beraber çimento hamurunu; ince ve kaba agregalar da agrega bileşenini oluştururlar. Betonda bir miktarda hava bulunur. Ayrıca, betonun özelliklerini geliştirmek amacıyla, çeşitli kimyasal ve mineral katkıları da kullanılabilir (Özkul ve diğ., 1999).

3.2.2.1. Beton Karışım Suyu

Beton malzemelerinin karılmasında kullanılan karışım suyunun iki önemli görevi vardır.

Bunlardan ilki, çimento ile birleşerek hidratasyonun yer almasını sağlamak. İkincisi ise, betonun karılma işleminde agrega ve çimento tanelerinin yüzeyini ıslatarak üretilen taze betonun istenilen işlenebilmeyi sağlamaktır.

Beton üretiminde kullanılacak karışım suyunun kalitesi ve miktarı beton özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Beton karışımındaki sular farklı kaynaklardan elde edilmektedir. TS EN 206:2013+A1'e göre karma suyu TS EN 1008'e uygun olması istenmektedir.

3.2.2.2. Çimento

Çimento, betonda bağlayıcı malzeme özelliğine sahiptir. Çimentonun sağladığı bağlayıcılık özelliği, bu malzemenin su ile karılması sonucu elde edilir. Çimento ve suyun oluşturduğu malzeme ise çimento hamuru olarak adlandırılır. Çimento hamuru başlangıçta, plastik yani şekil verilebilir durumdadır. Daha sonra çimento ve su arasında olan kimyasal reaksiyonların (hidratasyonun) etkisiyle, zamanla çimento hamuru katılaşmakta ve tamamen sertleşmiş bir durum haline gelmektedir. Betonda esas olarak, çimento hamuru ve agregalardan oluşmaktadır. Betonda kullanılan çimentoların TS EN 197-1'e uygun olmalıdır.

3.2.2.3. Katkı Maddeleri

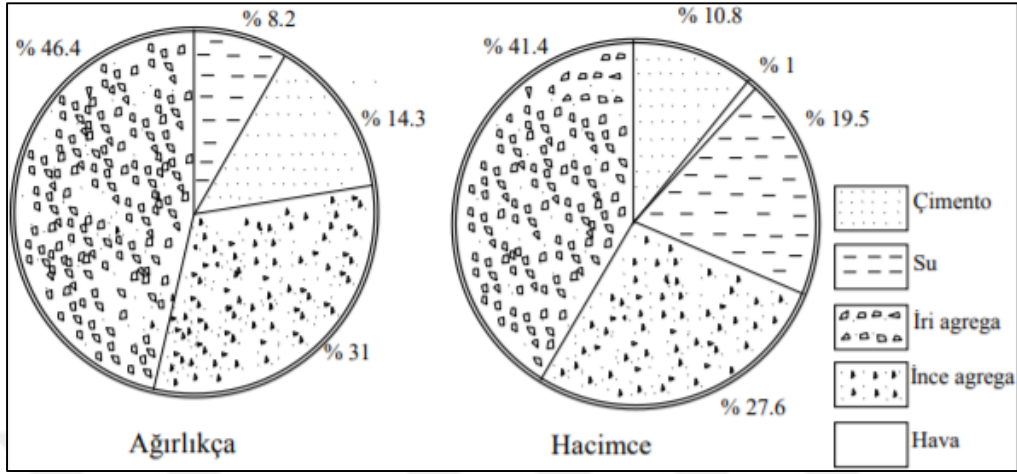
Beton karışımında kullanılan malzemelerin (çimento, agrega ve su), karılma işleminden hemen önce veya karılma işlemi esnasında beton karışım içerisine katılan malzemeye “beton katkı maddesi” denir. TS EN 934-2 numaralı standartta kimyasal katkı maddelerinin çimento kütlesinin %5'inden fazla olmaması istenmektedir.

Beton katkı malzemeleri, betonun bazı özelliklerini geliştirerek performansını artırabilmek ve betonun daha ekonomik hale getirmek için kullanılır. Ayrıca beton katkı maddeleri; kimyasal, hava sürükleyici, mineral ve değişik tiplerdeki diğer katkı maddeleri olarak dört sınıfa ayrılmaktadır.

3.2.3. Betonun Bileşimi

Genel olarak betonun hacminin, yaklaşık %70 oranını agrega, %10 oranında çimento ve %20 oranında hava ve sudan oluşmaktadır (Şekil 3.8). Gerektiğinde ise çimento

kütlesinin en fazla %5'i kadar kimyasal katkı maddesi ilave edilebilir. Ancak bu oranlar çimento tipine ve diğer faktörlere bağlı olarak değişebilir.



Şekil 3. 8. Beton karışımında kullanılan malzemelerin oranları (Arioğlu ve diğ., 2006)

Çimento, karışımın oranca en düşük yüzdesini oluştursa da betonda çok önemli bir bileşendir. Çimento, diğer her malzemeyi bir arada tutan bağlayıcı bir özelliği vardır. Ayrıca hazır betonun karışımının yerleştirildikten sonra katılaşp sertleşmesini sağlayan malzemedir. Beton üretiminde kullanılan malzemeler arasında en pahalı olanı çimentodur. Agreganın maliyeti çimento maliyetine göre çok daha düşüktür. Bu nedenle istenen kalitede betonu elde edebilmek kaydıyla, betonda mümkün olduğunca çok miktarda agregat kullanılması betonun daha ekonomik olmasını sağlamaktadır.

Beton karışımının etkili olması için betonda bir miktar küçük hava kabarcıkları olması gereklidir. Çünkü hava katılmış olan çimento, fazla suyun donma-çözünme döngüsü boyunca hareket ederken genleşme özelliğine sahip olmasını sağlar. Bu hava kabarcıkları mikroskobik olarak küçük olmalı, aksi halde sürülen hava sıkışmış havaya dönüşerek betonda büzülme ve çatlamaya neden olabilmektedir.

Su, beton karışımında diğer tüm temel bileşenler arasında en büyük etkiye sahip bileşendir. Bilindiği gibi karışıma ne kadar çok su koyarsak, o kadar sertleşmiş betonun dayanımı azalır. Çok fazla miktarda su ilave edilirse betonda büzülme ve çatlamalar olabilir. Bu fazla su, sertleşmiş betondan buharlaşarak, betonun büzülmesine ve sonunda çatlamasına neden olacaktır. Ayrıca çimentonun hidratasyon yapabilmesi için beton karışımında kesinlikle su kullanılması gerekmektedir. Bu suyun, çimento ağırlığının

yaklaşık olarak dörtte biri kadar olmalıdır. Ama su betona işlenebilirlik de sağladığı için, beton bileşimine çimentonun hidratasyonu için gerekenden 2-3 kat daha fazla su katılmalıdır (Uçar, 2008).

Agregalar, çimentodan hem daha dayanımlı hem de daha uygun maliyetli olduğundan, beton karışımını daha ekonomik hale getirmektedir. Beton karışımı için ince agrega ve iri agrega gradasyonunun iyi olması gerekmektedir. Agrega gradasyonu iyi olmadığı zaman, istenilen işlenebilmeyi sağlamak için betona daha fazla su katılması gerekir, böylece agrega su/çimento oranını artırarak betonun dayanımının düşmesine neden olur.

Katkı maddeleri betonun taze halinin ve sertleşmiş halinin özelliklerini amaca uygun olarak değiştiren ve geliştiren maddelerdir. Beton bileşimine çok az miktarda katılan bu maddeler taze betonun işlenebilme, kıvam, su ihtiyacı ve priz süreleri gibi özelliklerini istenildiği yönde değiştirme özelliğinde etkilidir. Ayrıca katkı maddeleri, sertleşmiş betonun çevreden veya ortamdan kaynaklanan yıpratıcı etkilerine karşı daha dayanıklı olmasını da sağlarlar. Bu katkı maddeleri ek maddi bir artışa neden olacağı için beton özelliklerinde istenen değişiklikler başka yollardan elde edilemediğinde tercih edilir.

3.2.4. Taze Betonun Özellikleri

Karılma işlemi yapılmış ama henüz tamamen katılaşmamış, şekil verilebilir durumdaki betona taze beton denir. Betonun taşınıp kalıplardaki yerini alması, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi gibi işlemler, beton şekil verilebilir durumdayken yapılır. Sertleşmiş durumdaki betondan istenilen büyüklükte dayanım ve dayanıklılığına elde edilebilmesi için taze betonun aşağıdaki özellikleri göstermesi gerekir:

- a) Beton üretimindeki malzemeler kolayca karılabilir olmalı
- b) Taze beton, kolayca taşınabilir, yerleştirilebilir ve sıkıştırılabilir olmalı
- c) Yerine yerleştirilip sıkıştırılan taze betonun içerisinde bulunan su, hidratasyonun devam edebilmesi için, mümkün olduğu kadar beton içerisinde kalmalı yani su beton yüzeyine çıkarak terleme göstermemeli
- d) Kalıbına yerleştirilen ve sıkıştırma işlemi yapılan taze betonun yüzeyi kolayca düzeltilebilir olmalı
- e) Taze betonun priz süresi, betonun kullanılacağı ortama uygun uzunlukta olmalıdır.

Beton üretiminde işlenebilme, taze betonun en önemli özelliğidir. Çünkü yeterli işlenebilme özelliğine sahip olmayan taze beton, sertleştiğinde yeterli dayanım ve dayanıklılık gösteremez. Taze betonun kolayca karılabilmesi, segregasyon (ayırışma) yapmadan taşınabilmesi, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve yüzeyinin düzeltilmesi betonun ne ölçüde işlenebilir olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu özelliklerin tümü işlenebilme adı altında ifade edilir.

3.2.5. Sertleşmiş Betonun Özellikleri

Betonun katılaşma olayından sonraki safhadaki durumu sertleşmiş beton olarak adlandırılır. Sertleşmiş betondan istenilen asıl hedef kendisinden beklenen özellikleri gösterebilecek kalitede olmasıdır. Sertleşmiş betondan beklenen başlıca özellikler aşağıda verilmiştir:

- a) Beton basınç dayanımı, 7 ve 28 günlük gibi herhangi bir yaş için hedeflenmiş olan minimum beton dayanımından düşük bir dayanım göstermemelidir.
- b) Çevredeki suyun ve diğer sıvıların beton içerisine kolayca girerek olumsuz etki oluşturmaması için geçirimsiz bir yapıda olmalıdır.
- c) Yapıda hizmet gördüğü süre içerisinde çevrede oluşan olumsuz etkenler karşısında yeterince dayanıklı olmalıdır.
- d) Hacim sabitliğine yeterli ölçüde sahip olmalı yani çatlamalara yol açacak ölçüde büzülme (rötre) veya genleşme göstermemelidir.

Sertleşmiş betondan beklenen performans, önemli ölçüde taze beton özelliklerine bağlıdır. Sertleşmiş betonun özelliklerini büyük ölçüde etkileyen başka faktörler de vardır. Bunlar, taze betonun uygun tarzda taşınması, yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzgünleştirilmesi ve hidratasyonun sağlıklı şekilde gerçekleşebilmesi için kür edilmesi (bakım) işlemleridir. Bu işlemler uygun tarzda yerine getirilirse, sertleşmiş betondan beklenen özellikler elde edilebilir. Bir diğer deyişle sertleşmiş betonun özelliklerinin çoğu, beton üretiminin her aşamasında gösterilen özene bağlıdır.

3.2.6. Betonun Üretim Süreci

Kaliteli beton üretimi için yapılması gereken ilk iş, betonu oluşturacak malzemelerin seçilmesi, özelliklerinin belirlenmesi ve bu malzemelerin hangi oranlarda

kullanılacaklarının doğru bir şekilde hesaplanması işlemidir. Bu malzemelerin karışım oranlarını hesaplamadan önce ne kalitede bir beton istendiğinin yani istenen betonun nasıl bir işlenebilmeye, ne büyüklükte dayanım ve dayanıklılığa sahip olması gerektiğinin bilinmesi gerekir. Tabi betonda kullanılan malzemelerin (çimento, agrega, su ve katkı maddeleri) beton kullanımı için gerekli olan kalite kontrol deneylerinden başarıyla geçmiş olmaları, karışım hesabı yapılmış olmalı ve bu karışım hesabı sonucu üretilen betonlardan alınan örnek deneme numuneler ile kaliteli olduğu sonucuna ulaşılmalıdır. Ancak beton üretiminde kullanılan malzemelerin iyi kalitede olmaları ve malzeme oranlarının uygun tarzda hesaplanmış olması, elde edilecek sertleşmiş betonun iyi olacağını garanti edemez. Bu yüzden betonun üretim aşamaları eksiksiz olarak yerine getirilmelidir. Beton üretim aşamaları şu şekilde sıralanabilir:

- a) Kullanılacak malzemelerin temini ve malzemelerin standartlara uygun olması
- b) Karışım hesaplarının yapılması, beton harmanının oluşturulması ve karılma işlemi (taze betonun üretimi)
- c) Taze betonun taşınması
- d) Taze betonun yerine yerleştirilmesi
- e) Taze betonun sıkıştırılması (konsolidasyon)
- f) Taze betonun yüzeyinin düzeltilmesi
- g) Betonun bakımı (kür)

Beton üretiminde esas olarak iki ana hedef vardır; Betonun istenilen özelliklere ve kaliteye sahip olması ve bu kaliteli betonun en ekonomik tarzda üretilmiş olması beklenmektedir.

4. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalara ilk olarak konu ile ilgili literatür araştırması ile başlanmıştır.

4.1. Malzeme

Bu çalışma kapsamında Gebze ve Kandıra Bölgeleri'ndeki kırmataş ocakları ve çevresinde saha çalışmaları yapılmış ve laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere altışar adet farklı özelliklere sahip kireçtaşı ve bazalt örnekleri alınmıştır (Şekil 4.1). Petrografik tanımlama için kireçtaşı ve bazalt örneklerinin makro özellikleri tanımlanmış ve mikro özelliklerinin belirlenmesi için ince kesitler hazırlanmıştır. Ayrıca bu örnekler ile kaya malzemelerinin tek eksenli basınç dayanım deneyi de yapılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4. 1. Kireçtaşı ve bazalt örneklerinin görünümü

Kaya numuneleri, Gebze ve Kandıra taşocaklarında agrega üretiminin yapıldığı kırma-eleme tesislerinde boyut küçültme ve sınıflandırma işlemine tabii tutularak, deneylerde kullanılmak üzere 3 farklı fraksiyonda sınıflara ayrılmıştır (kırma kum, kırmataş 1 ve kırmataş 2). Elde edilen bu 3 farklı boyuttaki agrega numuneleri standart agrega ve beton deneylerinde kullanılmıştır (Şekil 4.2). Agregası ve beton deneylerinde sedimanter kökenli agrega olarak Gebze taş ocağından temin edilen kireçtaşı agregası, magmatik kökenli agrega olarak Kandıra taş ocağından temin edilen bazalt agregası kullanılmıştır. Kireçtaşı agregaları ve bazalt agregaları kullanılarak hazırlanan beton karışımlarında bağlayıcı

olarak çimento, ince agrega olarak doğal kum, beton özelliklerini geliştirebilmek amacıyla ise süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı malzemesi kullanılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4. 2. Agrega ve beton deneylerinde kullanılan malzemeler

4.2. Arazi Çalışmaları

Gebze ve Kandıra Bölgelerinde yer alan taş ocakları ve çevresinde arazi çalışmaları yapılmıştır. Saha çalışmalarında stratigrafik istif tanımlanmaya çalışılmış, arazide birimleri karakterize eden yerlerde fotoğraf çekimleri yapılmıştır. Özellikle agrega üretimi yapılan birimler (kireçtaşı ve bazalt) detaylı olarak incelenmiştir. Bölgede üretilen agregalardan hem kayaç örneği hem de agrega örnekleri laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere alınmıştır. Ayrıca Gebze Bölgesi ve Kandıra Bölgesinin jeoloji haritası önceki çalışmalardan da yararlanılarak hazırlanmıştır.

4.3. Laboratuvar Çalışmaları

Arazi çalışmalarında alınan kireçtaşı ve bazalt örnekleri kullanılarak, agrega ve beton deneyleri için laboratuvar numune hazırlanmıştır. İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemesi Laboratuvarı ve İsmail Demirtaş Beton A.Ş. Merkez Laboratuvarında yapılan ayrıntılı deney ve araştırmalar sonucunda, Gebze ve Kandıra Bölgeleri'ndeki kireçtaşı ve bazaltların beton agregası olarak kullanılabilirlikleri karşılaştırılmıştır.

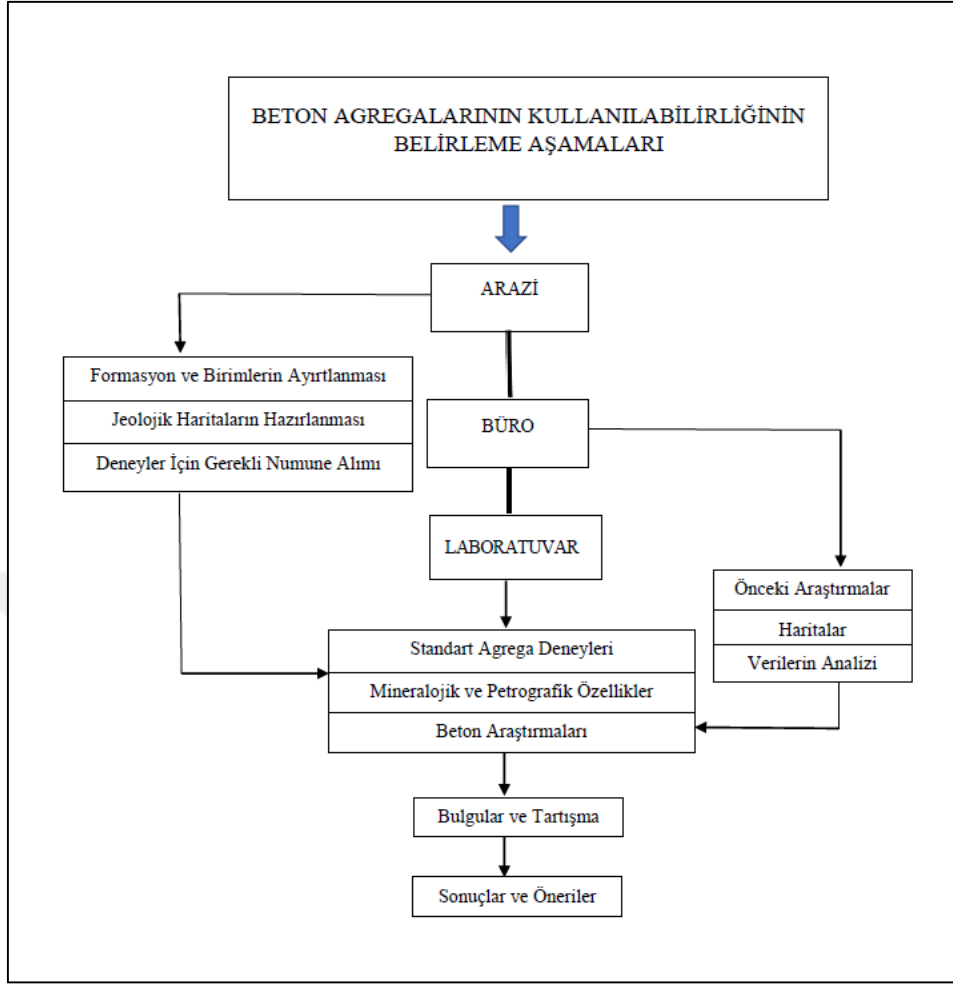
Deneysel çalışmalara Gebze ve Kandıra Bölgeleri'nden alınan kireçtaşı ve bazalt kaya numunelerinden ince kesitler hazırlanarak polarizan mikroskobu ile mineralojik ve petrografik özellikleri araştırılarak başlanmış, bu araştırmalar kimyasal analiz (XRF) ve XRD analizleri ile desteklenmiştir. Kırmataş üretim tesislerinden alınan agrega numuneleri kullanılarak standart agrega deneyleri yapılmıştır. Agrega deneyleri ile farklı özellikteki kireçtaşı ve bazaltların, fiziksel kimyasal ve mekanik özellikleri TS EN 706 12620 Standardına uygun olarak araştırılmıştır. Agrega örneklerinin alkali agrega reaksiyon riski ASTM C 1260 ve TS 2517 Standartlarına göre araştırılmıştır. Aynı agrega örnekleri kullanılarak iki farklı beton tasarımları hazırlanmış ve deneme betonlar üretilmiştir. Bu üretilen betonlardan taze beton ve sertleşmiş beton deneyleri yapılarak agregaların beton özelliklerine etkileri araştırılmıştır.

Laboratuvar çalışmaları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji-Petrografi Laboratuvarı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemesi Laboratuvarı ve İsmail Demirtaş Beton A.Ş. Merkez Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca XRF analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümündeki akredite Doğaltaş Analiz Laboratuvarı'nda bulunan kimyasal analiz cihazında, XRD analizleri ise Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır.

4.4. Büro Çalışmaları

Büro çalışmaları, saha çalışmalarına başlamadan önce literatür araştırması ile başlamış ve çalışmaların sonuna kadar bu araştırmalar devam etmiştir. Literatür araştırmaları kapsamında Mühendislik Jeolojisi Bülteni, Ulusal Kırmataş Sempozyumları, Beton Kongresi Bildirileri detaylı olarak incelenmiş ve internet ortamında bölge ile ilgili ulusal ve uluslararası yayınlar araştırılmıştır.

Saha çalışmaları ve laboratuvar çalışmalarında elde edilen bütün veriler, bilgisayar ortamına aktarılarak, incelenen iki bölgenin jeolojik özellikleri, agrega ve beton özellikleri çeşitli tablolar ve grafikler ile yorumlanmıştır. Kireçtaşı ve bazalt agregalarının beton agregası olarak kullanımının uygun olup olmadığı değerlendirilerek, normal ve yüksek dayanımlı betonda kullanılabilirlikleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4. 3. Çalışma yöntemi akış diyagramı

5. AGREGA VE BETON İLE İLGİLİ DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmaları, beton üretiminde kullanılan agreganın fiziksel, kimyasal, mekanik ve mineralojik-petrografik özelliklerini tespit etmek için, TS 706 EN 12620 (2009) standardına uygun deneylerin yapılması ve betonun özelliklerini belirlemek için ise, TS EN 206:2013+A1 (2017) Standartları'nda önerilen yöntemler esas alınarak, gereken deneylerin yapılması oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen mineralojik-petrografik laboratuvar deneyleri İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Standart agrega deneyleri ve beton deneyleri ise İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemesi Laboratuvarı ile İsmail Demirtaş Beton Merkez Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında yapılan laboratuvar deneyleri ve bu deneylere ait standartlar Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5. 1. Tez kapsamında yapılan deneyler ve ilgili standartlar

Deneylerin Adı	Deney Standartları
Tane boyu dağılımı	TS EN 933-1 (2012)
Doygun Özgül Ağırlık (yüzey kuru)	TS EN 1097-6 (2013)
Su emme	TS EN 1097-6 (2013)
Çok ince malzeme muhtevası	TS EN 933-1 (2012)
Metilen mavisi deneyi	TS EN 933-9+A1 (2014)
Yassılık endeksi	TS EN 933-3 (2012)
Los Angeles parçalanma dayanımı	TS EN 1097-2/D1 (2016)
Mikro-Deval aşınma dayanımı	TS EN 1097-1 (2011)
Magnezyum Sülfat deneyi	TS EN 1367-2 (2010)
Kayanın tek eksenli basınç dayanımı	TS 699/T1 (2016)
Alkali-Silika reaktivitesi	ASTM C 1260 (2014)
Kimyasal analiz yöntemi	TS 2517
Mineralojik ve petrografik analiz	TS 10088 EN 932-3/A1 (2006)
Betonun çökme deneyi	TS EN 12350-2 (2019)
Betonun birim ağırlığı	TS EN 12350-6 (2019)
Betonun serbest basınç dayanımı	TS EN 12390-3 (2019)

5.1. Agregaların Fiziksel ve Mekanik Deneyleri

Gebze ve Kandıra bölgesinde yüzeyleme veren kireçtaşları ve bazaltlardan elde edilen agregalar üzerinde gerçekleştiren araştırmalarda, TS 706 EN 12620 Standartları'nda önerilen yöntemler esas alınarak deneyler yapılmıştır. Bu kısımda kireçtaşı ve bazalt agregalarının; tane büyüklüğü dağılımı, özgül ağırlık ve su emme, metilen mavisi değeri, yassılık endeksi, agrega parçalanmaya karşı dayanımı (Los Angeles Oranı), agrega aşınmaya karşı dayanımı (Mikro-Deval Oranı) ve magnezyum sülfat değeri belirlenmiştir. Ayrıca kaya malzemelerinin tek eksenli basınç dayanımı deneyi de yapılmıştır.

5.1.1. Tane Büyüklüğü Dağılımı

Gebze ve Kandıra bölgelerindeki kırmataş ocaklarından alınan kireçtaşları ve bazaltların, tane büyüklüğü dağılımını belirlemek için elek analizi deneyi yapılmıştır. Deney TS EN 933-1 (2012) standardına uygun olarak yapılmıştır. Birimlere ait elek analizi sonucu elde edilen değerler Tablo 5.2, Tablo 5.3, Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'de verilmiştir.

Tablo 5. 2. Gebze kireçtaşı agregalarının elek analizi sonuçları

Gebze Kireçtaşı 1	Kırma Kum	Kırmataş 1	Kırmataş 2
Elek Aralığı (mm)	Elek Altı %Geçen		
22,4	100	100	100
16	100	100	68
11,2	100	93	8
8	100	52	1
5,6	100	17	0
4	91	0	0
2	65	0	0
1	45	0	0
0,5	30	0	0
0,25	21	0	0
0,125	13	0	0
0,063	7	0	0

Tablo 5. 3. Gebze kireçtaşı agregalarının elek analizi sonuçları

Gebze Kireçtaşı 2	Kırma Kum	Kırmataş 1	Kırmataş 2
Elek Aralığı (mm)	Elek Altı %Geçen		
22,4	100	100	100
16	100	100	56
11,2	100	93	9
8	100	48	1
5,6	100	13	0
4	98	3	0
2	83	0	0
1	50	0	0
0,5	32	0	0
0,25	15	0	0
0,125	10	0	0
0,063	8	0	0

Elek analizi ile betonda kullanılacak agregaların en büyük tane boyutu (D_{max}) ve her elekten geçen agrega yüzdesi ile agregaların granülometri eğrisi belirlenir. Bu eğrinin, standartta verilen granülometri eğrisi sınırları içerisinde kalması istenmektedir. Beton üretiminde kullanılan agregaların tane boyutları, taneler arasındaki boşlukları doldurabilecek boyutlarda olmalıdır. Uygun, işlenebilirliği yüksek, ayrışmaya neden olmamış, geçirimsiz ve üniform bir beton üretimi ancak ideal agrega tane dağılımı (granülometri) ile elde edilir.

Tablo 5. 4. Kandıra bazalt agregalarının elek analizi sonuçları

Kandıra Bazalt 1	Kırma Kum	Kırmataş 1	Kırmataş 2
Elek Aralığı (mm)	Elek Altı %Geçen		
22,4	100	100	100
16	100	100	96
11,2	100	94	25
8	100	47	5

Tablo 5. 4. (Devam) Kandıra bazalt agregalarının elek analizi sonuçları

5,6	98	11	3
4	89	3	0
2	46	0	0
1	26	0	0
0,5	18	0	0
0,25	10	0	0
0,125	5	0	0
0,063	4	0	0

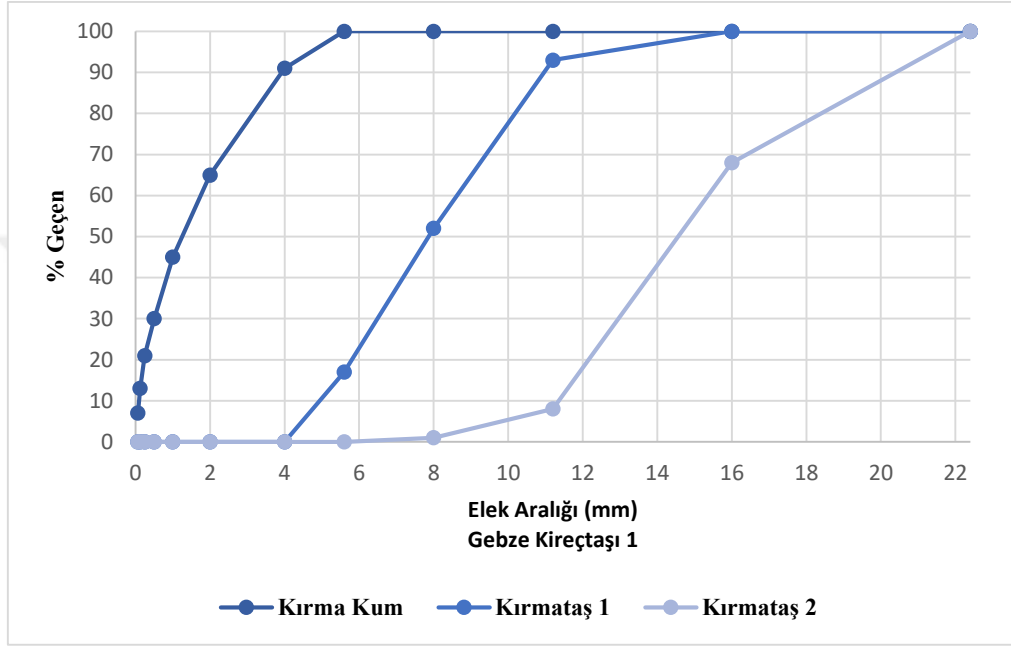
Tablo 5. 5. Kandıra bazalt agregalarının elek analizi sonuçları

Kandıra Bazalt 2	Kırma Kum	Kırmataş 1	Kırmataş 2
Elek Aralığı (mm)	Elek Altı %Geçen		
22,4	100	100	100
16	100	100	95
11,2	100	98	17
8	100	75	3
5,6	97	23	1
4	85	8	0
2	44	0	0
1	16	0	0
0,5	9	0	0
0,25	7	0	0
0,125	6	0	0
0,063	4	0	0

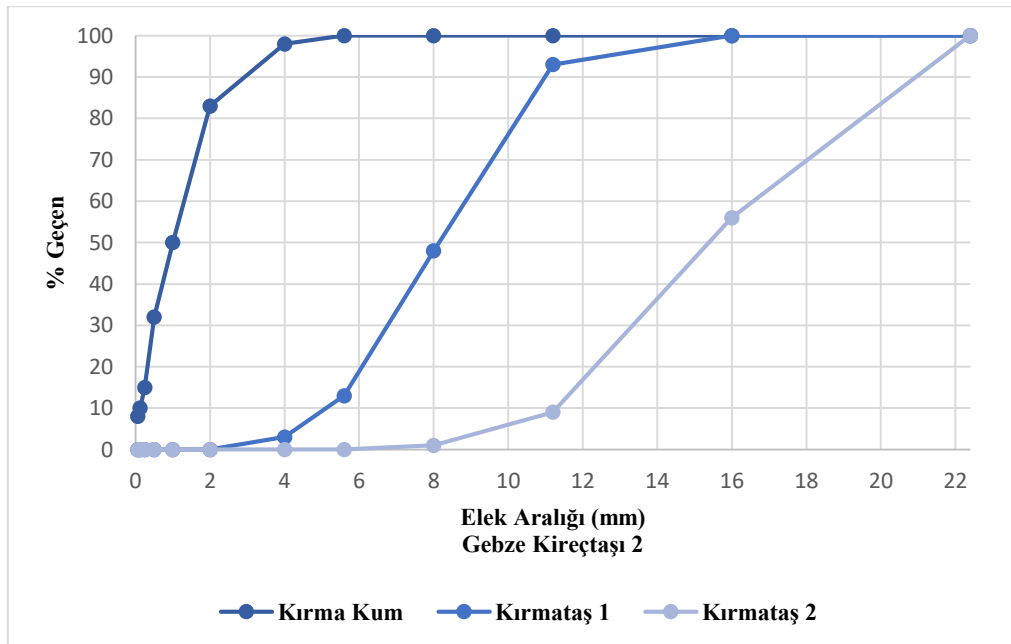
Agregalarda aradaki boşluğu azaltmak için farklı tane boyutunda oluşan agregalar kullanılmalı bunun için ideal agrega granülometri eğrisi belirlenmesi gerekmektedir. Bu

ideal eğriler, agreganın en büyük tane boyutuna (D_{max}) göre çizilir. Agreganın en büyük tane boyutu (D_{max}) ise elek analizi ile belirlenmektedir.

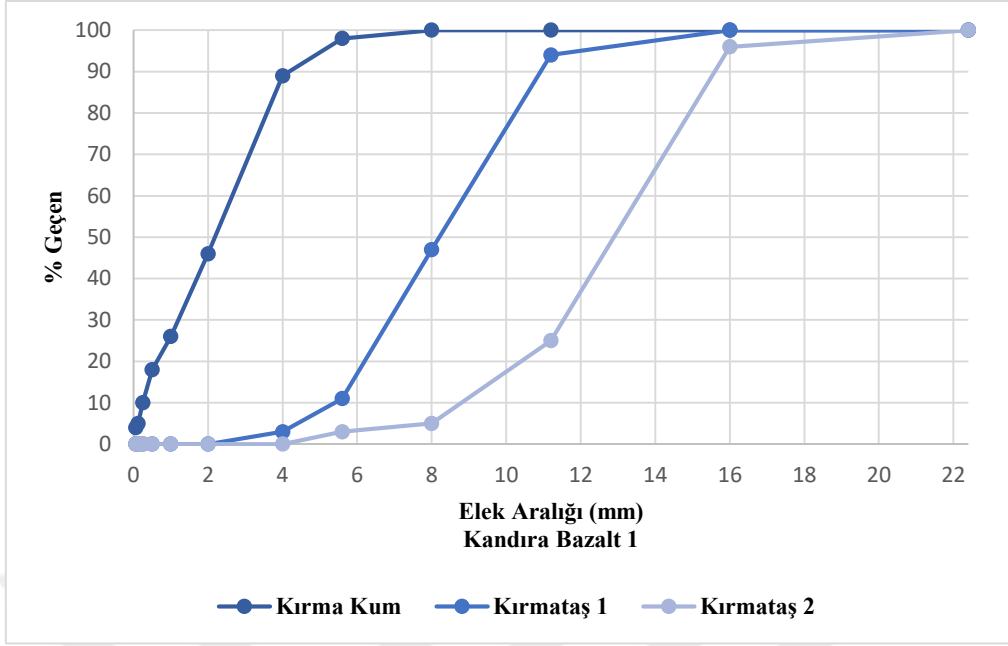
Beton agregası olabilirliği incelenen Gebze ve Kandıra Bölgeleri'nden alınan kireçtaşı ve bazalt agregalarına ait granülometri eğrileri Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de verilmiştir.



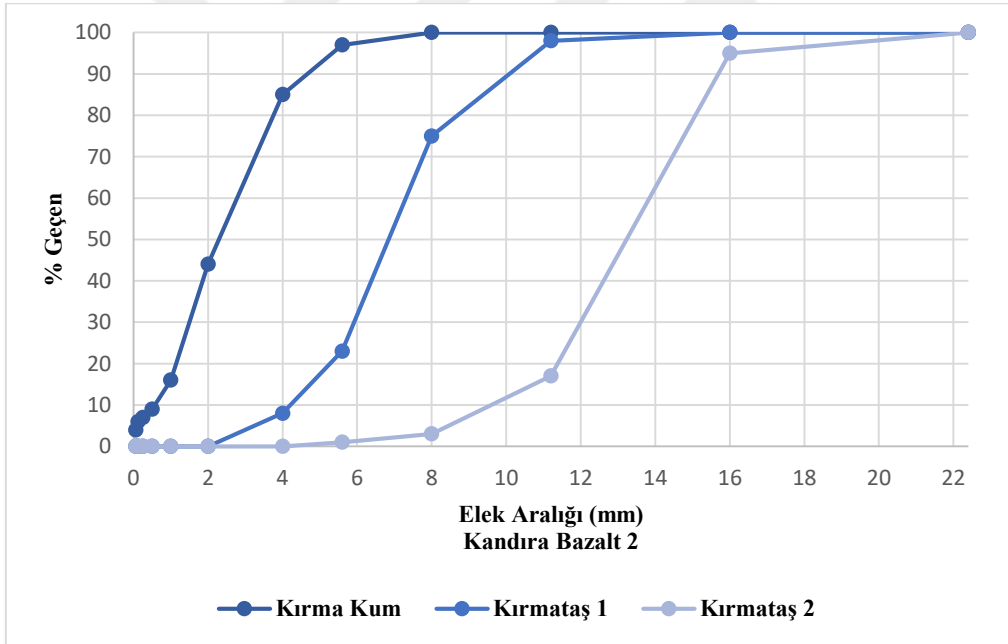
Şekil 5. 1. Gebze kireçtaşlarından elde edilen kırmatas agregalarının granülometri eğrileri



Şekil 5. 2. Gebze kireçtaşlarından elde edilen kırmatas agregalarının granülometri eğrileri



Şekil 5. 3. Kandira bazaltlarından elde edilen kırmatas agregaların granülometri eğrileri



Şekil 5. 4. Kandira bazaltlarından elde edilen kırmatas agregaların granülometri eğrileri

5.1.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme

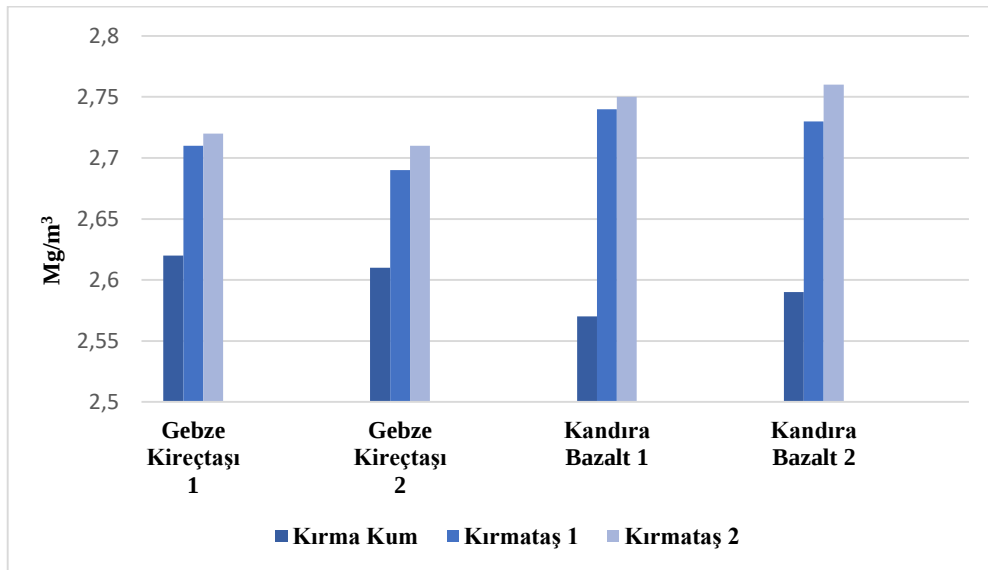
Kireçtaşı ve bazalt agrega numuneleri TS EN 1097-6 (2013) standardına uygun olarak, her bir numune en az ikişer kez tekrarlanmış olup, doymun yüzey kuru hali esas alınarak, özgül ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.6 ve Tablo 5.7'de görülmektedir.

Tablo 5. 6. Agregalarda doymun yüzey kuru özgül ağırlığı

Doygun Yüzey Kuru Özgül Ağırlığı (Mg/m ³)			
Agrega Türü	Kırma Kum	Kırmataş 1	Kırmataş 2
Gebze Kireçtaşı 1	2,62	2,71	2,72
Gebze Kireçtaşı 2	2,61	2,69	2,71
Kandıra Bazalt 1	2,57	2,74	2,75
Kandıra Bazalt 2	2,59	2,73	2,76

Doygun yüzey kuru özgül ağırlık, doymun hale getirilmiş agreganın ölçülmesiyle belirlenen kütlenin hacmine oranıdır. Agreganın su emmesi ise agreganın tamamen kuru durumdaki emebileceği maksimum su miktarının yüzde olarak ifade edilmesi ile hesaplanır.

Gebze ve Kandıra Bölgeleri'nden alınan kireçtaşı ve bazalt agregaları ile yapılan deneylerde, kireçtaşı ve bazalt agregalarının yüksek tane yoğunluğuna sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5. 5. Kireçtaşı ve bazalt agregalarının özgül ağırlığı değerlerinin değişimi

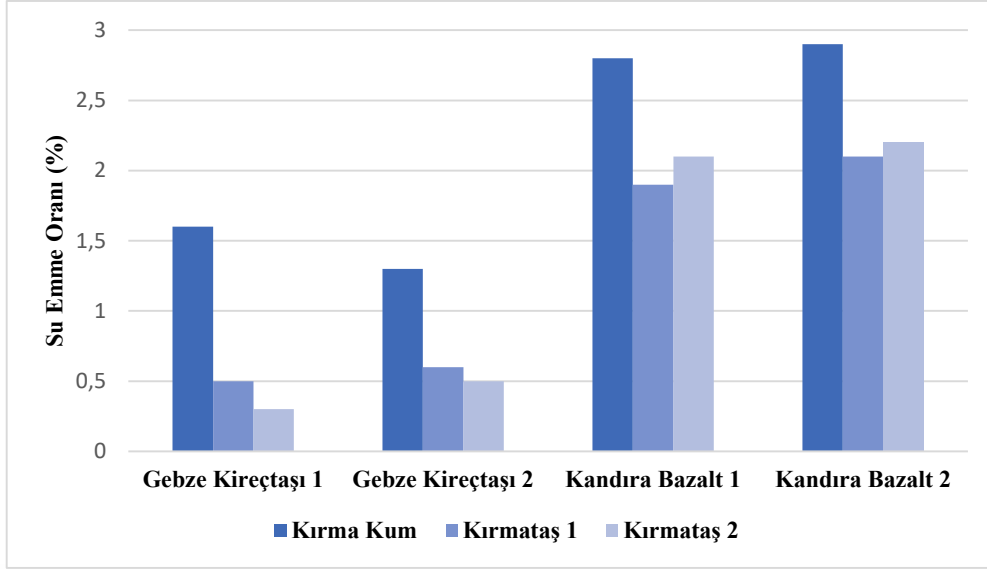
Kandıra bazalt agregalarının özgül ağırlığı kireçtaşı agregalarına göre daha yüksektir. Bunun sebebi, bazaltın gözeneklerinin içinin, kireçtaşına göre daha dolu olması ve boşluk oranının az olmasından kaynaklanabilir.

Özgül ağırlık ile agreganın kökeni hakkında bilgi edinilebilmektedir. Düşük özgül ağırlık değeri; gözenekli, zayıf ve emici malzemeleri belirtir. Yüksek özgül ağırlık ise malzemenin iyi kalitede olduğunu göstermektedir. Su emme bir agreganın geçirgenliğinin dolaylı bir ölçüsüdür. Agregada bulunan su miktarı, özgül ağırlık ve birim ağırlığa etki eder. Bu sebeple özgül ağırlık ve birim ağırlık için doygun kuru yüzey durumu esas alınır. Agregaların su emme oranı, beton karışımında malzemelerin hesabını belirlemek için önemlidir. Su emme oranı, betonun ve beton içerisindeki agreganın dayanıklılığı için de önem teşkil etmektedir.

Tablo 5. 7. Agregalarda su emme oranı

Su Emme Oranı WA_{24} (%)			
Agrega Türü	Kırma Kum	Kırmataş 1	Kırmataş 2
Gebze Kireçtaşı 1	1,6	0,5	0,3
Gebze Kireçtaşı 2	1,3	0,6	0,5
Kandıra Bazalt 1	2,8	1,9	2,1
Kandıra Bazalt 2	2,9	2,1	2,2

Kireçtaşı ve bazalt agregalarıyla yapılan su emme deneylerinde, kireçtaşlarının bazaltlara göre oldukça düşük olduğu görülmektedir (Şekil 5.6). Kireçtaşlarının düşük su emme değeri, betonda donatıya karşı dayanımlarının bazaltlara göre daha yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. 6. Kireçtaşı ve bazalt agregalarının su emme oranlarının değişimi

5.1.3. Metilen Mavisi Deneyi

Metilen mavisi deneyi, ince agrega içindeki kil, demir oksit ve organik madde miktarını belirlemek için yapılır. Deney beton üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 5.7). Deney sonucunda, ince agrega içinde potansiyel olarak bulunan zararlı malzemelerinin miktarı belirlenir (Kandall ve diğ., 1998).

Doğal kırma kum numuneleri üzerinde TS EN 933-9+A1 (2014)'e göre metilen mavisi deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.8'de verilmiştir.

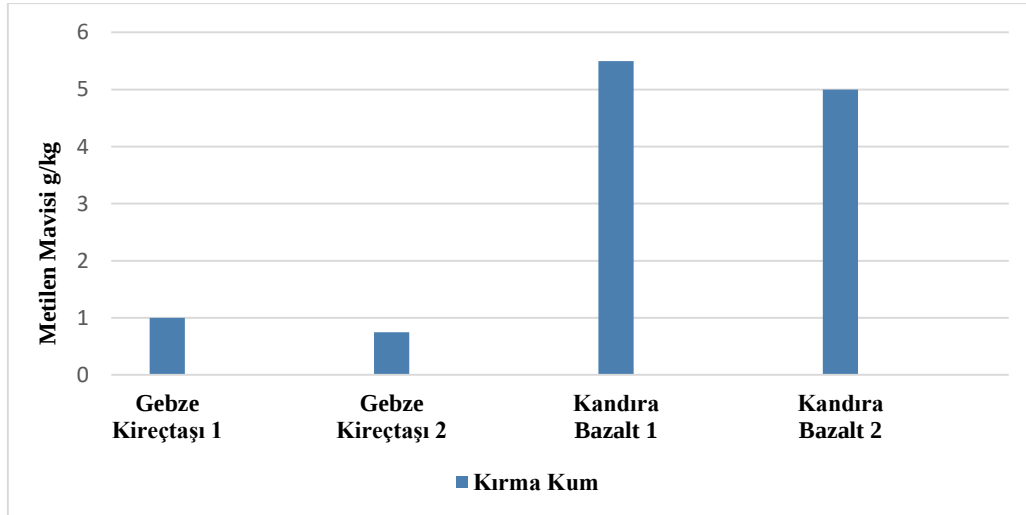


Şekil 5. 7. Metilen mavisi deneyi ve deneye ait leke kartları

Tablo 5. 8. İncelenen kırma kumların metilen mavisi değerleri

Agrega Türü	Deney Numunesi Miktarı (g)	İlave Edilen Metilen Mavisi Çözeltisi (ml)	Metilen Mavisi Değeri (MB) (%)	Metilen Mavisi Sınır Değeri (MB) (%)
Gebze Kireçtaşı 1	200	20	1,00	2.5
Gebze Kireçtaşı 2	200	15	0,75	
Kandıra Bazalt 1	200	110	5,50	
Kandıra Bazalt 2	200	100	5,00	

İncelenen bazalt agregalarının kireçtaşlarına göre metilen mavisi değerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5.8). Bazalt agregalarının standartlarda belirtilen değerlerden de yüksek oluşunun nedeni, bazaltlardaki su emme oranının fazla olmasından kaynaklanabilir. Aynı zamanda yüksek metilen mavisi değeri, agreganın kalitesinin düşüklüğüne işaret etmektedir.



Şekil 5. 8. Kireçtaşı ve bazalt agregalarının metilen mavisi değerlerinin değişimi

5.1.4. Yassılık Endeksi

Betonda kullanılan agregaların, boşluk miktarının az olması istenir. Dolayısıyla agreganın tanelerinin şeklinin kübik ve küresel olması aranan özelliklerdendir (Elçi, 2011). Bu

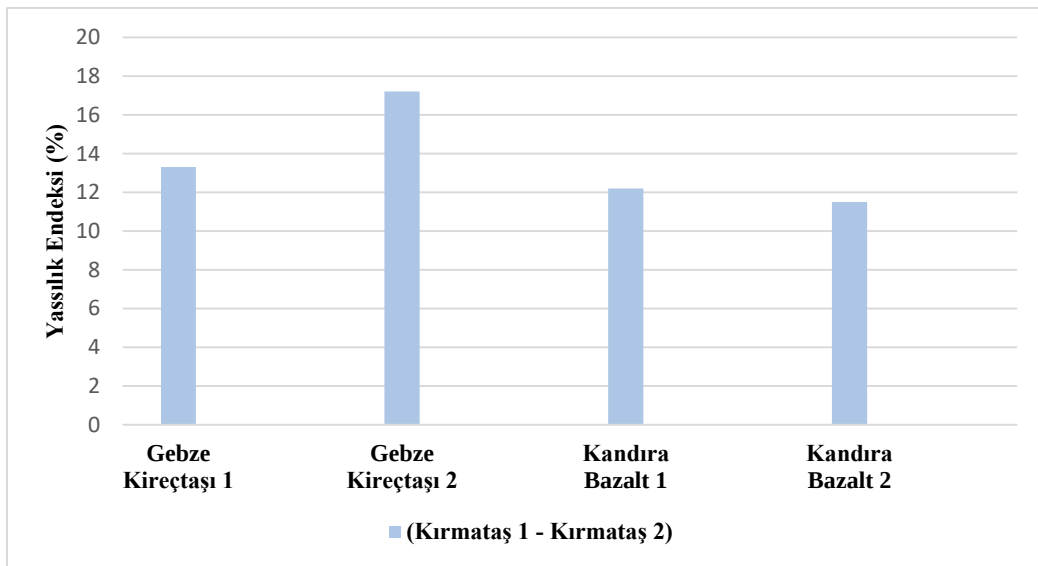
boşluklar betondaki çimento miktarını arttığı için yassı tanelerin varlığını tespit etmek gerekmektedir. Ayrıca TS 706 EN 12620 standardında iri agregalarda, yassılık endeksinin %50'den az olması tavsiye edilir.

İncelenen kireçtaşı ve bazalt agrega tanelerinin TS EN 933-3 (2012)'e göre yassılık endeksi deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.9'da sunulmuştur.

Tablo 5. 9. Kireçtaşı ve bazalt agregalarının yassılık endeksi değerleri

Agrega Türü	Deneye Giren Toplam Malzeme Miktarı (g)	Yassı Malzeme Miktarı (g)	Yassılık Endeksi Değeri (%)
	(Kırmatas 1 – Kırmatas 2)		
Gebze Kireçtaşı 1	1066	142	13,3
Gebze Kireçtaşı 2	1124	193	17,2
Kandıra Bazalt 1	1084	132	12,2
Kandıra Bazalt 2	1062	122	11,5

Gebze kireçtaşı agregalarındaki yassılık endeksi değerlerinin, Kandıra bazalt agregalarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5.9). Bunun nedeni kireçtaşların kayaç özelliklerinin kırıklı çatlaklı olmasından kaynaklanabilir. Ayrıca agregaların yassılık endeksinin yüksek olması, dayanımlarının düşük olmasına neden olmaktadır.



Şekil 5. 9. Kireçtaşı ve bazalt agregalarının yassılık endeksi değerlerinin değişimi

5.1.5. Parçalanmaya Karşı Dayanım (Los Angeles Oranı)

Deney, iri agregaların tamburda çelik bilyeler ile dönmesi sonucu, 1,6 mm açıklıklı eleğin üzerinde kalan malzemenin yüzdesini belirlenmesi esasına dayanır (Şekil 5.10). Kireçtaşı ve bazalt agregalarının parçalanmaya karşı direncini belirlemek için TS EN 1097-2/D1 (2016)'e göre Los Angeles deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.10'da sunulmuştur.

Tablo 5. 10. İncelenen agregaların Los Angeles aşınma değerleri

Agrega Türü	Numunenin Başlangıç Kuru Ağırlığı, g	1,6 mm Elek Üstü Malzeme Miktarı, g	Los Angeles Katsayısı (LA) (%)
	(Kırmataş 1 – Kırmataş 2)		
Gebze Kireçtaşı 1	5000	3782	24,4
Gebze Kireçtaşı 2	5000	3808	23,8
Kandıra Bazalt 1	5000	4079	18,4
Kandıra Bazalt 2	5000	4094	18,1

Kireçtaşların, mineralojik, petrografik özellikleri ve basınç dayanımından dolayı bazaltlara oranla parçalanma direncinin daha fazla olması gerektiği bilinir. Yapılan deneylerde bu kabule uygun değerlere ulaşılmıştır (Tablo 5.10).



Şekil 5. 10. Los Angeles deneyinin uygulanaşı

Los Angeles aşınma değerine kayaçların mineralojik-petrografik yapısı ve maruz kaldığı mekanik ayrışma derecesi önemli derecede etki eden faktörlerdir (Arioğlu, 2006). Ayrıca kayaçların basınç dayanımı arttıkça Los Angeles aşınma değeri azalır ve kayaç malzemesinin aşınmaya karşı dayanıklılığı artmış olur.

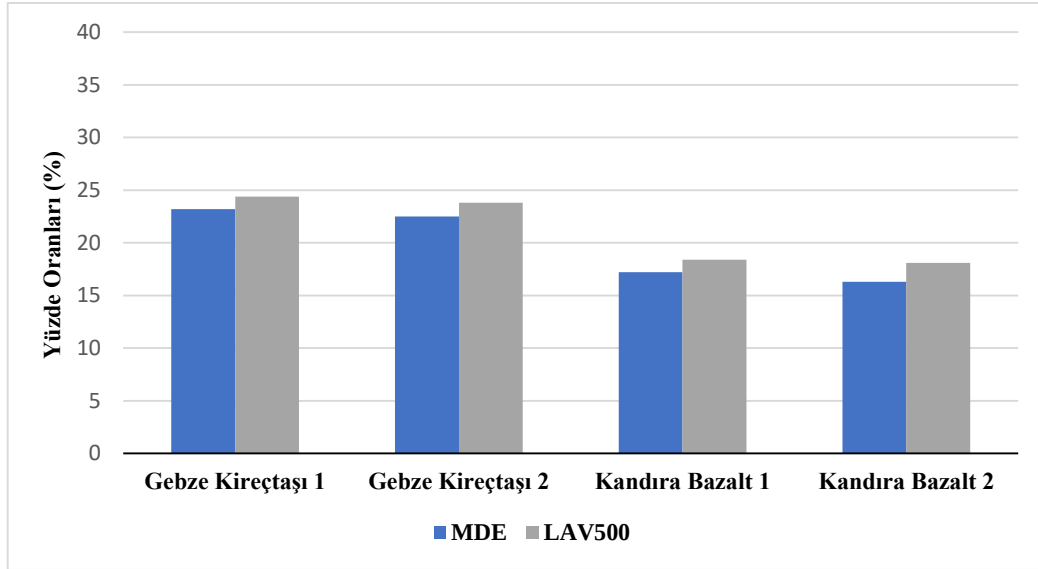
5.1.6. Aşınmaya Karşı Dayanım (Mikro-Deval Oranı)

Deney, iri agregaların bir miktar su katılarak tamburda çelik bilyeler ile dönmesi sonucu 1,6 mm açıklıklı eleğin üzerinde kalan malzemenin yüzdesini belirlemek için kullanılan yöntemdir. Kireçtaşı ve bazalt agregalarının aşınmaya karşı direncini belirlemek için TS EN 1097-1 (2011)'e göre Mikro-Deval deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.11'de sunulmuştur.

Tablo 5. 11. İncelenen agregaların Mikro-Deval aşınma değerleri

Agrega Türü	Numunenin Başlangıç Kuru Ağırlığı, g	1,6 mm Elek Üstü Malzeme Miktarı, g	Mikro-Deval Katsayısı (MDE) (%)
	(Kırmatas 1 – Kırmatas 2)		
Gebze Kireçtaşı 1	5000	3838	23,2
Gebze Kireçtaşı 2	5000	3876	22,5
Kandıra Bazalt 1	5000	4142	17,2
Kandıra Bazalt 2	5000	4183	16,3

Kandıra bazalt agregalarının sert ve dayanımlı yapıya sahip olması nedeni ile bu bölgedeki bazaltlardan elde edilen agregalarda aşınma direnci, Gebze kireçtaşlarına göre daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 5.11). Aşınma dayanım değeri azalttıkça, tanelerin mekanik etkilere karşı dayanımı artmaktadır.



Şekil 5. 11. Kireçtaşı ve bazalt agregalarına ait Mikro-Deval aşınma oranı ve Los Angeles parçalanma oranı değerlerinin değişimi

5.1.7. Donmaya Karşı Dayanıklılık (Magnezyum Sülfat Deneyi)

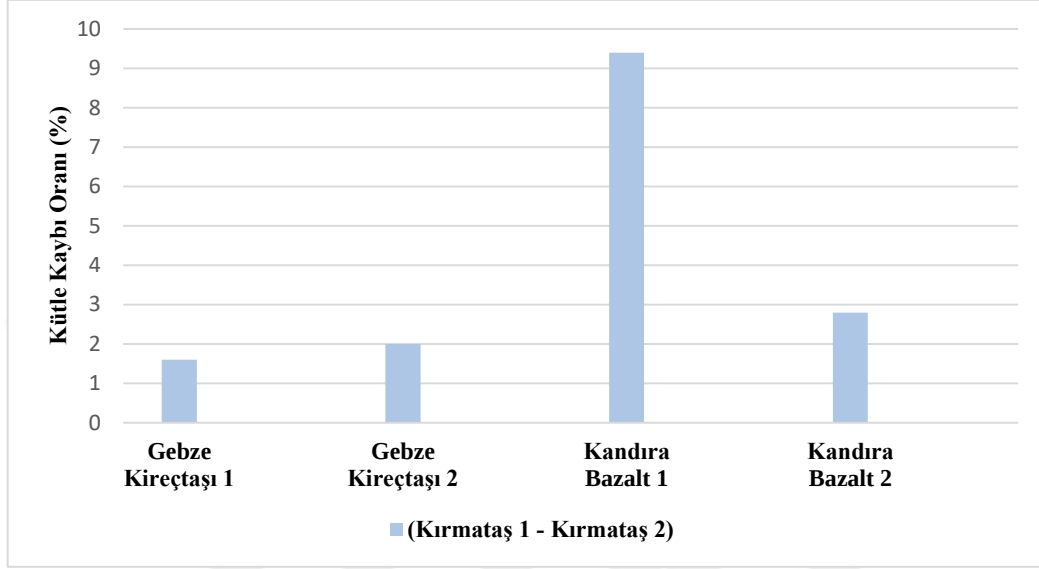
Deney, prensip olarak agregaların magnezyum çözeltisine 5 kere daldırılması ve etüvde kurutulması esasına dayanır. Böylece agregalar üzerindeki zararlı etkiler ve donma dayanımı belirlenir. İncelenen kireçtaşı ve bazalt agregalarının donma ve çözölmeye karşı dayanımlarını belirlemek için TS EN 1367-2'e göre magnezyum sülfat deneyi yapılmıştır. Donma ve çözölmeye karşı elde edilen kütle kaybı sonuçları Tablo 5.12'de sunulmuştur.

Tablo 5. 12. Agregaların kütle kaybı değeri

Agrega Türü	İlk Ağırlık (g)	Elekte Kalan (g)	Kütle Kaybı Oranı (%)
	(Kırmataş 1 – Kırmataş 2)		
Gebze Kireçtaşı 1	400	394	1,6
Gebze Kireçtaşı 2	400	392	2,0
Kandıra Bazalt 1	400	362	9,4
Kandıra Bazalt 2	400	389	2,8

Bazalt agregalarındaki magnezyum sülfat değeri kireçtaşı agregalarına göre daha yüksek olduğu görölmektedir (Şekil 5.12). Bunun nedeni, bazalt agregalarının su emmesi ve

boşluk hacminin fazla olmasından kaynaklanabilir. Çünkü kireçtaşı agregalarının düşük su emmesi değeri (%1'den az) olduğu için dona dayanıklı olduğu kabul edilmektedir. Kireçtaşının bu dayanıklılığı ile çimento ile yüksek aderans oluşturarak beton dayanımını da artırmaktadır.



Şekil 5. 12. Agregaların kütle kaybı değerlerinin değişimi

Agrega tanelerinin çok fazla su emmesi halinde, donma esnasındaki hacim değişikliğini gözenekler karşılayamadığı için bu agregalar ile yapılan betonda hasar ortaya çıkmaktadır (Fookes, 1980). Bu neden ile iri agregalarda magnezyum sülfat deneyi uygulandığında dona dayanıklılık değerinin %35'den az olması istenmektedir (TS 706 EN 12620).

5.1.8. Kaya Malzemelerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Kaya malzemesinin dayanımı dış kuvvetlere gösterdiği dirençle ifade edilir. Burada dış kuvvet yani yük kaya malzemesinin dayanımını aştığında kaya malzemesi yenilmeye uğrar. Bu yenilmeye sebep olan gerilme kaya malzemesinin dayanım değerini vermektedir. Kaya malzemesinin dayanım özelliklerini belirlemek için en yaygın kullanılan yöntem tek eksenli basınç dayanımı deneyidir. Deney TS 699/T1 (2016) Standardına uygun olarak yapılmaktadır.

Tek eksenli basınç deneyi genellikle küp veya karot (silindir) numunelerin hidrolik pres yardımı ile belirli bir hızda artırılarak yüklenmesi ve kaya numunelerinin yenildiği andaki

basınç dayanımını belirlemek için yapılır. Kaya numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı eşitlik (5.1)'deki gibi hesaplanır.

$$\sigma_c = F_C / A \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (5.1)$$

F_C : Kırılma anındaki maksimum yük, kN

A : Numunenin alanı, m²

Deere ve Miller (1966) tarafından önerilen UCS dayanım sınıflamasında, kaya malzemeleri çok düşük dayanımlıdan çok yüksek dayanımlıya kadar sınıflara ayrılarak, kayaların dayanım sınıflaması değerlendirilmiştir (Tablo 5.13).

Tablo 5. 13. Kayaların tek eksenli basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması (Deere ve Miller, 1966)

Kaya Sınıfı	Kayaların Tek Eksenli Basınç Dayanımı (UCS) (MPa)
Çok düşük dayanımlı	1-25
Düşük dayanımlı	25 - 50
Orta dayanımlı	50 - 100
Yüksek dayanımlı	100 - 200
Çok yüksek dayanımlı	> 200

Kaya malzemelerinin tek eksenli basınç dayanımları aynı kayaktan elde edilecek agrega tanelerinin dayanımları ilgili önemli fikirler sunmaktadır. Bu çalışmada arazide alınan kireçtaşı ve bazalt örneklerinden taş kesme makinesi yardımıyla, küp örnekleri hazırlanmış ve küp örneklerine epoksi başlık yapılarak bu örnekler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.13). Deneyler sonucu elde edilen veriler Tablo 5. 14'de verilmiştir.



Şekil 5. 13. Tek eksenli basınç dayanımı deneyinin uygulanaşı

Tablo 5. 14. Kayaç malzemelerinin tek eksenli basınç dayanım değeri

Kayaç Türü	Numune No	Yükseklik (cm)	Alan (cm ²)	Yenilme anındaki yük (kN)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)
Gebze Kireçtaşı	1	4,40	14,28	130,82	91,61
Gebze Kireçtaşı	2	4,30	12,96	137,75	106,29
Ortalama değeri					98,95
Kandıra Bazalt	1	4,60	16,65	344,92	207,16
Kandıra Bazalt	2	4,40	16,40	268,40	163,66
Ortalama değeri					185,41

Deneylerde elde edilen sonuçlara göre Gebze Bölgesi'ndeki kireçtaşları 98,95 MPa ortalama değeri ile orta dayanımlı kaya sınıfında; Kandıra Bölgesi'ndeki bazaltlar ise 185,41 MPa ortalama değeri ile yüksek dayanımlı kaya sınıfında yer almaktadır. Elde edilen değerler kireçtaşları ve bazaltların jeolojik kökenine uygun dayanım değerleri olduğunu göstermektedir (Farmer, 1968).

5.2. Agregaların Kimyasal Özellikleri

Bu kısımda Gebze ve Kandıra Bölgeleri’nden alınan kireçtaşı ve bazalt agregalarının içerdiği kimyasal ana oksit yüzdelelerini belirlemek amacıyla yapılan 3 adet kimyasal analiz sonuçları Tablo 5.15’de verilmiştir.

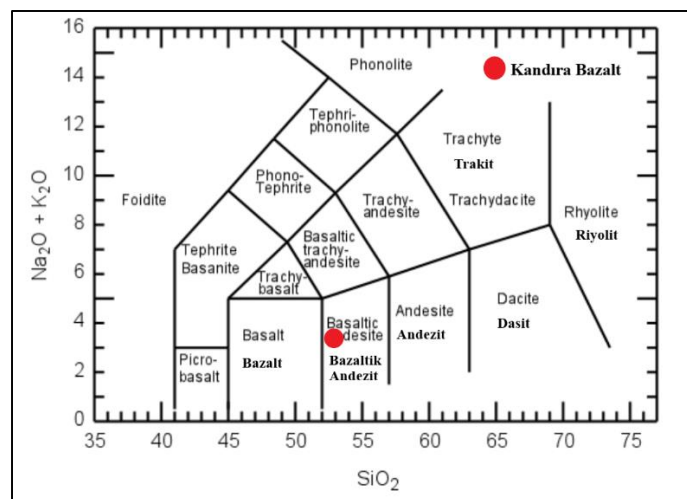
Tablo 5. 15. Kireçtaşı ve bazalt numunelerinin kimyasal ana oksit yüzdeleri

Örnek Numarası	Bileşim (%)							
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	*AZ
KRÇ-1	50,09	2,82	1,31	1,19	1,12	0,34	0,08	42,78
KRÇ-2	42,73	12,00	4,39	2,20	1,04	1,20	0,12	35,55
BZLT	10,44	53,12	17,67	9,08	2,74	1,02	2,54	1,85

***AZ:** Ateş Zayiatı

İncelenen kireçtaşı numunelerinin CaO %42,73-50,09, SiO₂ %2,82-12,00 arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 5.15). Kireçtaşlarında az miktarda MgO bulunması dolomitin, SiO₂ bulunması ise kil ve kuvars minerallerinden kaynaklanmaktadır (Yılmaz ve diğ., 2011).

İncelenen bazalt numunesinin kimyasal analiz sonucuna göre en büyük bileşen %53,12 oranı ile SiO_2 'dir. İkinci en büyük bileşen olan Al_2O_3 oranı %17,67'dir. Na_2O ve K_2O alkali element bileşikleri sırasıyla %2,54 ve %1,02 olarak belirlenmiştir. Kimyasal analiz verilerine göre, incelenen bazaltın kökenini belirlemek amacıyla Le Bas ve diğ. (1986)'a göre $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ değerleri kullanıldığında, bazaltın “bazaltik andezit” bileşimli olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5. 14. Bazalt numunesinin toplam alkali ve silis içeriğine karşı silis diyagramında sınıflandırılması (Le Bas ve diğ., 1986)

Katayama (2000)'e göre, bazaltlardaki SiO₂ içeriği %50'den fazla olduğunda, alkali silis reaksiyonu açısından andezit gibi davranarak potansiyel reaktif agrega özelliği gösterebilir. Bu nedenle çalışmada incelenen bazalt agregalarının alkali silis reaksiyonu özelliği araştırılmıştır.

5.3. Agregaların Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Mineralojik ve petrografik özellikler agreganın dayanımını etkilediği için bilinmesi önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada Gebze ve Kandıra Bölgeleri'nden alınan kireçtaşları ve bazaltların makro özellikleri belirlenmiş ve mikro özelliklerinin belirlemek amacıyla İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği bölümü laboratuvarında ince kesitler hazırlanmıştır. İnce kesitler TS 10088 EN 932-3/A1 (2006) standardına uygun olarak polarizan mikroskopta incelenerek, kireçtaşları ve bazaltların mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenmiştir.

Bu kısımda; Gebze ve Kandıra Bölgeleri'nden alınan kireçtaşları ve bazaltların makro ve mikro özellikleri tanımlanmıştır.

5.3.1. Gebze Bölgesi Kireçtaşlarının Makroskobik Tanımlama

Kireçtaşları gri, orta açık gri renkli, masif görünümlü, küçük-orta taneli ve kırık çatlakların kalsit ile dolu olduğu kayaçlardır. Kayaç, asit (%10 HCl) ile reaksiyon göstermiştir. Ayrıca kayaç, sert ve gevrek durumda olması sebebiyle kırılgan özellikte olduğu gözlenmiştir.

Aynı bölgeden alınan ikinci kayacın incelenmesinde kayaç genel olarak yoğun, masif görünümlü ve gri, mavimsi renklindedir. Dış yüzeyinde herhangi bir alterasyon izine rastlanılmamıştır. Kayaç, asit (%10 HCl) ile muamele edildiğinde şiddetli köpürür. Dolayısıyla yoğun karbonat içerikli bir kayadır.

5.3.2. Gebze Bölgesi Kireçtaşlarının Mikroskobik Tanımlama

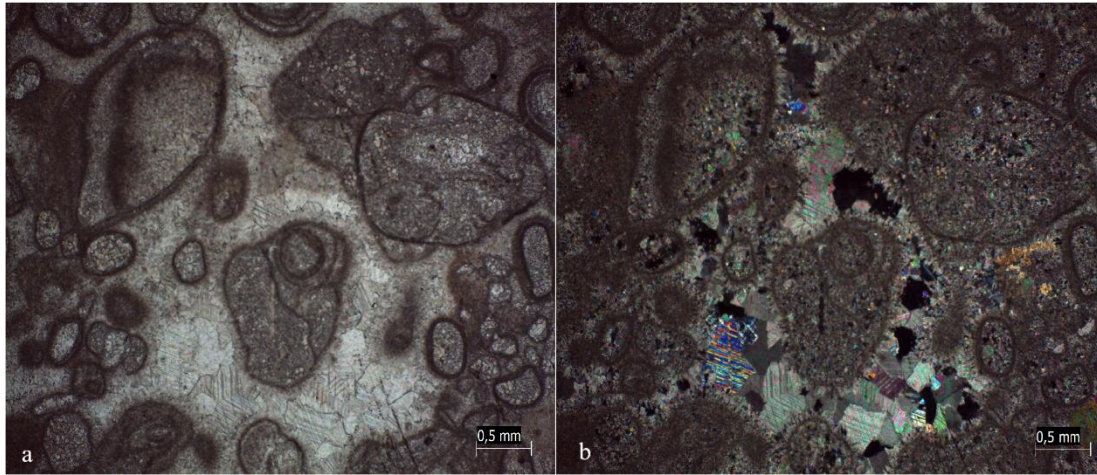
Kireçtaşları bileşenlerini yüzde oranları değerlendirildiğinde; Folk (1962)'e göre “oomikritik kireçtaşı” ve “yarı mikritik-fosilli kireçtaşı” olarak adlandırılmıştır. Ayrıca kireçtaşlarının modal analizi yapılmış olup Tablo 5.16'da sunulmuştur.

Tablo 5. 16. Hereke Formasyonuna ait kireçtaşlarının petrografik özellikleri (Folk, 1962)

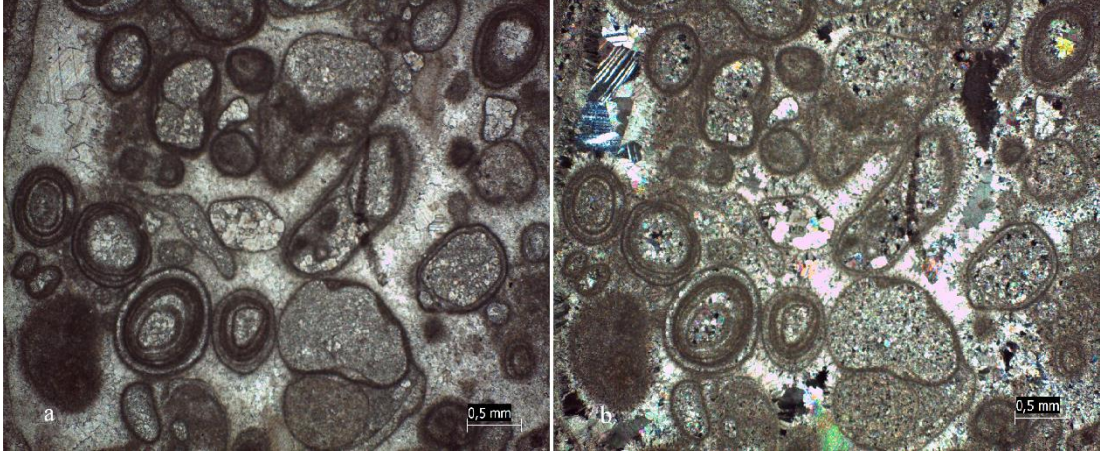
Numune Kodu	Renk	Bileşenler	Tane Boyutu	Doku	Sınıflama
KRÇ-1	Açık Gri N7*	% 90,0 Kalsit % 3,14 Ankerit % 6,66 Nontronit	İnce-orta	Kırıntılı doku	Oomikritik Kireçtaşı
KRÇ-2	Soluk Mavi 5PB 7/2*	% 88,0 Kalsit % 12,0 Kuvars	Orta	Kırıntılı doku	Yarı mikritik-fosilli Kireçtaşı

*Geological Rock – Color Chart (2009)

KRÇ-1 örneği kalsitten ibaret oolit ve karbonat çamurlarının mikritik nitelikte bir bağlayıcı malzeme ile bağlandığı görülmektedir (Şekil 5.15). Kaya örneği genel olarak karbonat grubu mineraller olan kalsit ve dolomitten oluşmuştur. Kayaç içinde taneler çoğunlukla birbirine dokunmakta ve bunlar sıklıkla kalsit ve dolomit şeklinde kristallenmiştir. Kalsit taneleri birincil ve daha iri boyutlu ikincil kalsit olmak üzere iki türde görülmektedir (Şekil 5.15). İkincil kalsitler yarı özşekilli, bazen de özşekilli görünümündedir. Ayrıca kayaçta karbonat minerallerinden oluşan karbonat çamurlarının içerisinde çok ince taneli kil mineralleri seyrek olarak görülmektedir (Şekil 5.16).

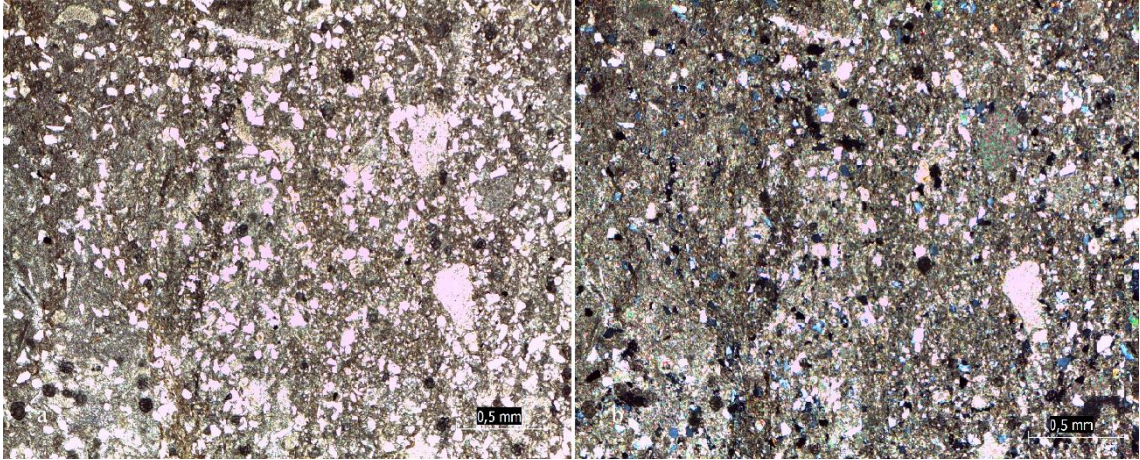


Şekil 5. 15. Kireçtaşı birimi ince kesit görünümü (a: kalsit ve dolomit kristalleri - tek nikol, b: kalsit ve dolomit mineralleri - çift nikol)



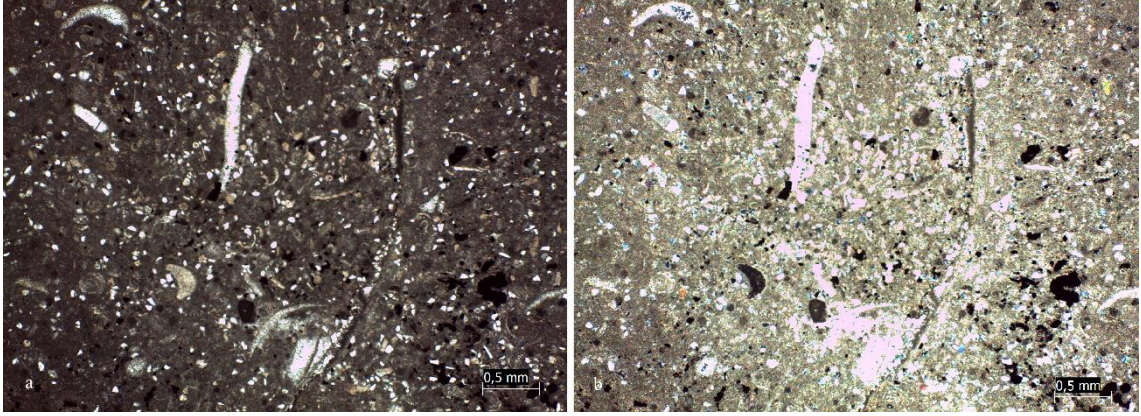
Şekil 5. 16. Kireçtaşı birimi ince kesit görünümü (a: kalsit mineralleri ve oolitik kireçtaşları - tek nikol, b: kalsit mineralleri ve oolitik kireçtaşları - çift nikol)

KRÇ-2 örneği ise çok fazla ayrıştığı için karbonat çamuru içerisinde kil mineralleri, kalsit mineralleri, mikro fosil ve kavkılar, kuvars ve opak minerallerinden oluştuğu görülmektedir (Şekil 5.17). Kayaçta bol miktarda mikro fosil ve kavkılar görülmektedir (Şekil 5.18). Kayacın içinde yer alan mikro fosil ve kavkılar; küçük-orta taneli, genel olarak mikro kristalin karbonat minerali dolgulu şekilde bulunmaktadır.



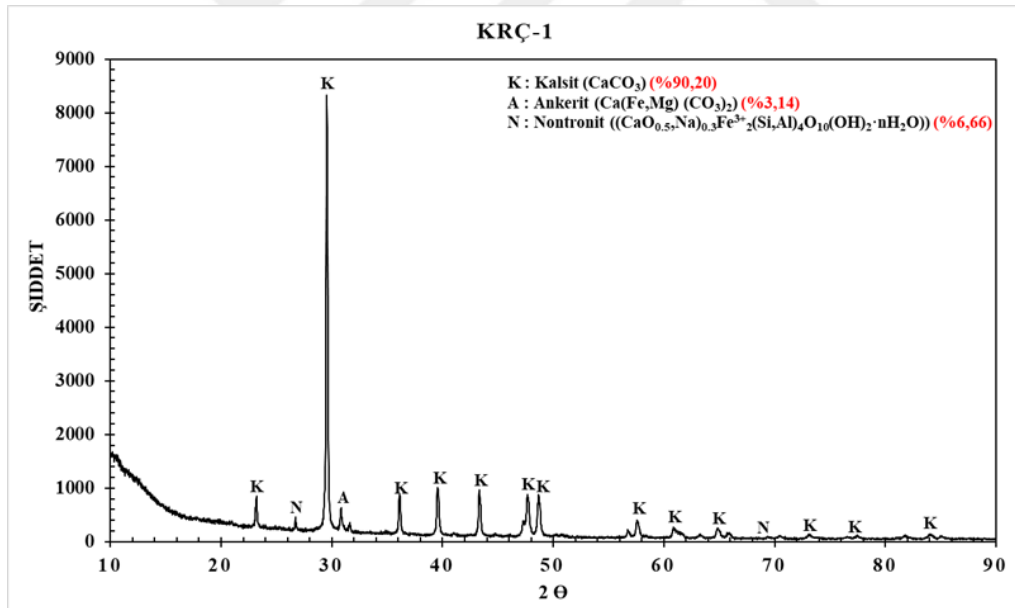
Şekil 5. 17. Kireçtaşı birimi ince kesit görünümü (a: kalsit ve kuvars mineralleri - tek nikol, b: kalsit ve kuvars mineralleri - çift nikol)

Opak mineralleri, küçük taneli yer yer özellikle mikro fosil ve kavkılar içerisinde birikimler şeklinde görülmektedir (Şekil 5.18).

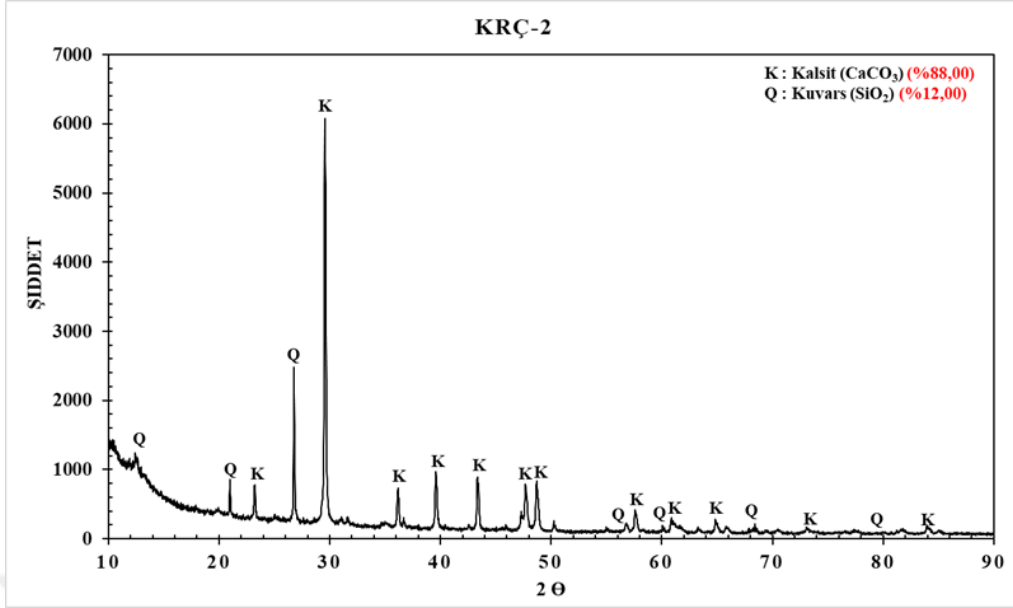


Şekil 5. 18. Kireçtaşı ince kesit görünümü (a: fosil kavkıları ve kalsit mineralleri - tek nikol, b: fosil kavkıları ve kalsit mineralleri - çift nikol)

Kireçtaşı örneklerinin XRD analiz verileri Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’de verilmiştir. XRD analizi değerlendirildiğinde; kireçtaşlarının genel olarak kalsit ve kuvars minerallerinden meydana geldiği gözlenmiştir. Ayrıca ankerit minerali ve kil minerali olan nontronit mineralleri tespit edilmiştir.



Şekil 5. 19. KRÇ-1 numunesine ait XRD grafiği ve içeriği oluşturan minerallerin % dağılımı



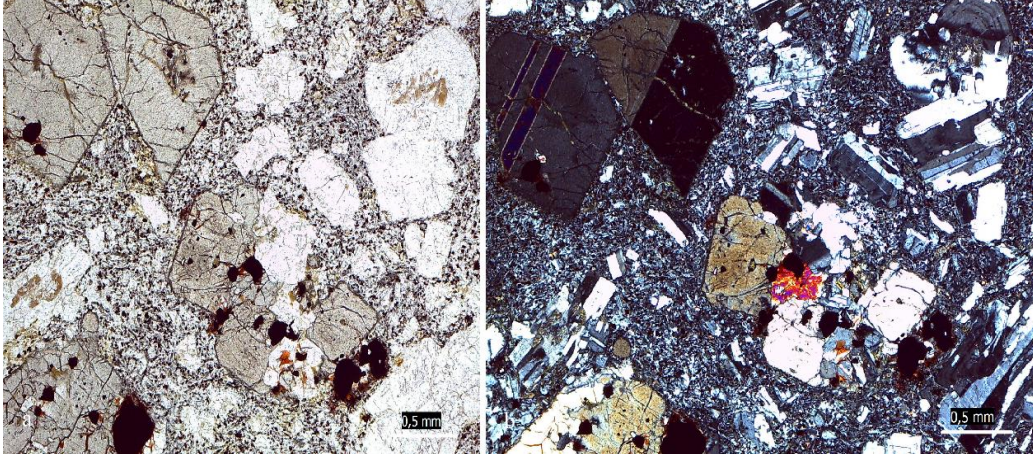
Şekil 5. 20. KRÇ-2 numunesine ait XRD grafiği ve içeriği oluşturan minerallerin % dağılımı

5.3.3. Kandıra Bölgesi Bazaltlarının Makroskobik Tanımlama

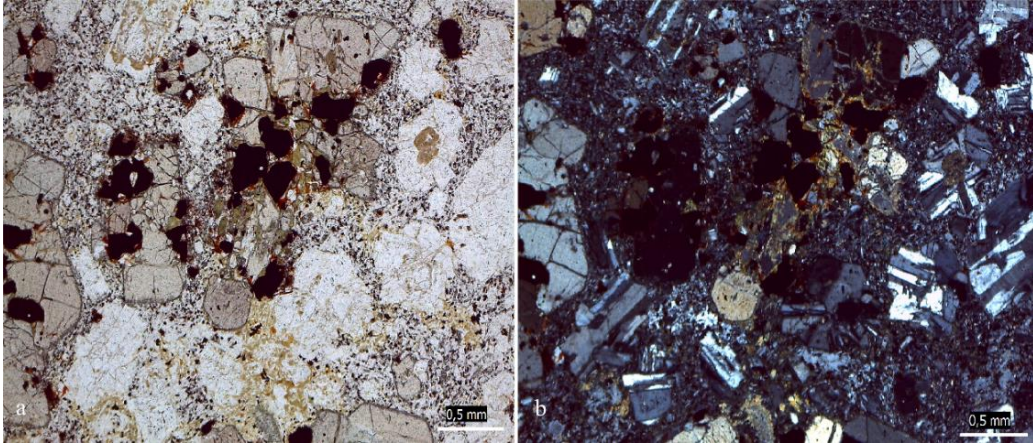
Kayaç koyu siyahımsı gri renkli, sert, seyrek kırıklı yapıda, kırıklar kil ve kum dolgulu yer yer pürüzlü ve çatlaklı, orta-küçük taneli, az-orta derece ayrılmış, orta dayanımlı sertliğe sahiptir. Kayaç, asit (%10 HCl) ile reaksiyon göstermemiştir. Ayrıca kayaç genelde sert ve sağlam yapıya sahip olduğu halde yerel olarak gevrek duruma sahip olduğu kısımlarda kırılgen özellik göstermektedir.

5.3.4. Kandıra Bölgesi Bazaltlarının Mikroskobik Tanımlama

Kaya numunesi porfirik doku görünümünde ve mineral içeriği olarak plajiyoklaz, piroksen ve opak minerallerinden oluşmuştur (Şekil 5.21). Kayaç genel olarak büyük bir kısmı zonlu, yarı özşekilli, homojen dağılımlı plajiyoklaz ve bir kısmı karbonatlaşmış, özşekilli, yarı özşekilli, homojen dağılım gösteren piroksen minerallerinden oluşmuştur. Piroksenlerin etrafında kısmen kloritleşme ve biyotite dönüşüm görülmüştür (Şekil 5.22). Opak mineralleri, homojen dağılımlı, özşekilli ve yarı özşekilli biçiminde bulunmaktadır.

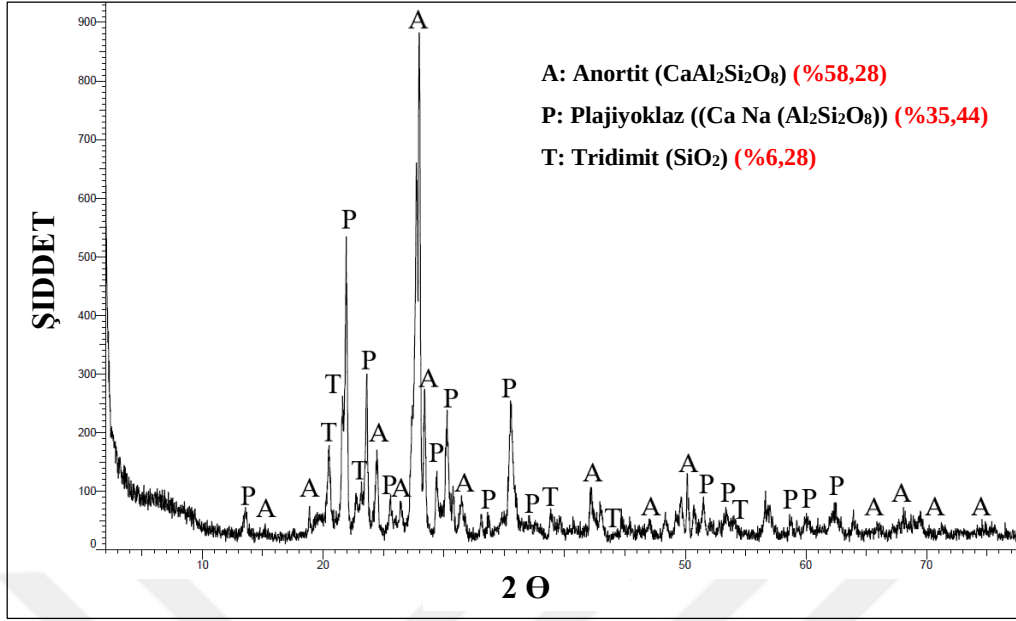


Şekil 5. 21. Bazalt birimi ince kesit görünümü (a: yarı özşekli piroksen mineralleri ve plajiyoklaz mineralleri - tek nikol, b: yarı özşekli piroksen mineralleri ve plajiyoklaz mineralleri - çift nikol)



Şekil 5. 22. Bazalt birimi ince kesit görünümü (a: piroksenlerin etrafında kloritleşme ve plajiyoklaz mineralleri - tek nikol, b: piroksenlerin etrafında kloritleşme ve plajiyoklaz mineralleri - çift nikol)

İncelenen bazalt örneğinin XRD analiz verileri Şekil 5.23’de verilmiştir. XRD analizi değerlendirildiğinde; bazaltın yoğun olarak anortit ve plajiyoklaz (labradorit) minerallerinden meydana geldiği gözlenmiştir. Ayrıca volkanik kayaçların boşluklarının içerisinde veya kayacın matriksi içinde bol miktarda bulunan tridimit minerali de tespit edilmiştir.



Şekil 5. 23. Bazalt numunesine ait XRD grafiği ve içeriği oluşturan minerallerin % dağılımı

5.4. Kireçtaşı ve Bazalt Agregalarının Alkali Agrega Reaksiyonu

Alkali Agrega Reaksiyonu (AAR), betonun genleşme ve çatlamalarına neden olan kimyasal bir reaksiyondur. Beton agregaları genel olarak kimyasal etkisi olmayan atıl malzemeler olarak kabul edilseler de, içerisinde reaktif silika ve reaktif karbonat içeren bazı agregalar beton içerisindeki alkalilerle reaksiyona girebilir ve ortamda rutubette varsa betonda genleşmelere yol açabilir. Bu sebeple alkali agreg reaksiyonun belirlenmesi amacıyla birçok standart geliştirilmiştir. Bu çalışmada kireçtaşı agregaları için ASTM C 1260'deki yöntemlere göre hızlandırılmış harç çubuğu yöntemi kullanılmıştır. İncelenen bazalt agregalarının ise alkali agreg reaksiyonunun belirlenmesi için TS 2517'deki yöntem uygun olarak kimyasal analiz yöntemi kullanılmıştır.

5.4.1. Hızlandırılmış Harç Çubuğu Yöntemi

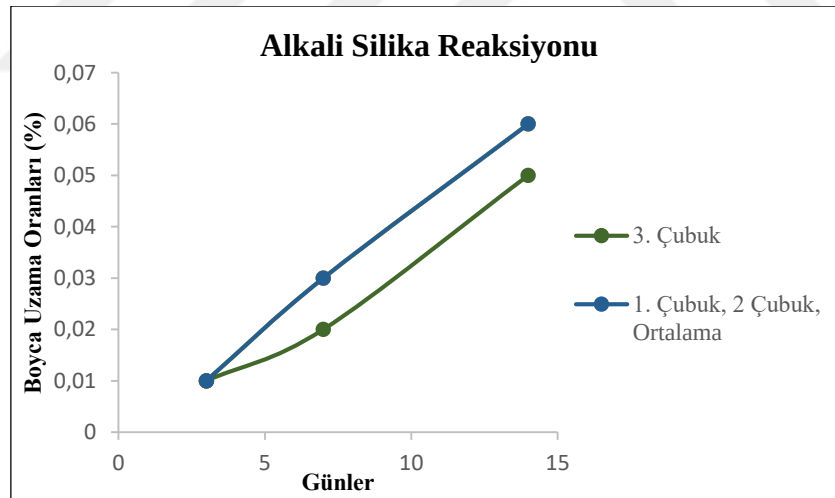
İncelenen kireçtaşı örneklerinde agregaların reaktif olup olmadıklarını belirlemek amacıyla, ASTM C 1260 (2014)'deki esaslara uyularak hızlandırılmış harç çubuğu deney yöntemi uygulanmıştır. Deney ile incelenen kireçtaşı agregalarının çimento hamuru ile oluşturabileceği reaksiyon sonucu, genleşmelerine bağlı boy uzamaları belirlenmiştir (Şekil 5.24). Deneylerde CEM I 42,5 R özellikli çimento kullanılmıştır. Deneyler, üç

numune üzerinde yapılmış olup, 3, 7, 14 günlük ortalama boy uzama oranları Tablo 5.17’de sunulmuştur.

Tablo 5. 17. İncelenen kireçtaşının genleşmeye bağlı boy uzama oranları

Zaman (Gün)	1.Çubuk Uzama Oranı (%)	2.Çubuk Uzama Oranı (%)	3.Çubuk Uzama Oranı (%)	Ortalama Uzama Oranı (%)	ASTM C 1260 Standardı Sınır Değerleri
3	0,01	0,01	0,01	0,01	Ortalama Uzama Oranı > 0,20 Zararlı agregalar
7	0,03	0,03	0,02	0,03	Ortalama Uzama Oranı > 0,20 Zararlı agregalar
14	0,06	0,06	0,05	0,06	Ortalama Uzama Oranı > 0,20 Zararlı agregalar

Şekil 5.24’de görüldüğü gibi 3, 7 ve 14 günlük boy uzama oranları 1.Çubuk, 2.Çubuk ve Ortalama Uzama Oranların da aynı değerler elde edilmiştir.



Şekil 5. 24. İncelenen kireçtaşlarının boy uzama oranları

5.4.2. Kimyasal Analiz Yöntemi

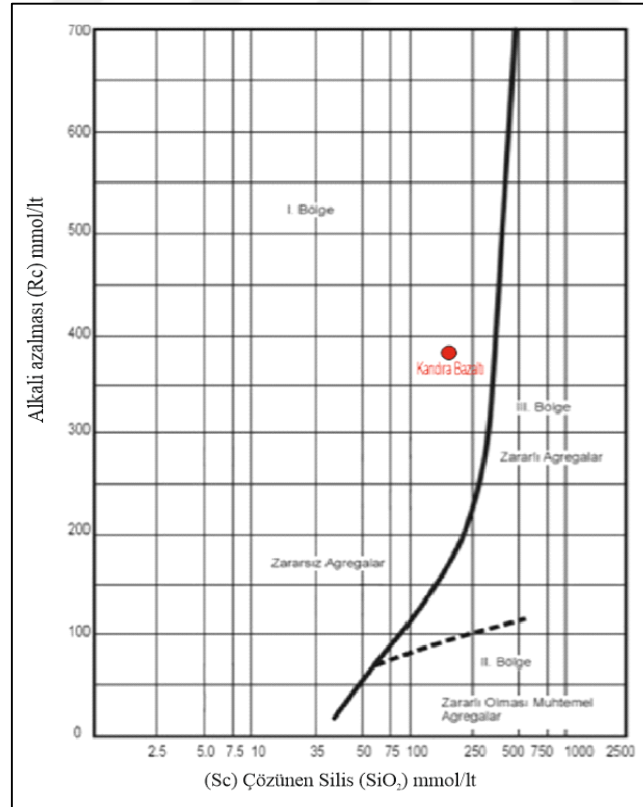
Bu deney esas olarak hızlandırılmış harç çubuğu yöntemi ile benzer özellik göstermektedir. Çünkü deneyde hazırlanan alkali ortam her ikisinde de aynıdır. Kimyasal yöntemde farklı olarak agreganın reaktivitesini ölçmek için harç çubuğu kullanılmaz ve direkt agrega, alkali ortama maruz bırakılmaktadır (İpek ve diğ., 2008).

Deneyde, agregaların 0,250 mm ile 0,125 mm'lik elekler arasında kalan malzemeden kuru olarak 25 g.'lık 3 adet örnek alınarak reaksiyon kabı içerisine konur. Bu kapların her birine 25 ml. NaOH çözeltisi ilave edilir. Referans kabına sadece 25 ml. NaOH çözeltisi konularak deney uygulanır. Deney sonucunda bulunan alkali azalması (Rc) ve çözünmüş silis (Sc) değerleri kullanılarak grafik yardımıyla incelenen agreganın yeri belirlenir ve agreganın zararlı olup olmadığı hakkında yorum yapılır (İpek ve diğ., 2008).

İncelenen bazalt agregaları ile TS 2517 Standardına uygun olarak yapılan kimyasal analiz sonucu bulunan değerler Tablo 5.18'de sunulmuştur. Bu analizlerin grafiksel olarak gösteriminde, Kandıra Bazalt agregalarının zararsız agregalar bölgesinde yer aldığı görülmektedir (Şekil 5.25).

Tablo 5. 18. İncelenen bazalt agregalarının kimyasal analiz sonuçları

Agrega Türü	Alkalinin azalması Rc (mmol/lt)	Çözünen silis Sc (mmol/lt)
Kandıra Bazaltı	383	182



Şekil 5. 25. İncelenen bazalt agregalarının kimyasal analiz sonuçlarının grafik gösterimi

5.5. Beton Araştırmaları

İncelenen Gebze kireçtaşı ve bazalt agregalarının beton özelliklerine etkilerini araştırmak amacıyla laboratuvarı deneme betonları hazırlanmıştır. Çalışmada bu amaçla; kireçtaşı agregaların ince ve iri agregaları ile bazalt agregaların iri agregaları kullanılarak hazırlanan, numuneler üzerinde taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. İncelenen kireçtaşı ve bazaltların taze ve sertleşmiş betona olan etkilerini araştırmak hedefiyle; aynı tür çimento ve doğal kum kullanılarak, farklı su/çimento oranına sahip iki farklı deneme betonu üretilmiştir.

Bu kısımda hazırlanan beton numuneleri üzerinde taze beton deneyleri olan çökme deneyi ve birim ağırlık, sertleşmiş beton üzerinde ise beton basınç dayanımı deneyi yapılmıştır.

Deneyisel çalışmalar, İsmail Demirtaş Beton Merkez Laboratuvarı ve İTÜ İnşaat Fakóltesi, Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda gerçekteştirilmiştir.

5.5.1. Deneme Betonlarda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Beton karışımında kullanılan malzemelerin (çimento, agrega ve su) ve karılma işleminden hemen önce veya karılma işlemi esnasında beton karışım içerisine eklenen kimyasal katkı malzemelerin, istenen beton özelliklerine göre seçilmesi, özelliklerinin belirlenmesi ve bu malzemelerin hangi oranlarda karışımda kullanılacaklarının doğru bir şekilde hesaplanması gerekmektedir.

5.5.1.1. Çimento Özellikleri

Hazırlanan beton karışımında, TS EN 197-1 (2012) standardına uygunluk gösteren, CEM-I 42,5 türü çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 5.19'da verilmiştir.

Tablo 5. 19. Beton karışımında kullanılan çimentonun özellikleri

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler	
SiO ₂ (%)	18,70	Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	3,11
Al ₂ O ₃ (%)	4,90	Özgöl Yüzey (Blaine) (cm ² /g)	3810

Tablo 5.19. (Devam) Beton karışımında kullanılan çimentonun özellikleri

Fe ₂ O ₃ (%)	3,31	Hacim Genleşmesi (Le Chatelier) (mm)	1
CaO (%)	63,51	Priz Başlama Süresi (dk.)	137
MgO (%)	1,34	Priz Sona Erme Süresi (dk.)	216
SO ₃ (%)	3,29	İncelik (45 µm) (%)	3,1
Cl (%)	0,03	İncelik (90 µm) (%)	0,2
Na ₂ O (%)	0,20	Basınç Dayanımı (MPa)	
K ₂ O (%)	0,83	2 Gün	39
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,49	7 Gün	-
Kızdırma Kaybı (%)	3,45	28 Gün	61,9

5.5.1.2. Agrega Özellikleri

Deneyisel çalışmalarda betonların karışım tasarımında kullanılacak agregalar; ince agregalar olarak doğal kum ve kireçtaşlarına ait kırma kum (0-5 mm) iri agregalar olarak kireçtaşı ve bazalt kökenli kırmataş 1 (5-12 mm) ve kırmataş 2 (12-22 mm) kullanılmıştır. Kullanılan agregalara ait tane boyu dağılımı ve fiziksel özellikleri Tablo 5.20 ve Tablo 5.21’de verilmiştir.

Tablo 5. 20. Deneme betonlarda kullanılan agregaların tane boyu dağılımı

Elek Aralığı (mm)	Doğal Kum	Gebze Kireçtaşı			Kandıra Bazalt	
		Kırma Kum	Kırmataş 1	Kırmataş 2	Kırmataş 1	Kırmataş 2
		% Geçen				
22,4	100	100	100	100	100	100
16	100	100	100	68	100	96
11,2	100	100	93	8	94	25
8	100	100	52	1	47	5
5,6	100	100	17	0	11	3
4	99	98	0	0	3	0

Tablo 5. 20. (Devam) Deneme betonlarda kullanılan agregaların tane boyu dağılımı

2	91	83	0	0	0	0
1	75	50	0	0	0	0
0,5	41	32	0	0	0	0
0,25	21	15	0	0	0	0

Tablo 5. 21. Deneme betonlarda kullanılan agregalara ait özellikler

Agrega Deneyleri	Doğal Kum	Gebze Kireçtaşı			Kandıra Bazalt	
	(0-2 mm)	(0-5 mm)	(5-12 mm)	(12-22 mm)	(5-12 mm)	(12-22 mm)
DYK Tane Yoğunluğu (Mg/m ³)	2,51	2,62	2,7	2,72	2,74	2,75
Su Emme (%)	1,2	1,6	0,5	0,3	1,9	2,1
Metilen Mavisi Değeri (MB) (%)	0,5	0,75	–	–	–	–
Los Angeles Aşınma Dayanımı	–	–	23,8		18,1	
Mikro-Deval Aşınma Dayanımı	–	–	21,5		16,2	
Yassılık Endeksi (%)	–	–	13	14	18	20
Magnezyum Sülfat (%)	–	–	3,1	3,3	9,1	9,2

5.5.1.3. Kimyasal Katkı Özellikleri

Gebze kireçtaşı ve Kandıra bazalt agregalarıyla üretilen beton karışımlarında, iki farklı katkı malzemesi kullanılmıştır. 300 kg/m³ çimento dozajıyla üretilen betonlarda, CHRYSO 3032 (Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi) kullanılırken, 450 kg/m³ çimento dozajıyla üretilen betonlarda ise MOL Fluid M1000G (Yüksek oranda su azaltıcı / süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi) kullanılmıştır.

CHRYSO 3032, beton karışımları için orta ve yüksek dayanım sınıfına sahip betonlarda, akışkanlaştırıcı ve su azaltıcı katkı malzemeleridir. Katkısız şahit betona kıyasla eşit su/çimento oranında akışkanlığı çok artırarak işlenebilmeyi kolaylaştırır. Ayrıca eşit

kıvama sahip betonlarda su ihtiyacını önemli ölçüde azaltıp, dayanım ve dayanıklılığı çok arttırıcı özelliğe sahiptir. Deneme betonlarda kullanılan katkının yoğunluğu; 1,20 gr/cm³'tür (Chryso Yapı Kimyasalları).

MOL Fluid M1000G, yüksek oranda su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı katkıdır. Kimyasal yapısı ile çimento ve kum tanelerini birbirlerinden uzaklaştırarak malzemelerin mükemmel dağılımını ve çimento hidrasyonunun daha geniş alanda gerçekleşmesini sağlar özelliktedir. Özellikle soğuk hava koşullarında, prizi geciktirmeden akışkanlık ve kıvam koruma sağladığı için tercih edilir. Ayrıca çok düşük su/çimento oranı sayesinde betonun su geçirimsizliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Deneme betonlarda kullanılan katkının yoğunluğu; 1,19 gr/cm³'tür (Molekül Yapı Kimyasalları).

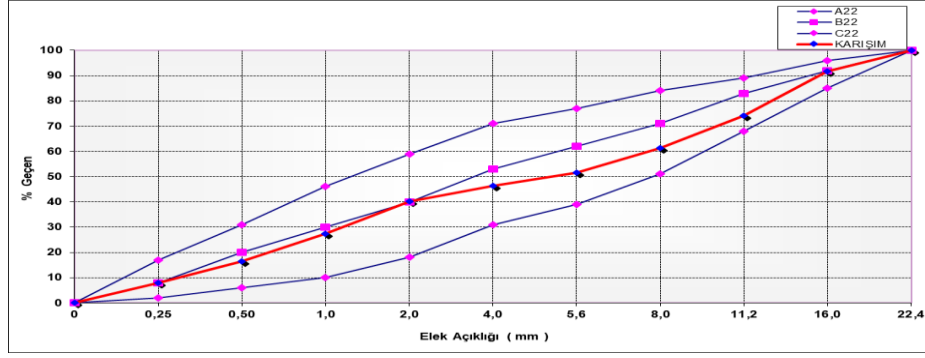
5.5.1.4. Karma Suyu

Deneme betonlarında ve agrega özelliklerini belirlemek için yapılan deneylerde şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

5.5.2. Agreganın Granülometrisi

Beton üretimi yapılmadan önce betonun iskeletini oluşturan agregaların granülometri eğrisi, standartta belirtilen granülometri eğrileri arasında belirlenen bir bölge içinde yer almalıdır. Agregalarının granülometri eğrilerinin bu bölge içerisinde kalmasını sağlayınca, üretilen betonun boşluk miktarı azalmış olacaktır. Çünkü bu karışımla çimento ince agreganın, ince agregaya ise iri agreganın bulundurduğu boşlukları doldurmuş olacak ve karma suyu miktarı istenen seviyelerde olarak işlenebilme özelliği de beton için istenen düzeyleri sağlamış olacaktır. Böylelikle kalıba dökülen betonun dayanımının büyük olması için gerekli koşullar sağlanmış olacaktır (Postacıoğlu, 1987).

İncelenen kireçtaşı ve bazalt agregaları ile üretilen betonlarda, TS 706 EN 12620+A1 Standardında bulunan referans eğrileri dikkate alınarak hesaplanan agreganın granülometri eğrileri Şekil 5.26'da verilmiştir.



Şekil 5. 26. Agrega numuneleri ile yapılan karışım tasarımı granülometreleri

5.5.3. Beton Karışımları ve Üretimleri

Gebze ve Kandıra Bölgeleri'nden alınan kireçtaşı ve bazalt agregalarının beton özelliklerine etkilerini araştırmak amacıyla çimento dozajları farklı (300 kg/m^3 ve 450 kg/m^3) iki farklı deneme betonları üretilmiştir (Tablo 5.22). Beton karışımları için en uygun granülometri seçilmiş, aynı tür çimento ve doğal kum kullanılmış ve su/çimento oranı sabit tutulmuştur. Ayrıca bazalt agregalarının ince agrega kalitesi beton için uygun aralıkta olmadığı için bazalt agregalarının sadece iri agregası (Kırmataş 1 ve Kırmataş 2) beton karışımında kullanılmıştır (Tablo 5.22). Beton karışımında beton özelliklerini geliştirebilmek amacıyla, süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı malzemesi kullanılmıştır. Deneme betonların karışım miktarları Tablo 5.22'de verilmiştir.

Tablo 5. 22. Üretilen deneme betonların karışım miktarları

	Karışım 1		Karışım 2	
	Gebze Kireçtaşı	Kandıra Bazalt	Gebze Kireçtaşı	Kandıra Bazalt
Çimento (kg/m^3)	300	300	450	450
Su (kg/m^3)	164	164	152	152
Su/Çimento	0,55	0,55	0,34	0,34
Doğal Kum (kg/m^3)	278	278	252	252
Kırma Kum (kg/m^3)	615	615	574	574
Kırmataş 1 (kg/m^3)	530	539	488	497
Kırmataş 2 (kg/m^3)	504	512	473	479
Katkı Miktarı (kg/m^3)	3,6	3,6	3,3	3,3
Kimyasal Katkı Adı	CHRYSO 3320-2		MOL Fluid M1000G	

5.5.4. Taze Beton Deneyleri

Hazırlanan beton karışımlarında taze beton, yeterli işlenebilmeye sahip olmalıdır. Başka bir deyişle taze beton, üniform, kolayca karılabilir, taşınabilir yerleştirilebilir, sıkıştırılabilir ve yüzeyi düzeltilebilir olmalıdır (Erdoğan, 2021). İncelenen kireçtaşı ve bazalt agregaları kullanılarak hazırlanan taze betonların özelliklerini belirlemek için TS EN Standartlarına göre çökme deneyi ve birim ağırlık deneyi yapılmıştır.

5.5.4.1. Çökme Deneyi

Taze betonun kıvamını ölçmek için TS EN 12350-2 (2019)'e göre hazırlanan deneme betonların çökme deneyi yapılmıştır (Şekil 5.27). Elde edilen sonuçlar Tablo 5.23'de sunulmuştur.

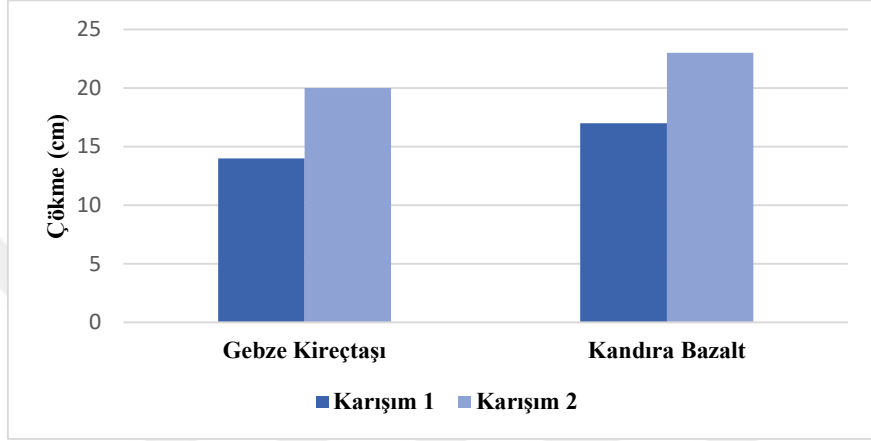
Taze beton kütleindeki çökme mesafesi, betonun kıvam ölçüsü olarak tanımlanır (TS EN 12350-2). Deney basit ve kolayca uygulanabilir olmasıyla birlikte, betonun üniformitesini ve kalitesini kontrol edebilmek için de kullanılan önemli bir yöntemdir.



Şekil 5. 27. Taze betonda çökme deneyinin uygulanışı

Taze betonda çökme miktarlarına etki eden karma suyu miktarı ve iri agrega tanelerin biçim şeklidir. Betondaki su miktarındaki değişiklik çökmenin farklı değer almasına

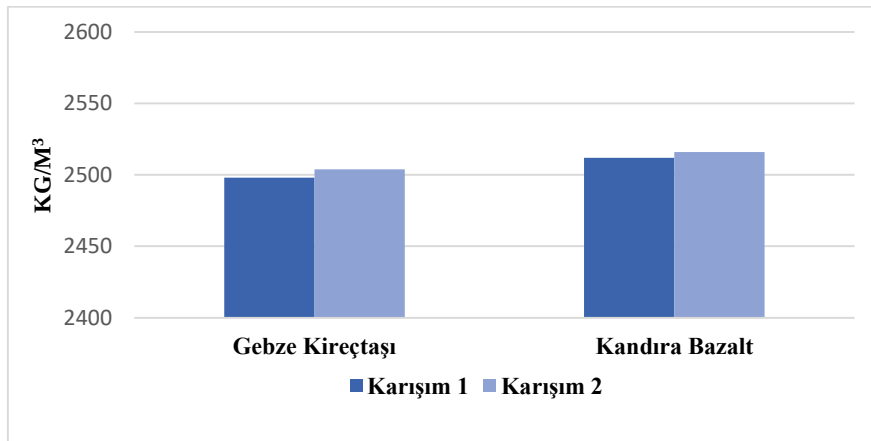
neden olmaktadır. Betonun içerisinde yer alan iri agreganın kırmataş tanelerinden veya köşeli tanelerden oluşması, taze betonun daha iyi kenetlenmesine ve daha az çökmesine neden olmaktadır. İncelenen bazalt agregaları ile yapılan betonların çökme değerinin, kireçtaşları ile yapılan betonlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5.28). Bunun nedeni bazaltların su emme oranının kireçtaşlarına göre fazla olmasından kaynaklanabilir.



Şekil 5. 28. Kireçtaşı ve bazalt agregalarına ait çökme değerleri

5.5.4.2. Birim Ağırlık Deneyi

Birim ağırlık, hacmi bilinen bir kap içerisine yerleştirilen ve sıkıştırma işlemi yapılan betonun ağırlığının, kabın iç hacmine bölünmesiyle bulunur. Taze betonun birim ağırlığını belirlemek amacıyla, deneme betonlarında birim ağırlık değerleri TS EN 12350-6 (2019)'ya göre belirlenmiş olup, elde edilen sonuçlar Tablo 5.23'de sunulmuştur. Birim ağırlık değerlerinin değişimi ise Şekil 5.29'de görülmektedir.



Şekil 5. 29. Kireçtaşı ve bazalt agregalarına ait birim ağırlık değerleri

Taze beton birim ağırlık değerlerine bakıldığında, Kandıra bazalt agregası kullanılarak yapılan betonların birim ağırlık değeri Gebze kireçtaşı agregasına göre daha yüksektir (Şekil 5.29). Bunun nedeni Kandıra bazalt agregasının özgül ağırlığının, Gebze kireçtaşı agregasına göre yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü aynı bileşime sahip betonlarda, kullanılan agreganın özgül ağırlığı yükseldikçe oluşturduğu betonun birim ağırlığı da yüksek olmaktadır. Taze betonun birim ağırlık değerlerindeki farklılık esas olarak agregaların özgül ağırlığı ve taze betonun hava miktarından kaynaklanmaktadır (Erdoğan, 2021).

Tablo 5. 23. Taze beton özellikleri

	Karışım 1		Karışım 2	
	Gebze Kireçtaşı (300)	Kandıra Bazalt (300)	Gebze Kireçtaşı (450)	Kandıra Bazalt (450)
Çökme (cm)	14	17	20	23
Birim Ağırlık (kg/m³)	2498	2512	2504	2516

5.5.5. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Sertleşmiş betonda istenen asıl hedef kendisinden istenen özellikleri sağlamış olmasıdır. Dolayısıyla sertleşmiş beton, istenilen süre zarfında yeterli dayanıma ulaşabilmeli, yeterli dayanıklılığa ve hacim sabitliğine sahip olmalıdır (Erdoğan, 2021). Sertleşmiş betonun en önemli özelliği olarak bilinen basınç dayanımını belirlemek amacıyla, incelenen kireçtaşı ve bazalt agregaları kullanılarak hazırlanan sertleşmiş betonlar üzerinde TS EN Standartlarına göre Basınç Dayanımı Deneyi yapılmıştır.

5.5.5.1. Basınç Dayanımı Deneyi

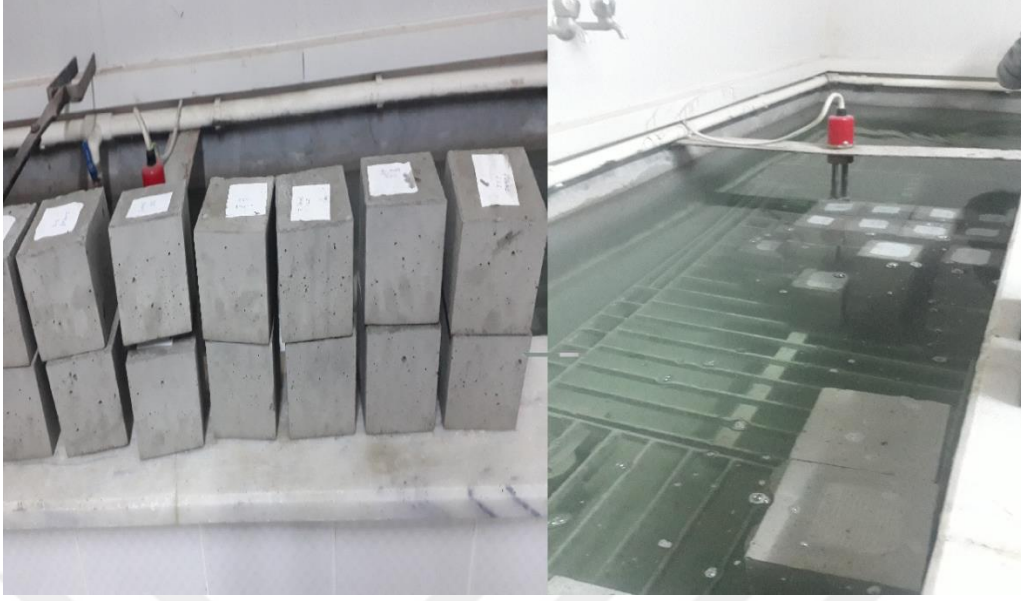
Taze betondan TS EN 12350-1 (2019) Standardında belirtilen yöntemle göre 10x10x10 cm boyutunda kalıplarla deneme betonları hazırlanmıştır (Şekil 5.30). Kalıplara beton doldurulmadan önce temizleme ve yağlama işlemi yapılır. Ardından beton doldurularak

kalıplarda 12 ± 2 saniye masa tipi vibratör uygulanır. Vibratör işlemiyle kalıba yerleştirilen taze betonun, içerisindeki havadan kurtulmak ve betonu daha az boşluklu bir beton haline getirebilmek amacıyla, sıkıştırma işlemi gerçekleştirilir. Kalıpların üzeri ise malayla düzeltilerek numune alma işlemi tamamlanmış olur (Şekil 5.30).



Şekil 5. 30. Beton numunelerinin hazırlanması

Hazırlanan beton numuneleri şekil verilebilir özelliğini tamamlayıp katılaşma safhasına geçtikten sonra (24 saat) numuneler kalıptan çıkartılmıştır. Numuneler kırılma gününe kadar sıcaklığı 20 ± 2 °C' olan kirece doymun su ile dolu kür havuzunda bekletilmiştir (Şekil 5.31). Her bir karışımdan 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı tayini için 3'er adet küp numunesi alınmıştır. TS EN 12390-3 (2019)'e göre 2, 7 ve 28 günde basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır (Şekil 5.32). Deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.24'de verilmiştir.



Şekil 5. 31. Kirece doygun suda bekletilen beton numuneleri ve kür uygulaması



Şekil 5. 32. Üretilen deneme betonlarda basınç dayanımı deneyinin uygulaması

Betonların agrega karışım oranları, su/çimento oranları ve katkı oranları aynı olduğu halde, beton basınç dayanımlarında birbirinden farklı değerler elde edilmiştir. Çalışmada esas olarak incelenen kireçtaşı ve bazalt kayalarından üretilen agregaların, farklı su/çimento oranı ile hazırlanan normal ve yüksek dayanımlı betonlarda, etkisinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla normal dayanımlı (Karışım 1) ve yüksek dayanımlı (Karışım 2) betonlar üretilip bu betonlar üzerinde kireçtaşı ve bazalt agregalarının davranışı ve etkisi araştırılmıştır. Karışım 1’de 28 günlük normal dayanımlı betonlar üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyinde Gebze kireçtaşı agregaları ile üretilen betonlar daha yüksek değerler almıştır. Karışım 2’de ise 28 günlük yüksek

dayanımlı betonlar üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyinde Kandıra bazalt agregaları ile üretilen betonlar daha yüksek değerler almıştır (Tablo 5.24).

Tablo 5. 24. Sertleşmiş beton özellikleri

		Karışım 1		Karışım 2	
		Gebze Kireçtaşı (300)	Kandıra Bazalt (300)	Gebze Kireçtaşı (450)	Kandıra Bazalt (450)
Beton Basınç Dayanımı (MPa)	2 Günlük	30,6	25,0	37,9	36,1
	7 Günlük	40,5	34,4	51,6	59,5
	28 Günlük	45,7	40,3	61,4	69,6

Normal dayanımlı betonlarda kırılma davranışını etkileyen ana unsur hidratasyon özelliği kazanmış çimento hamurudur. Çünkü agrega dayanımı genelde çimento hamurunun dayanımından yüksek olacağı için kırılma çimento hamuru ve betonun ara yüzeyinde olacaktır. Ama yüksek dayanımlı betonlarda, çimento hamurunun dayanımı, agreganın dayanımından genelde daha yüksek olduğu için betonda kırılma yüzeyi daha zayıf olan agregayı keserek oluşur. Üretilen betonlarda Gebze kireçtaşından oluşan normal dayanımlı betonların, çimento ile aderansı kireçtaşının daha iyi olduğu için, Kandıra bazaltından oluşan normal dayanımlı betonlara göre dayanımı daha yüksektir. Ancak yüksek dayanımlı betonlarda Kandıra bazaltından oluşan betonların dayanımı, kireçtaşından oluşan betonlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 5.24). Bunun nedeni Kandıra bazaltının yüksek mukavemetli bir dayanımının olmasıdır. Dolayısıyla, elde edilen sonuçlar agreganın kayaç dayanımının betonun mukavemeti üzerine etkisinin yüksek dayanımlı betonlarda oldukça önemli olduğunu, normal dayanımlı betonlarda ise agreganın kayaç dayanımından çok çimento ile aderansının önemli olduğunu göstermektedir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, Gebze kireçtaşı ve Kandıra bazaltı kayaç örneklerinin kırmataş üretim tesislerinde kırma kum, kırmataş 1 ve kırmataş 2 olarak tanımlanan agrega örneklerinin fiziksel, mekanik ve kimyasal deney sonuçları, mineralojik-petrografik analizleri, alkali agrega reaksiyonu deneysel sonuçları ve beton deneyleri sonuçları irdelenerek normal ve yüksek dayanımlı betonda kullanılabilirlikleri karşılaştırılmıştır.

6.1. Fiziksel ve Mekanik Deney Sonuçları

6.1.1. Tane Büyüklüğü Dağılımı

İncelenen agregaların elek analizi sonuçları Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6. 1. İncelenen agregaların elek analizi sonuçları

Deney Agrega Numunesi	Elek Aralığı (mm)											
	22,4	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
	Elek Altı %Geçen											
KRÇ-1 Kırma Kum	100	100	100	100	100	91	65	45	30	21	13	7
KRÇ-1 Kırmataş 1	100	100	93	52	17	0	0	0	0	0	0	0
KRÇ-1 Kırmataş 2	100	68	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0
KRÇ-2 Kırma Kum	100	100	100	100	100	98	83	50	32	15	10	8
KRÇ-2 Kırmataş 1	100	100	93	48	13	3	0	0	0	0	0	0
KRÇ-2 Kırmataş 2	100	56	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0
BZLT-1 Kırma Kum	100	100	100	100	98	89	46	26	18	10	5	4
BZLT-1 Kırmataş 1	100	100	94	47	11	3	0	0	0	0	0	0
BZLT-1 Kırmataş 2	100	96	25	5	3	0	0	0	0	0	0	0
BZLT-2 Kırma Kum	100	100	100	100	97	85	44	16	9	7	6	4
BZLT-2 Kırmataş 1	100	100	98	75	23	8	0	0	0	0	0	0
BZLT-2 Kırmataş 2	100	95	17	3	1	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 6.1’de görüldüğü gibi, agregaların tane sınıfları TS 706 EN 12620 Standardında belirtilen genel koşulları sağlamakta ve beton agregası için uygun tane büyüklüğü özelliğine sahiptirler.

İncelenen kireçtaşı ve bazalt agregalarının 0,063 mm geçen çok ince madde miktarı %3’den fazla olduğu, kırmataş 1 ve kırmataş 2 agregalarının ise 0,063 mm geçen çok ince madde miktarının %1’den az olduğu görülmektedir (Tablo 6.1). Dolayısıyla kırma kumların malzeme kalitesi belirlenmesi gerektiği için her agreganın numunesinin metilen mavisi deneyi yapılmıştır.

Gebze ve Kandıra Bölgeleri’nden alınan kireçtaşı ve bazalt kayaçlarının agregası olarak beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırmak amacıyla yapılan standart agregası deneyleri sonuçları, standartlarda verilen sınır değerlere göre değerlendirilmiştir (Tablo 6.2).

6.1.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme

Kireçtaşı ve bazalt agregalarının özgül ağırlıklarının kırma kumlarda $2590 - 2620 \text{ kg/m}^3$ ve kırmataş numunelerinde $2690 - 2760 \text{ kg/m}^3$ olduğu belirlenmiştir. Elde edilen veriler agregaların özgül ağırlıklarının, normal beton agregaları içerisinde yer aldığını göstermektedir.

Kireçtaşı agregalarının su emme değerleri kırma kumlarda %1,3 - %1,6 ve kırmataş numunelerinde %0,3 - %0,6 olduğu belirlenmiştir. Bazalt agregalarının ise su emme değerleri kırma kumlarda %2,8 - %2,9 ve kırmataş numunelerinde %1,9 - %2,2 olduğu belirlenmiştir. Bu değerler bazalt agregalarının su emme değerlerinin kireçtaşı agregalarına göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Ancak betonda kullanılacak agreganın su emme değerinin %3’den az olması istendiği için incelenen agreganın numunelerinin su emme değerlerinin uygun özellikte olduğu anlaşılmaktadır.

6.1.3. Metilen Mavisi Deneyi

Kireçtaşı agregalarının metilen mavisi değerleri kırma kumlarda %0,75 - %1,00 g/kg, bazalt agregalarının kırma kumları ise %5,00 - %5,50 g/kg olduğu belirlenmiştir. Metilen mavisi sonuçlarının belli bir standardı olmamak ile birlikte sonuçların 2,50 g/kg değerini aşmaması tavsiye edilmektedir. Kireçtaşı agregasının numunelerinin sınır değerinin (%2,5)

altında olduğu ve bazalt numunesinin de sınır değerinin üstünde olduğu görülmektedir (Tablo 6.2). Dolayısıyla kireçtaşı agregalarının ince agregaları beton agregası olarak kullanımı uygun, bazalt agregalarının ise ince agregaları beton agregası olarak kullanımı sakıncalıdır.

Tablo 6. 2. Deney sonuçlarına göre kireçtaşı ve bazalt agregalarının sınır değerlerine uygunluğu

Deneyler	Gebze Kireçtaşı Kırma Kum	Gebze Kireçtaşı Kırmataş 1	Gebze Kireçtaşı Kırmataş 2	Kandıra Bazalt Kırma Kum	Kandıra Bazalt Kırmataş 1	Kandıra Bazalt Kırmataş 2	Deney Standartları ve Sınır Değerleri
Doygun Özgül Ağırlık (yüzey kuru) (Mg/m ³)	2,62	2,70	2,72	2,58	2,74	2,76	TS EN 1097-6 ≥ 2,55
Su Emme Oranı (%)	1,45	0,55	0,40	2,85	2,00	2,15	TS EN 1097-6 < 3,0
Metilen Mavisini Değeri (MB) (%)	0,87	-	-	5,25	-	-	TS EN 933-9+A1 ≤ 2,5
Yassılık Endeksi (%)	-	15,26	-	-	11,83	-	TS EN 933-3 ≤ %20
Los Angeles Parçalanma Dayanımı (LA)	-	24,10	-	-	18,27	-	TS EN 1097-2/D1 LA ₅₀ (< 50)
Mikro-Deval Aşınma Dayanımı (MDE)	-	22,86	-	-	16,75	-	TS EN 1097-1 MDE ₃₅ (< 35)
Magnezyum Sülfat Çözeltilisinde Don Kaybı (%)	-	1,80	-	-	6,10	-	TS EN 1367-2 ≤ %18
Alkali-Silika Reaksiyonu (%)	0,06	-	-	-	-	-	ASTM C 1260 <% 0,20 (14 günlük)
Kimyasal Analiz Yöntemi	-	-	-	Zararsız Agregalar	-	-	TS 2517

6.1.4. Yassılık Endeksi

İncelenen agregaların kırmataş numunelerinin yassılık endeksinin %11,5 - %17,2 arasında olduğu belirlenmiştir. Bu değerler kırmataş agregalarının TS 706 EN 12620 Standardı açısından FI₁₅₋₂₀ kategorisinde ve uygun alanda olduğunu göstermektedir.

6.1.5. Parçalanmaya Karşı Dayanım (Los Angeles Oranı)

Beton agregalarında TS 706 EN 12620 Standardına göre Los Angeles parçalanma oranının aşınma kayıplarının 500 devirde %50'yi geçmemesi istenmektedir. İncelenen kireçtaşı agregalarının kırmataş numunelerinin Los Angeles parçalanma deneyi 500 devirde %24,4 ve %23,8 kayıp, bazalt agregalarının ise kırmataş numunelerinin Los

Angeles parçalanma deneyi 500 devirde %18,4 ve %18,1 kayıp bulunmuştur. TS 706 EN 12620 Standardına göre kireçtaşı kırıntı agregaları LA₂₅, bazalt kırıntı agregaları ise LA₂₀ kategorisine girmektedir.

6.1.6. Aşınmaya Karşı Dayanım (Mikro-Deval Oranı)

Beton agregalarında TS 706 EN 12620 Standardına göre Mikro-Deval aşınmaya karşı direncin %35'den az olması istenmektedir. İncelenen kireçtaşı agregalarının kırıntı numunelerinin Mikro-Deval deneyi sonucu aşınma oranı %23,2 ve %22,5, bazalt agregalarının ise kırıntı numunelerinin aşınma oranı %17,2 ve %16,3 olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre TS 706 EN 12620 Standardında kireçtaşı kırıntı agregaları M_{DE}25, bazalt kırıntı agregaları ise M_{DE}20 kategorisine girmektedir.

6.1.7. Donmaya Karşı Dayanıklılık (Magnezyum Sülfat Deneyi)

Magnezyum sülfat çözeltisi ile yapılan deneyde, kireçtaşı agregalarının kırıntı numunelerinin kütle kaybı %1,6 ve %2,0 bazalt agregalarının ise kırıntı numunelerinin kütle kaybı %9,4 ve %2,8 olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler beton agregaları için kullanılan TS 706 EN 12620 Standardına göre değerlendirildiğinde, incelenen agregalar MS₁₈ kategorisine girmektedir. Bu kategoride olan agregaların her iklim şartlarında kullanılabileceği belirtilmektedir.

6.1.8. Kaya Malzemelerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Türk Standartlarında agrega olarak kullanılabilecek kaya numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı değerinin 100 MPa'dan az olmaması önerilmektedir. İncelenen kireçtaşı kaya numunesinin tek eksenli basınç dayanımı 91,61 MPa ve 106,29 MPa, bazalt kaya numunelerinin ise tek eksenli basınç dayanımı 207,16 MPa ve 163,66 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre kireçtaşları orta-yüksek dayanımlı, bazaltlar ise yüksek dayanımlı kaya sınıfında olduğu belirlenmiştir.

6.2. Agregaların Kimyasal Özellikleri

Kimyasal analiz verilerine göre, incelenen KRÇ-1 örneği CaO miktarı %50'den fazla ve MgO miktarı %2'den az olduğundan "kireçtaşı", KRÇ-2 ise CaO miktarı %50'den ve

MgO miktarı %2'den az olması nedeniyle “saf olmayan kireçtaşı” olarak adlandırılmaktadır (Elçi ve diğ., 2014).

Kimyasal analiz sonuçlarına göre, incelenen bazaltın kökenini belirlemek amacıyla Le Bas ve diğ. (1986)'a göre $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ değerleri kullanıldığında, bazaltın “bazaltik andezit” bileşimli olduğu belirlenmiştir. Beton agregası olarak kullanılan kayaların MgO oranının ise %3'ün altında olması tavsiye edilmektedir (Yılmaz ve diğ., 2011). İncelenen kireçtaşı ve bazalt kayalarının da MgO oranlarının %3'den az olduğu bulunmuştur.

6.3. Agregaların Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Kaya numunelerinde yapılan makro ve mikro incelemeler sonucunda, kireçtaşının sert ve gevrek, çoğunlukla karbonat minerallerinden (kalsit) oluşan tortul kayaç olduğu, bazaltın ise sert ve yüksek dayanımlı, çoğunlukla plajiyoklaz minerallerinden oluşan volkanik kayaç olduğu belirlenmiştir.

Tortul kayacının mikro incelemesinde, kalsitten ibaret oolitten oluştuğu ve ayrılmış kısımlarında ise karbonat çamuru içerisinde kil mineralleri, kalsit mineralleri, mikro fosil ve kavkılar ve kuvars minerallerinden oluştuğu görülmüştür. Volkanik kayacının mikro incelemesinde ise porfirik doku görünümünde olduğu ve seyrek olarak piroksen minerallerinin etrafında kloritleşme görülmüştür.

6.4. Kireçtaşı ve Bazalt Agregalarının Alkali Agregasyon Reaksiyonu

6.4.1. Hızlandırılmış Harç Çubuğu Yöntemi

ASTM C 1260 Standardı; harçların 14 gün sonunda boy uzamaları (genleşmeleri) %0,20'den büyük ise agreganın zararlı olabileceğini belirtmektedir. İncelenen agrega numunelerinin ortalama boy uzama oranının %0,10'un altında olduğundan alkali silika reaksiyonu yönünden zararsız olduğu belirlenmiştir.

6.4.2. Kimyasal Analiz Yöntemi

İncelenen bazalt numuneleri ile TS 2517 Standardına uygun olarak kimyasal analiz yöntemi ile alkali silika reaksiyon riski araştırılmıştır. Bazalt agrega numuneleri ile yapılan kimyasal analiz sonucu bulunan değerler, Alkalın azalması (R_C)= 383 mmol/lt ve

Çözünen silis (S_C)= 182 mmol/lit olarak bulunmuştur. Bu değerler grafiksel olarak değerlendirildiğinde; bazalt agregalarının I. Bölge olan Zararsız Agregalar bölgesinde yer aldığı görülmektedir.

6.5. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

6.5.1. Çökme Deneyi Sonuçları

Kireçtaşı agregaları ile üretilen çimento dozajı 300 kg/m^3 ile 450 kg/m^3 olan betonların kıvam değerleri 14 cm ve 20 cm, bazalt agregalarının ise aynı çimento dozajlı betonlarının kıvam değerleri 17 cm ve 23 cm olarak bulunmuştur. Bazalt agregalarının her iki beton karışımında (300 kg/m^3 ve 450 kg/m^3) kıvam değerleri, kireçtaşı agregalarına göre yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bazalt agregalarının su emmesinin kireçtaşlarına göre yüksek olmasından kaynaklanabilir. Dolayısıyla, bazalt agregalarının kireçtaşı agregaları ile aynı işlenebilirlikte olması için daha fazla suya ihtiyacının olduğu anlaşılmaktadır.

6.5.2. Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

Kireçtaşı agregaları ile üretilen çimento dozajı 300 kg/m^3 ile 450 kg/m^3 olan betonların birim ağırlık değerleri 2498 kg/m^3 ve 2504 kg/m^3 , bazalt agregalarının ise aynı çimento dozajlı betonlarının birim ağırlık değerleri 2512 kg/m^3 ve 2516 kg/m^3 bulunmuştur. Beton içerisine giren agregaların özgül ağırlığının yüksek olması durumunda, üretilen betonların birim ağırlıklarının yüksek olacağı bilinen bir gerçektir. Kireçtaşı agregaları ile üretilmiş betonların birim ağırlıklarının düşük, bazalt agregaları ile üretilmiş betonların birim ağırlıklarının yüksek olması beklenen bir sonuçtur.

6.6. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

6.6.1. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

Kireçtaşlarının ince ve iri agregaları ile bazaltların iri agregaları kullanılarak hazırlanmış iki beton karışımından elde edilen küp numuneler üzerinde 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Küp numunelerine ait basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 6.1'de verilmiştir. Elde edilen verilerin değerlendirilme sonuçları aşağıda verilmiştir.

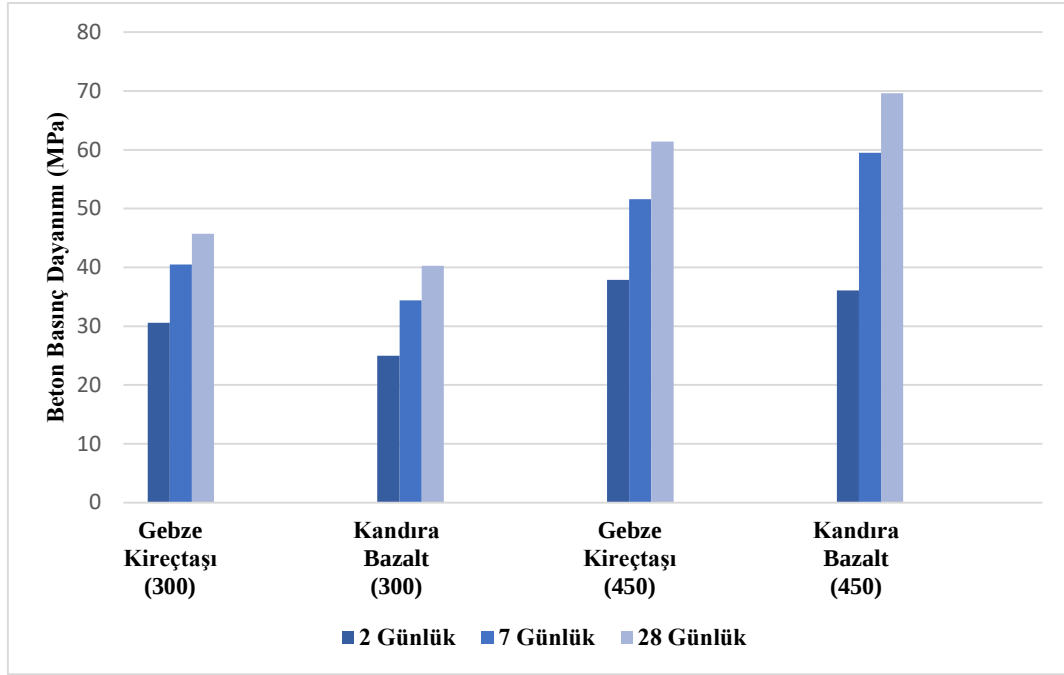
Bazalt agregaları ile üretilen betonların ilk günlerdeki basınç dayanımının gelişimi, kireçtaşı agregalarına göre daha yavaş olduğu görülmüştür.

Kireçtaşı agregaları ile üretilen Karışım 1 (su/çimento oranı: 0,55 olan) betonlarının, bazalt agregaları ile üretilen Karışım 1 betonlara göre daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir. 28 günlük basınç mukavemetlerinde kireçtaşlarının bazaltlara göre %13 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir (Şekil 6.1). Ayrıca kireçtaşı ve bazalt agregaları ile üretilen betonlar, normal dayanımlı beton için istenen mukavemeti sağlamaktadır.

Karışım 1 normal dayanımlı beton özelliğinde olduğu için bu tasarımda agreganın çimento hamuru ile aderansının önemli olduğu bilinmektedir. Kireçtaşı agregalarının çimento hamuru ile aderansı daha iyi olduğu için bazalt agrega ile üretilen betonlara göre daha yüksek mukavemet göstermesi beklenen bir sonuçtur.

Kireçtaşı agregaları ile üretilen Karışım 2 (su/çimento oranı: 0,34 olan) betonlarının 2 günlük basınç dayanımı haricinde, bazalt agregaları ile üretilen Karışım 2 betonlara göre daha düşük mukavemete sahip olduğu görülmektedir (Şekil 6.1). 28 günlük basınç mukavemetlerinde bazaltların kireçtaşlarına göre %13 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir. Kireçtaşı ve bazalt agregaları ile üretilen betonların, yüksek dayanımlı beton için istenen mukavemeti sağladığı belirlenmiştir.

Karışım 2 yüksek dayanımlı beton özelliğinde olduğu için bu tasarımda agreganın kayaç dayanımının beton mukavemetine etkisi önem kazanmaktadır. Bazalt agregalarının kayaç dayanımının kireçtaşının kayaç dayanımından yüksek olması, bazalt agregaları ile üretilen betonların kireçtaşlarına göre dayanımının daha yüksek olmasına sebebiyet vermektedir.



Şekil 6. 1. Kireçtaşı ve bazalt agregalarına ait beton basınç dayanımı değerleri

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Beton üretiminde kullanılan agregaların özellikleri, betonun kaliteli ve sürekli kullanılması için önem teşkil etmektedir. Bu tez çalışmasında Gebze-Tavşanlı kireçtaşı ve Kandıra-Babaköy bazaltı agregalarının mineralojik ve petrografik özelliklerinin yanı sıra standart agrega deneyleri ve beton deneyleri yapılarak normal ve yüksek dayanımlı betonlarda agrega olarak kullanılabilirlikleri karşılaştırılmıştır.

Gebze kireçtaşları; gri, orta açık gri renkli, küçük-orta taneli ve kırık çatlakların kalsit ile dolu olduğu orta-yüksek dayanımlı kayalardır. Gebze kireçtaşlarının petrografik incelemeler sonucu, “oomikritik kireçtaşı” ve “yarı mikritik-fosilli kireçtaşı” olarak tanımlanan kayaların ana bileşenleri çoğunlukla kalsit, kuvars ve mikro fosil ve kavkılardan oluştuğu görülmüştür.

Kandıra bazaltları; koyu siyahımsı gri renkli, sert, orta-küçük taneli, seyrek kırıklı, çatlaklı, az-orta derecede ayrılmış ve yüksek dayanımlı kayalardır. Kandıra bazaltlarının petrografik incelemeler sonucu, “bazalt” olarak tanımlanan kayaların mineral içeriği olarak plajiyoklaz, piroksen ve opak minerallerinden oluştuğu görülmüştür.

Gebze kireçtaşı ve Kandıra bazalt agregalarının deney sonuçlarına göre özgül ağırlık ve su emme değerleri betonda kullanım açısından uygundur. Gebze Kireçtaşı agregalarının metilen mavisi ortalama değeri betonda kullanım için uygun iken Kandıra bazalt agregalarının ince agrega kalitesi metilen mavisi ortalama değeri %5,25 g/kg ile TS EN 933-9+A1 (2014)’te verilen limit değerinin üstünde olduğu için betonda kullanımı uygun değildir. Çünkü metilen mavisi sonuçlarının yüksek değerlerde olması betonun basınç dayanımını olumsuz etkilediği bilinen bir gerçektir.

İncelenen kireçtaşı agregalarının ortalama yassılık endeksi değeri %15,26 (FI_{20}) iken bazalt agregalarında bu değer %11,83 (FI_{15}) olarak belirlenmiştir. Kireçtaşı agregalarının Los Angeles parçalanma dayanımı ortalama değeri %24,10 (LA_{25}) iken bazalt agregalarında bu değer %18,27 (LA_{20}) olarak belirlenmiştir. Mikro-Deval aşınma dayanımı ise kireçtaşı ve bazalt agregalarında %25 (MDE_{25})’ten düşük değerler elde edilmiştir. Bu değerler kireçtaşı ve bazalt agregalarının aşınmaya ve parçalanmaya karşı direncinin uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca Magnezyum Sülfat çözeltisinde don

kaybı ortalama değerleri kireçtaşı agregalarında %1,80 iken bazalt agregalarında bu değer %6,10 olarak belirlenmiştir.

Gebze kireçtaşları üzerinde yapılan hızlandırılmış harç çubuğu deney sonuçlarının 14 günlük genleşme oranlarının %0,10'un altında olduğundan alkali silis reaksiyonu yönünden zararsız niteliktedirler. Kandıra bazalt agregaları üzerinde yapılan kimyasal analiz sonucu bulunan değerler, grafiksel olarak değerlendirildiğinde; bazalt agregalarının “Zararsız Agregalar” bölgesinde yer aldığı görülmüştür.

Beton üretiminde agrega seçiminin gün geçtikçe önemi artmaktadır. Agregalar betonun dayanımını etkilediği gibi ekonomik beton üretimi için optimum agrega kullanımı gerekmektedir. Bu gereksinim ile betonda kullanılan agreganın fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ile agreganın elde edildiği kayacın dayanımı, mineralojik ve petrografik özelliklerinin bilinmesi daha elverişli ve uygun agrega kalitesi için önem teşkil etmektedir. Ayrıca kayaçların petrografik özellikleri ile betonun servis ömrünü azaltıcı etki yapan minerallerin varlığı da tespit edilebilmektedir. Bu nedenle agreganın özellikleri ve agreganın elde edildiği kayacın özellikleri birlikte değerlendirilmesi, agreganın kalitesi hakkında daha doğru sonuçlar vermektedir. Geleneksel beton üretimlerinde kaliteli beton için daha çok su/imento oranının düşürerek, betonun içerisindeki boşluk miktarının azalttıkça betonun dayanımının artacağı bilinen bir gerçektir. Ancak su/imento oranını belirleyen agreganın kalitesi olduğu için iyi agregadan iyi bir beton üretimi yapılabilir.

Normal dayanımlı betonlarda kırılma imento hamuru ve betonun ara yüzeyinde gerçekleşir. Yüksek dayanımlı betonlarda ise kırılma agregayı keserek oluşur. Dolayısıyla, normal dayanımlı betonlarda agreganın imento ile aderansının önemli olduğu, yüksek dayanımlı betonlarda ise agreganın kayaç dayanımının beton mukavemeti için önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Normal dayanımlı betonlarda düşük mukavemetli Gebze kireçtaşı ile üretilen betonlar daha yüksek dayanım göstermiştir. Bu duruma normal dayanımlı betonlarda kırılma davranışını etkileyen ana unsurun imento hamuru olması ve kireçtaşı agregalarının imento hamuru ile aderansının iyi olması neden olabilir. Yüksek dayanımlı betonlarda ise yüksek mukavemetli Kandıra bazaltı ile üretilen betonlar daha yüksek dayanım

göstermiştir. Bunun nedeni yüksek dayanımlı betonlarda agreganın kayaç dayanımının önemli olması ve Kandıra bazaltının yüksek mukavemetli bir dayanımının olmasıdır.

Bu çalışmada, Gebze kireçtaşı ve Kandıra bazalt agregalarıyla yapılan deneylerden elde edilen sonuçları, normal ve yüksek dayanımlı betonlarda değerlendirildiğinde; Gebze kireçtaşı agregalarının ince ve iri agregalar olarak kullanımının uygun, Kandıra bazalt agregalarının ise iri agregalar olarak kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Günümüzde doğal kaynakların etkin ve sürdürülebilir kullanımı önem arz etmektedir. Doğal kaynaklardan biri olan agregaların her geçen gün tüketimi yoğun olarak artmaktadır. Artan bu talep doğrultusunda ileride stabil olmayan ve geri dönüştürülmüş agregaların (taze beton atıkları ve blok taş üreten ocak artıkları vb.) kullanımı söz konusu olacaktır. Bu nedenle, beton üretiminde yoğun olarak kullanılan agregalarla ilgili yeni kullanılabilecek potansiyel alanlar belirlenerek, saha araştırmaları ve laboratuvar testleri ile agregalar kalitesi uygun ve kullanılabilir olan, yeni agregalar kayaç türlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdüsselamoğlu, Ş. (1963). Kocaeli Yarımadası'nın Jeolojisi. *M.T.A. Enstitüsü*, 3249 (Yayınlanmamış).
- Abdüsselamoğlu, Ş. (1977). The Paleozoic and Mesozoic in the Gebze Region. *Explanatory Text and Excursion Guidebook*, İstanbul Technical University Mining Faculty, İstanbul.
- Al-Jassar, S., Hawkins, A.B. (1991). The Carboniferous Limestone of the Bristol Area: A Review of the Influence of the Lithology and Chemistry on Its Use as a Geomaterial. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 24, 143-158.
- Altınlı, İ.E. (1968). İzmit-Hereke Kurucadağ Alanının Jeoloji İncelenmesi. *M.T.A. Dergisi*, 71, 1-26.
- Altınlı, İ.E., Soytürk, N., Saka, K. (1970). Hereke-Tavşanlı-Tepecik Sahasının Jeolojisi. *İ.Ü. Fen Fakültesi Mecmuası*, 35, 69-75.
- Annual Book of ASTM Standards. (1994). *Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate* (ASTM C 88).
- Annual Book of ASTM Standards. (1981). *Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate* (ASTM C 127).
- Annual Book of ASTM Standards. (1994). *Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate* (ASTM C 128).
- Annual Book of ASTM Standards. (1994). *Standard Test Method for Potential Alkali Aggregate Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)* (ASTM C 227).
- Annual Book of ASTM Standards. (1994). *Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method)* (ASTM C 289).
- Apaydın, M.S. (2007). Farklı Kökenli Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 222890.
- Arioğlu, E., Arıoğlu, N., Yılmaz, A.O. (2006). *Beton Agregaları-Çözümlü Problemler-Bilgi Föyleri* (2. Baskı). Evrim Yayınevi, İstanbul.
- ASTM International. (2014). *Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)* (ASTM C 1260-14). West Conshohocken, PA.
- Aydın M., Serdar, H.S., Şahintürk, Ö., Yazman, M., Çokuğraş, R., Demir, O., Özçelik, Y. (1987). Çamdağ (Sakarya) Sünnicedağ (Bolu) Yöresinin Jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 30(1), 1-14.

- Baradan, B. (1996). *Yapı Malzemesi II* (4. Baskı). Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Bargu, S., Sakınç, M. (1990). İzmit Körfezi ile İznik Gölü Arasında Kalan Bölgenin Jeolojisi ve Yapısal Özellikleri, *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 7(1-2), 45-76.
- Baykal, F. (1943). Adapazarı-Kandıra Bölgesindeki Jeolojik Etütler. *İ.Ü. Fen Fakültesi Mecmuası*, 8(4), 256-263.
- Beshr, H., Almusallam, A.A., Maslehuddin, M. (2003), Effect of Coarse Aggregate Quality on the Mechanical Properties of High Strength Concrete. *Construction and Building Materials*, 17(2), 97-103.
- Çelebi, D., Köprübaşı, N. (2007). Kefken-Kerpe Dolayında (Kocaeli) Yüzeyleyen Volkanik Kayaçların Jeokimyasal Karakteristikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 50(1), 17-26.
- Deere D., Miller R. (1966). Bozulmamış Kayaçlar İçin Mühendislik Sınıflandırılması ve İndeks Özellikleri. Hava Kuvvetleri Silah Laboratuvarı, AFWL-TR-65-116.
- De Larrard, F., Belloc, A. (1997). The Influence of Aggregate Type on the Compressive Strength of and High-Strength Concrete. *ACI Materials Journal*, 94(5), 417-426.
- Dizer, A., Meriç, E. (1972). Kuzeybatı Anadolu'da Kretase-Eosen Sınırının Mikroorganizmalar ile Tespiti. *TBTAK TBAG 33 Projesi*.
- Dursun, G. (2004). İstanbul Anadolu Yakasındaki Kireçtaşlarının Agrega Kalitesi Yönünden Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 184448.
- Eep, Ş. (1987). Tavşanlı-Demirci (Gebze-Adapazarı) Köyleri Çevresinin Jeolojisi. Lisans Bitirme Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Ekmekyapar, T., Örüng, İ. (1997). *İnşaat Malzemesi Bilgisi* (3.Baskı). Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum.
- Elçi, H. (2011). Karaburun Yöresi Doğal Yapı Taşlarının Mühendislik Jeolojisi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 306828.
- Elçi, H., Türk, N., İşintek, İ. (2014). İzmir Karaburun Yarımadasındaki Farklı Kireçtaşlarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 38(2), 118-127.
- Erdoğan, M. (1993). İstanbul ve Dolayının Yapay Agrega Potansiyeli, *Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni*, İstanbul, Türkiye, 14 Mart 1993.

- Erdoğan, T.Y. (2021). *Beton* (7. Baskı). ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
- Eren, H., Nasuf, E., Ökten, G., Energen, T. (1996). Kocaeli-Gebze İlçesi, Tavşanlı Köyü Civarındaki Kireçtaşı Sahalarının Jeolojisi, Rezerv Analizi ve İstanbul Metropolü Yönünden Önemi. *I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 7-8 Ekim 1996.
- Erguvanlı, K. (1949). Hereke Pudingleri ile Gebze Taşlarının İnşaat Bakımından Etüdü ve Civarlarının Jeolojisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,
- Erkan, M. (2008). Agrega Sektörüne Genel Bir Bakış. *I. Ulusal Mermer ve Doğal Taşlar Kongresi Bildiriler Kitabı*, İzmir, Türkiye, 1-2 Şubat 2008.
- Eroscay, S.O. (1978). Kocaeli Yarımadası Güneyindeki Kireçtaşlarının Hidrojeolojisi ve Karst Parametrelerinin Analizi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Yerbilimleri Fakültesi, İstanbul.
- Farmer, I.W. (1968). *Engineering Properties of Rocks* (1rd ed.). En-and R.N. Spoon Ltd. London.
- Farny, J.A., Kosmatka, S.H. (1998). Diagnosis and Control of Alkaline Aggregate Reaction in Concrete. *American Concrete Pavement Association*, 1-26.
- Folk, R.L. (1962). Spectral Subdivision of Limestone Types. In: W.E. Ham (ed.), Classification of Carbonate Rocks. *American Association Petroleum Geologist*, 1, 62-84.
- Fookes, P.G., (1980). An Introduction to the Influence of Natural Aggregates on the Performance and Durability of Concrete. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 123, 207-229.
- Fookes, P.G. (1991). Geomaterials. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 24, 3-15.
- Gedik, İ., Pehlivan, Ş., Timur, E. (2005). Kocaeli Yarımadasının Jeolojisi. *MTA Genel Müdürlüğü*, 10774.
- Görür, N., Şengör, A.M.C., Akkök, R., Yılmaz, Y. (1983). Pontidlerde Neo-Tetis'in Kuzey Kolunun Açılmasına İlişkin Sedimentolojik Veriler. *TJK Bülteni*, 26, 11-20.
- Gutierrez, P., and Canovas, M.F. (1996). High Performance Concrete Requirements for Constituent Materials and Mix Proportioning. *ACI Materials Journal*, 3, 233-241.
- Güler, B. (2006). İstanbul Ayazağa-Cebeci-Çatalca Bölgelerindeki Agrega Kaynaklarının Yüksek Dayanımlı Betonda Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 182530.

- Güler, B., Tuğrul, A., Hasdemir, S., Şahin, S.Y. (2010). İstanbul'da Üretilen Farklı Kökenli Agregaların Beton Özelliklerine Etkileri. *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, 30, 53-72.
- Gürbüz, G. (1998). Amasya Bölgesi Agregat Rezervlerinin Hazır Beton Agregası Olarak Kullanım İmkânlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 76351.
- Gürsel, E., Erenson, C. (2017) Kayaç Türünün Betonun Yüksek Dayanımına Etkisinin Petrografik Olarak İncelenmesi. *Ulusal Mühendislik Jeolojisi-Jeoteknik Sempozyumu*, Adana, Türkiye, 12-14 Ekim 2017.
- Halili, A., Gözübol A.M. (1999). Hereke Formasyonunun (Gebze Kireçtaşı) Kırmataş Özelliği ve Kırma Eleme Tesislerindeki Davranışı. *II. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 3-4 Haziran 1999.
- Hasdemir, S. (2007). Marmara Bölgesindeki Farklı Kökenli Doğal Kumların Beton Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 178205.
- İpek, M., Yılmaz, K., Gün, M. (2008). Adapazarı Bölgesi Doğal Agregaların Alkali Agregat Reaksiyonunun İncelenmesi. *Beton 2008 Kongre Bildirileri*, İstanbul, Türkiye, 19-21 Haziran 2008.
- İrtem, O. (1968). Gebze-Darıca ve Pelitli Alanının Jeolojisi. Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Genel Jeoloji Kürsüsü, İstanbul.
- Kandall, P.S., Lynn C. Y., Parker, F. (1998). Test for Plastic Fines in Aggregates Related to Stripping in Asphalt Paving Mixtures. *National Center of Asphalt Technology Report*, UCID-98-3, 233-253.
- Kara, G., Tuğrul, A., Yılmaz, M., Buldum, M. (2009). Taş Ocaklarındaki Kayaç Değişimlerinin Agregat ve Beton Özelliklerine Etkisi. *5. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 1-2 Aralık 2009.
- Katayama, T. (2000). Alkali Aggregate Reaction in the Vicinity of Izmir, Western Turkey. In: Berube, M.A., Fournier, B., Durand, B., (editors): Alkali Aggregate Reaction in Concrete. *Proc. 11th International Conference*, Quebec, Canada, June 2000
- Kaya, O., Dizer, A., Tansel, İ., Özer, S. (1986). Yığılca (Bolu) Alanı Üst Kretase ve Paleojeni'nin Stratigrafisi. *M.T.A. Enstitüsü Dergisi*, 107, 13-33.
- Keskin, G. (2011). Cendere Vadisi Kayaçlarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 327000.

- Ketin, İ., Gümüş, A. (1963). Sinop-Ayvacık Güneyinde 3. Bölgeye Dahil Sahaların Jeolojisi Hakkında Rapor (2. Kısım: Jura ve Kretase Formasyonlarının Etüdü). *T.P.A.O. Raporu*, 213.
- Korkanç, M., Tuğrul, A. (2003). Niğde Yöresi Bazaltlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. *III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 3-4 Aralık 2003.
- Kürüm, E.B. (2019). Elâzığ ve Çevresindeki Kayaçların Beton Agregası Olabilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 572738.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B. (1986). A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali Silica Diagram. *Journal of Petrology*, 27(3), 745-750.
- Lefond, E.L. (1985). *Industrial Minerals and Rocks* (5rd ed.). American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Michigan.
- Murdock, L., J., Et Al. (1991). *Concrete Materials and Practice* (6rd ed.). Transport Research Laboratory, London.
- MTA. (2005). Türkiye Jeoloji Haritaları, 1/50.000 Ölçekli, Bursa 22-b ve 23-a Paftaları. *Jeoloji Etütleri İdaresi*, Ankara.
- Neville, A.M. (1981). *Properties of Concrete* (1rd ed.). Longman Scientific and Technical, Pitman Publishing, London.
- Önalın, M. (1982). Pendik Bölgesi ile Adaların Jeolojisi ve Sedımanter Özellikleri. Doçentlik Tezi, İstanbul Üniversitesi, Yerbilimleri Fakültesi Jeoloji Bölümü, İstanbul.
- Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M. (1999). *Her Yönüyle Beton* (3. Baskı). Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- Özyürek, N. (1995). Kızılırmak Agregasının Teknik Özellikleri ve Beton Yapımında Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 45915.
- Özturan, T., Çeçen, C. (1997). Effect of Aggregate Type on the Mechanical Properties of Concretes with Different Strengths, *Cement and Concrete Research*, 27(2), 165-170.
- Poitevin, P. (1999). Limestone Aggregate Concrete, Usefulness and Durability. *Cement and Concrete Composites*, 21(2), 89-97.
- Postacıoğlu, B. (1975). *Yapı Malzemesi Dersleri - Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton* (1. Baskı). İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, İstanbul.

- Postacıoğlu, B. (1987). *Beton Bağlayıcı Maddeler Agregalar Beton* (2. Baskı). Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- Richards, R.I. (1982). An Investigation into the Influence of Crushed Flint Fine Aggregate on the Properties of Fresh Concrete. *ACT Project, ICT*.
- Smith, M.R., Collis, L. (2001). *Aggregates: Sand, Gravel and Crushed Rock Aggregates for Construction Purposes* (3rd ed.). Geological Society, London: Engineering Geology Special Publication 17, Geological Society London.
- Tasong, W.A., Lynsdale, C.J., Crpp, C. (1998). Aggregate-Cement Paste Interface II: Influence of Aggregate Physical Properties. *Cement and Concrete Research*, 28(10), 1453-1465.
- Taşdemir, C. (1998). The Influence of Aggregate Type on the Mechanical Properties of Concrete. *Proceedings of the 12th European Ready Mixed Concrete Congress*, Lisbon, Portugal, 23-26 June 1998.
- Tokay, M. (1998). Agregat Tipinin Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 9(2), 1627-1638.
- Tuğrul, A., Yılmaz, M., Ündül, Ö., Kara, G., ve Buldum, M. (2008). İstanbul'un Anadolu Yakasındaki Kumtaşlarının Beton Üretiminde Kullanılabilirlikleri. *Beton 2008 Kongre Bildirileri*, İstanbul, Türkiye, 19-21 Haziran 2008.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2016). *Doğal Yapı Taşları-İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri* (TS 699/T1). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2009). *Beton Agregaları* (TS 706 EN 12620+A1). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (1977). *Alkali Agregat Reaktivitesinin Kimyasal Yolla Tayini* (TS 2517). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2006). *Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler – Kısım 3: Basitleştirilmiş Petrografik Tanımlama İçin İşlem ve Terminoloji* (TS 10088 EN 932-3+A1). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2012). *Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri* (TS EN 197-1). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (1997). *Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler – Kısım 1 – Numune Alma Metotları* (TS EN 932-1). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2012). *Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini – Eleme Yöntemi* (TS EN 933-1). Ankara.

- Türk Standartları Enstitüsü. (2012). *Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 3: Tane Şekli Tayini – Yassılık Endeksi* (TS EN 933-3). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2009). *Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 1: Tane Şeklinin Tayini – Şekil İndisi* (TS EN 933-4). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2015). *Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 8: İnce Tanelerin Tayini – Kum Eşdeğeri Tayini* (TS EN 933-8). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2014). *Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 9: İnce Tanelerin Tayini – Metilen Mavisini Deneyi* (TS EN 933-9+A1). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2017). *Beton – Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk* (TS EN 206:2013+A1). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2002). *Kimyasal Katkılar* (TS EN 934-2). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2003). *Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini* (TS EN 1008). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2011). *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 1: Aşınmaya Karşı Direncin Tayini (Mikro-Deval)* (TS EN 1097-1). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2016). *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Yöntemler* (TS EN 1097-2/D1). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2013). *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su Emme Oranının Tayini* (TS EN 1097-6). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2009). *Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 1: Donmaya ve Çözünmeye Karşı Direncin Tayini* (TS EN 1367-1). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2010). *Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi* (TS EN 1367-2). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2019). *Taze Beton Deneyleri – Bölüm 1: Numune Alma ve Yaygın Kullanılan Aygıtlar* (TS EN 12350-1). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2019). *Taze Betonda Çökme (Slump) Deneyi* (TS EN 12350-2). Ankara.

- Türk Standartları Enstitüsü. (2019). *Taze Betonda Yoğunluk Tayini* (TS EN 12350-6). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2019). *Deney Numunelerinin Basınç Dayanımı Tayini* (TS EN 12390-3). Ankara.
- Uribe-Afif, R. (1994). Study of Petrous Aggregates for Concrete in Zimapan arch dam in Mexico. *Proceedings of 7th International IAEG Congress*, Lisbon, Portugal, 5-9 September 1994.
- Uçar, H. (2008). Kırmataşların Beton Agregasında ve Hazır Beton Tesislerinde Kullanılma Kriterleri Örnek Uygulama: Sağlıklı Köyü Kalker Ocağı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 178077.
- Ün, H. (2007). *Yapı Malzemesi Ders Notları* (1. Baskı). Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, Denizli.
- Williams, D.M., McNamara, K. (1992). Limestone to Dolomite to Dedolomite Conversion and Its Effect on Rock Strength: A Case Study. *Engineering Geology*, 25(2), 131-135.
- Yapıcı, S. (2002). Elazığ Yöresindeki Agregası ve Çimento Malzemesi ile Üretilen Betonlarda Mevcut Katkı Malzemelerinin Uygunluğunun Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 116676.
- Yergök, A.F., Akman, Ü., Keskin, İ., İplikçi, E., Mengi, H. (1987). Batı Karadeniz Bölgesinin Jeolojisi. *M.T.A. Raporu*, 8273.
- Yılmaz, F., Koltka, S., Sabah, E. (2011). Emirdağ-Adaçal (Afyonkarahisar) Kireçtaşlarının Beton Agregaları Standardına Uygunluğunun Araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11, 1-12.
- Yılmaz, M., Bozkır, B., Tuğrul, A. (2017). Agregası Yıkama Prosesinin Beton Üretiminde Kullanılan İnce Agregası Kalitesine Etkisi. *Beton 2017 Kongresi Bildirileri*, İstanbul, Türkiye, 13-14 Nisan 2017.
- Yitik, H. (2006). İnce Tanelerdeki Kil İçeriğinin Metilen Mavisi Deneyi ile Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (Yayınlanmamış).
- Yurtsever, A. (1982). Kocaeli Triyası Biyostratigrafi Projesi, Gebze-Hereke-Tepecik Alanında Mesozoyik-Senozoyik Kayalarının Jeolojisi. *M.T.A. Raporu*, 7195.
- Yurttaş, Ü., Özdemir, Ü. (1973). Kocaeli Yarımadası'nın Halobia'lı Şeylleri Hakkında. *M.T.A. Dergisi*, 80, 43-49.
- Zarif, İ.H., Tuğrul, A., ve Dursun, G. (2003). İstanbul'daki Kireçtaşlarının Agregası Kalitesi Yönünden Değerlendirilmesi. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 16(1), 61-70.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Akyıldırım H., Karakaş A. (2021). Kocaeli-Gebze Tavşanlı Bölgesi Kireçtaşlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(4), 1088-1108.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 2014 yılında girdiği İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nden 2018 yılında Jeoloji Mühendisi olarak mezun oldu. 2019 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.

