

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MALATYA YÖRESİNDE ÜRETİLEN AGREGALARIN
FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BETON DAYANIMINA
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Alper TURGUT**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Didem EREN SARICI

Ağustos 2023

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MALATYA YÖRESİNDE ÜRETİLEN AGREGALARIN
FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BETON DAYANIMINA
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Alper TURGUT
36183616035**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Didem EREN SARICI

Ağustos 2023

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalıőmasının konusunu öneren ve çalışmanın her aőamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemededen beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Didem EREN SARICI'ya, laboratuvar çalıőmalarımnda destek olan Maden Yük. Müh. Melike YAMACI ÜNSAL, malzeme tedariginde destek olan ınarlar Beton A.Ő. 'ye eőim Fatma TURGUT ve kızım Asel Sare Turgut'a ve ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi tez çalıőmalarım süresince de benden desteklerini esirgemeyen merhum babam Özcan TURGUT ve Annem Nuray TURGUT 'a teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Malatya Yöresinde Üretilen Agregaların Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Beton Dayanımına Etkilerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Alper TURGUT



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışmanın Kapsamı	1
1.3. Çalışmanın Özgünlüğü	2
1.4. Literatür Taraması	2
2. KURAMSAL TEMELLER	5
2.1. Agregalar	5
2.2. Agregaların Sınıflandırılması	6
2.2.1. Kaynaklarına göre agregalar	6
2.2.2. Tane büyüklüğüne göre agregalar	6
2.2.3. Yoğunluğuna göre agregalar	9
2.3. Agregaların Özellikleri	10
2.4. Agregaların Fiziksel Özellikleri	11
2.4.1. Agreganın içeriği	11
2.4.2. Agreganın yoğunluk-birim hacim ağırlık	12
2.4.3. Agreganın özgül ağırlığı	13
2.4.4. Agregaların doluluk oranı (Kompozitesi)	13
2.4.5. Agreganın tane şekli ve en büyük tane büyüklüğü	13
2.4.6. Agregaların granülometrisi (tane büyüklük dağılımı)	14
2.4.7. Agregada donanımlılık	16
2.5. Agregaların Mekanik Özellikleri	17
2.5.1. Basınç dayanımı	17
2.5.2. Aşınma dayanımı	18
2.6. Kayaçların Mineralojik ve Petrografik Özellikleri	18
2.7. Agregalarda Bulunabilecek Zararlı Madde ve Taneler.....	19
2.7.1. Yıkılabilir (ince) malzeme	19
2.7.2. Organik kökenli maddeler	19
2.7.3. Sertleşmeye zarar veren maddeler	20
2.7.4. Sülfat içeren maddeler	20
2.7.5. Çeliğe zarar veren maddeler	20
2.7.6. Alkali reaktivite oluşturan maddeler	20
2.8. Beton.....	21
2.9. Betonu Oluşturan Malzemeler	21
2.9.1. Çimento	21
2.9.2. Agreganın	22
2.9.3. Betonun karma suyu	22
2.9.4. Kimyasal katkıları	23
2.9.5. Mineral katkıları	25
2.10. Taze Betonun Özellikleri	25

2.10.1. İşlenebilme	26
2.10.2. Birim ağırlık	26
2.10.3. Hava miktarı	27
2.11. Sertleşmiş Betonun Özellikleri	27
2.11.1. Basınç dayanımı	27
2.11.2. Çekme dayanımı	28
2.11.3. Rötire	28
2.12. Beton Sınıfları ve Dayanımları	29
2.12.1. Beton sınıfları	29
3. MATERYAL VE METOD	30
3.1. Çalışma Sahası	30
3.1.1. Örnek hazırlama	32
3.1.2. Kullanılan araç ve gereçler	33
3.1.3. Çalışılan agregaların XRF analizi	34
3.1.4. Çalışılan agregaların XRD analizi	35
3.2. Kayaçların Fiziko-mekanik Özelliklerini Belirlemek İçin Yapılan Deneyler	36
3.2.1. Birim hacim ağırlık deneyi	36
3.2.2. Ağırlıkça ve hacimce su emme	37
3.2.3. Schmidt çekici sertlik indeksi tayini	38
3.2.4. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi	39
3.2.5. Ultrases geçirgenlik hızı deneyi	40
3.2.6. Dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) deneyi	41
3.3. Agregaların Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler	42
3.3.1. Agregaların tane büyüklüğü dağılımı (elek analizi)	42
3.3.2. İnce madde oranı tayini (metilen mavisi deneyi)	43
3.3.3. Agregaların özgül ağırlık deneyi	45
3.3.4. Agregaların nem içeriği deneyi	46
3.3.5. Agregaların yassılık indeksi tayini	47
3.3.6. Los Angeles aşınma dayanımı deneyi	48
3.4. Beton Karışımlarının Hazırlanması	49
3.4.1. Beton numunelerinin hazırlanması	49
Şekil 3.16. Agregaların en büyük tane büyüklüğüne ve iklim şartlarına bağlı olarak beton karışım hesabında kullanılacak toplam hava içerikleri (TS 802:2009)	52
3.4.2. Beton basınç dayanımı	53
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	54
4.1. Çalışılan Kayaçların Fiziko-mekanik Özelliklerini Belirlemek İçin Yapılan Deney Sonuçları	54
4.1.1. Birim hacim ağırlığı deneyi sonuçları	54
Çalışmada kullanılan kireçtaşı ve dolomit kayaçlarının doğal, doymuş ve kuru birim hacim ağırlığı değerleri Çizelge 4.1 ve 4.2’de verilmiştir	54
4.1.2. Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyi Sonuçları	55
4.1.3. Schmidt çekici sertlik indeksi tayini	56
4.1.4. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi	56
4.1.5. Ultrases geçirgenlik hızı deneyi	57
4.1.6. Dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian Yöntemi)	58
4.2. Agregaların Özelliklerini Belirlemek İçin Yapılan Deney Sonuçları	59
4.2.1. Agregaların tane büyüklüğü dağılımı	59
4.2.2. Metilen mavisi deney sonuçları	64
4.2.3. Agregaların özgül ağırlık deneyi sonuçları	65
4.2.4. Agregaların Nem İçeriği Deneyi sonuçları	66

4.2.5. Agrega yassılık endeksi tayini deney sonuçları.....	67
4.2.6. Los Angeles aşınma dayanımı deney sonuçları.....	68
4.3. Beton Tasarımı.....	69
4.4. Beton Basınç Dayanımı Deney Sonuçları	71
4.4.1. 7 günlük su kürü sonucunda basınç dayanımı deneyi sonuçları.....	71
4.4.2. 28 günlük su kürü sonunda basınç dayanımı deneyi sonuçları	72
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	76
KAYNAKÇA.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	84



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Agregaların Tane Şekline Göre Sınıflandırılması.....	8
Çizelge 2.2. Yüzey Özelliklerine Göre Agregaların Sınıflandırılması	9
Çizelge 2.3. Beton üretiminde kullanılan kimyasal katkı maddeler ve özellikleri.....	24
Çizelge 2.4. İyi betonun özellikleri ve betonu etkileyen faktörler.	26
Çizelge 2.5. TS EN 206-1, (2014)'e göre basınç dayanım sınıfları	28
Çizelge 2.6. Taze beton sınıfları ve özellikleri.....	29
Çizelge 3.1. Çalışılan Dolomit örneğinin XRF analiz sonucu	34
Çizelge 3.2. Çalışılan kireçtaşı örneğinin XRF analiz sonucu	35
Çizelge 3.3. ISRM 1978'e göre kayaçların Schmidt sertlik değerlerine göre sınıflandırılması	38
Çizelge 4.1. Kireçtaşı örneğinin doğal, doygun ve kuru birim hacim ağırlığı değerleri.....	54
Çizelge 4.2. Dolomit örneğinin doğal, doygun ve kuru birim hacim ağırlığı değerleri.....	54
Çizelge 4.3. Kireçtaşı numunesi için ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri	55
Çizelge 4.4. Dolomit numunesinin ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri	55
Çizelge 4.5. Schmidt çekici okuma değerleri.....	56
Çizelge 4.6. Kireçtaşı numunelerine ait tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları.....	56
Çizelge 4.7. Dolomit numunelerine ait tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları.....	57
Çizelge 4.8. Kireçtaşı numunelerine ait ultrases geçirgenlik hızı deneyi sonuçları.....	57
Çizelge 4.9. Dolomit numunelerine ait ultrases geçirgenlik hızı deneyi sonuçları.....	58
Çizelge 4.10. Kireçtaşı numunelerine ait dolaylı yoldan çekme dayanımı deneyi sonuçları	58
Çizelge 4.11. Dolomit numunelerine ait dolaylı yoldan çekme dayanımı deneyi sonuçları.....	59
Çizelge 4.12. 0-4 mm ve 4-8 mm kireçtaşı tozu elek analizi sonuçları	60
Çizelge 4.13. 8-16 mm ve 16-22.4 mm iri kireçtaşı elek analizi sonuçları.....	61
Çizelge 4.14. 0-4 mm ve 4-8 mm dolomit tozu elek analizi sonuçları.....	62
Çizelge 4.15. 8-16 mm ve 16-22.4 mm iri dolomit elek analizi sonuçları.....	63
Çizelge 4.16. Metilen mavisi deney sonuçları	64
Çizelge 4.17. Kireçtaşı agregasının özgül ağırlık deney sonucu.....	66
Çizelge 4.18. Dolomit agregasının özgül ağırlık deney sonucu.....	66
Çizelge 4.19. Kireçtaşı agregası nem içeriği deney sonuçları.....	66
Çizelge 4.20. Dolomit agregası nem içeriği deney sonuçları.....	66
Çizelge 4.21. Kireçtaşı agregasının yassılık endeksi deney sonuçları	67
Çizelge 4.22. Dolomit numunesi yassılık endeksi deney sonuçları	67
Çizelge 4.23. Kireçtaşı numunelerine ait Los Angeles aşınma dayanımı deneyi sonuçları	68
Çizelge 4.24. Dolomit numunelerine ait Los Angeles deneyi sonuçları	68
Çizelge 4.25. Kireçtaşı için katkısız reçete verileri.....	69
Çizelge 4.26. Dolomit için katkısız reçete verileri.....	70
Çizelge 4.27. Kireçtaşı için katkılı reçete verileri	70
Çizelge 4.28. Dolomit için katkılı reçete verileri	70
Çizelge 4.29. Kireçtaşı ve dolomit numuneleri ile hazırlanan katkısız beton numunelerinin 7 günlük kür sonunda basınç dayanımı deneyi sonuçları	71
Çizelge 4.30. Kireçtaşı ve dolomit numuneleri ile hazırlanan katkılı beton numunelerinin 7 günlük kür sonunda basınç dayanımı deneyi sonuçları	72
Çizelge 4.31. Kireçtaşı ve dolomit numuneleri ile hazırlanan katkısız beton numunelerinin 28 günlük kür sonunda basınç dayanımı deneyi sonuçları	73
Çizelge 4.32. Kireçtaşı ve dolomit numuneleri ile hazırlanan katkılı beton numunelerinin 28 günlük kür sonunda basınç dayanımı deneyi sonuçları	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Agregaların tane boyutuna göre sınıflandırılması.....	7
Şekil 2.2. Agregaların Su İçeriklerine Göre Durumları	11
Şekil 2.3. Betonun oluşturan malzemeler ve oranları	21
Şekil 3.1. Numunelerin alındığı agrega ocaklarından görünüm.....	31
Şekil 3.2. Karot alma makinesi, karot ucu kesme ve düzeltme makinesi ile alınan karotlar a: karot alma makinesi, b: karot ucu kesme ve düzeltme makinesi, c: hazırlanan değişik boyutlu karot numuneleri, d: araziden getirilen blok numuneler.....	33
Şekil 3.3: Dolomit XRD sonuçları	35
Şekil 3.4. Kireçtaşı XRD sonuçları	36
Şekil 3.5. Schmidt çekici.....	39
Şekil 3.6. Tek eksenli basınç dayanımı test presi.....	40
Şekil 3.7. Ultrases geçirgenlik hızı cihazı	41
Şekil 3.8. Brazilian deneyine ait görüntüler a: Brazilian deneyinin uygulanması	42
b: Deneye tabii tutulan numuneler	42
Şekil 3.9. Elek analizi deneyi görüntüleri a : boyutlarına göre numuneler b: numunelerin tartım aşaması c: numunelerin titreşimli elekten geçirilmesi d : titreşimli elekten geçen numunelerin tartımı	43
Şekil 3.10. Metilen mavisi deney yapılışı a: Numunelerin hazırlanması b Metilen mavisi çözeltisinin hazırlanması c: Numunelerin 600 devir/dk da karıştırılması d : Süzgeç kağıdına numune bırakılması	44
Şekil 3.11. Agrega özgül ağırlık deneyinin yapılışı. a: deneye tabii tutulan numuneler, b:yüzey kurulum işlemi, c: Kurulanan örneklerin tartımı, d: cam kavanozda numuneler, e: cam ile kapatılan numune kavanozu, f: cam kavanozla birlikte tartılan numuneler	46
Şekil 3.12. Agrega nem içeriği deneyi. a: sahadan numune alınması, b: deneyin gerçekleştirilmesi.....	47
Şekil. 3.13. a:Los Angeles cihazına malzemenin beslenmesi b: Deney sonucunda alınan numune	49
Şekil 3.14. Betonda su/çimento oranı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki	49
Şekil 3.15. Kırmataş agrega kullanılan farklı en büyük agrega tane büyüklüğü ve farklı çökme değerlerine sahip için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmemiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarları (TS 802:2009)	51
Şekil 3.16. Agrega en büyük tane büyüklüğüne ve iklim şartlarına bağlı olarak beton karışım hesabında kullanılacak toplam hava içerikleri (TS 802:2009)	52
Şekil.3.17. Beton dökümünde kullanılan Chryso marka kimyasal katkı maddesi	53
Şekil 4.1. Agrega tane büyüklüğü tablosu.....	64
Şekil 4.2. Metilen mavisi deneyinde kullanılan süzgeç kağıtlarının görüntüleri a-) Kireçtaşı örneği b-) Dolomit örneği	65
Şekil 4.3. Reçeteye göre dökülen beton numuneleri	71
Şekil 4.4. a-) Numunelerin kür havuzlarında bekletilmesi b-) Numunelerin tek eksenli basınç dayanımı için hazırlanması c-) Numunelerin tek eksenli basınç testine tabii tutulması d-) Kırılan numunelerin şekli.....	75

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

°	Derece
°C	Santigrat Derece
cm	Santimetre
cm ²	Santimetrekaire
cm ³	Santimetreküp
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Derneği
ISRM	Uluslararası Kaya Mekanikđi Derneği
gr	Gram
Kg	Kilogram
Kgf	Kilogramkuvvet
kN	Kilo Newton
L/D	Boy/Çap
m	Metre
mm	Milimetre
mm ²	Milimetrekaire
mm ³	Milimetreküp
MPa	Mega Pasgal
N	Newton
NX	Çapı 54mm olan karotiyer
UCS	Tek Eksenli Basma Dayanımı
µs	Mikro saniye
XRD	X-Işını Kırınım Yöntemi
XRF	X-Işınları Floresans Spektrometresi

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MALATYA YÖRESİNDE ÜRETİLEN AGREGALARIN FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BETON DAYANIMINA ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Alper TURGUT

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı

111+XV sayfa

2023

Danışman: Doç. Dr. Didem ERENSARICI

Bu tez çalışmasında Malatya ilinin Yeşilyurt ilçesine bağlı Gözene köyünde faaliyet gösteren kireçtaşı ve Doğanşehir ilçesinde faaliyet gösteren dolomit ocaklarından temin edilen malzemelerin beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kireçtaşı ve dolomit birimlerinden alınan kayaç numunelerinden karotlar hazırlanarak; birim hacim ağırlığı, su emme, Schmidt çekici ile sertlik tayini, Brazilian (dolaylı) çekme dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı belirlenmiştir. Kayaçların agrega özelliklerinin belirlenmesi için konkasör tesislerinden alınan farklı tane boyutlarındaki numuneler üzerinde elek analizi, yoğunluk ve ince madde tayini ve yüzey nemi oranı tayini deneylerinin yanı sıra Los Angeles parçalanma direnci tayini deneyleri yapılmıştır. Her iki tür kayaç uygun tane boyutu ve oranlarında agrega olarak hazırlanarak TS 802 standardına göre C30, C35, C40, C45 dayanım değerlerine sahip akışkanlaştırıcı ve dayanım artırıcı katkı ve katkısız beton karışımları yapılmıştır. $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ 'lük kübik numuneler 7 ve 28 günlük kür sürelerinin sonunda tek eksenli basınç dayanımı deneyine tabii tutulmuştur. Agrega deneyleri sonuçlarının standart değerlere uygun olduğu belirlenmiştir. Katkı maddesi kullanılan ve kullanılmayan reçetelere ait sonuçlar karşılaştırılmış ve katkı maddesi ilavesiyle üretilen beton numunelerine ait sonuçların hedeflenen dayanım değerlerine ulaştığı görülmüştür. Böylelikle bu çalışmada kullanılan kireçtaşı ve dolomit kayaçlarının beton üretiminde agrega olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Agrega, Beton, Dolomit, Kireçtaşı.

ABSTRACT

Master Thesis

PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES of AGGREGATES PRODUCED in MALATYA
REGION DETERMINATION of EFFECTS on CONCRETE STRENGTH

Alper TURGUT

Inonu University
Gaduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Mining Engineering

111+XV page

2023

Supervisor: Doç. Dr. Didem EREN SARICI

In this thesis, the usability of the limestone in the Gözene village of Yeşilyurt district of Malatya and the materials obtained from the dolomite quarries operating in the Doğanşehir district of Malatya as concrete aggregate were investigated. In order to determine the physical and mechanical properties of samples of different grain sizes taken from the core and crusher plants taken from the rocks, sieve analysis, determination of density and water absorption rates, unit volume weight, fine matter determination and surface moisture ratio determination as well as hardness determination with a Schmidt Hammer, Brazilian indirect tensile strength, uniaxial compressive strength and Los Angeles fracture resistance determination tests were applied. Both types of rocks were prepared as aggregates in appropriate particle size and proportions, and different concrete mixtures were made with and without additives. Cubic specimens of 15x15x15 cubic centimeters were subjected to uniaxial compressive strength and ultrasound transmission velocity tests at the end of their seven and twenty-eight days. The results of the recipes with and without additives were compared and it was seen that the results of the concrete samples produced with the addition of additives reached the targeted strength values. Thus, it was concluded that the limestone and dolomite rocks used in this study can be used as aggregates in the concrete content.

Keywords: Aggregate, Concrete, Dolomite, Limestone,

1. GİRİŞ

Madencilik Dünyadaki her ülkede olduğu gibi ülkemizde de büyük önem arz etmektedir. Bilim ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte madencilik, buna paralel olarak da inşaat sektörü de gelişmektedir. Ülkemizde yapıların inşasında beton önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca ülkemizin depremselliği de göz önüne alındığında inşa edilen yapıların beton kalitesinin son derece önemli olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır.

Betonu oluşturan temel bileşenler agrega, çimento ve su olmaktadır. Betonun kalitesini arttırmak için bu bileşenlere katkı malzemeleri de eklenmektedir. Beton yapımında kullanılan bu bileşenlerin içerisinde hacimce en yüksek paya sahip olan materyal agregalardır ve betonun yaklaşık olarak %75- 80 'ini oluşturmaktadırlar. Bu nedenle agregaların seçiminin titizlikle yapılması betonun kalitesini etkilemektedir.

İnsan yaşamı içerisindeki her yapıda gizli özne görevi gören agregaların kalitesi belirlenirken fiziksel, kimyasal ve mekanik olarak çeşitli testlere tabi tutulmaları gerekmektedir. Bu testler kabul edilen belli standartlara göre yapılmaktadır. TSE ve ASTM gibi standartların yanı sıra agregalardan beton üretildikten sonra çevre ve iklim değişikliği bakanlığının bünyesinde yer alan yapı denetim formalarının kontrolünden geçerek kaliteli ve güçlü betonlar üretilmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında Malatya ilinde farklı kayalardan üretilen agregaların özellikleri agrega standartlarında belirtilen yöntemlere göre belirlenerek bu özelliklerin beton dayanımlarına etkisi araştırılmıştır. Sahalardan alınan numuneler üzerinde yapılan deneylerle malzemenin fiziksel kimyasal ve mekanik özellikleri belirlenmiş olup TS 802:2019 ‘‘Beton Karışım Hesap Esasları ‘‘ standardı baz alınarak C30, C35, C40, C45 dayanım sınıfı özelliğinde taze beton karışımları oluşturulmuştur. Numuneler katkılı ve katkısız olmak üzere iki grup halinde reçetelendirilmiştir. Üretilen beton numuneleri uygun koşullar sağlanarak kürlendikten sonra tek eksenli basınç dayanımı deneylerine tabii tutulmuştur.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Kayaçların su, erozyon, sıcaklık değişimi gibi dış etkenlerle kırılıp parçalanarak ufalanması neticesinde veya iri taş parçalarının kırıcılarda kırılması ile elde edilen agregalar (kırmataş)

doğal veya yapay kökenli malzemelerdir. Agregaların kullanım alanı çok çeşitlidir. Beton üretiminde, demiryollarında balast malzemesi, asfalt inşasında dökme malzemesi olarak kullanım alanı bulmaktadırlar.

Agregalar sahip oldukları yapısal özelliklerini oluştukları kayalardan alırlar. Kullanım alanlarına göre agregaların sahip olması gereken bu özelliklerin standartlarda belirtilen değerlerde olması gerekmektedir. Bu özelliklerin belirlenerek uygun malzemenin uygun alanlarda kullanılması ekonomik kayıpların önlenmesinde ve malzeme israfının önüne geçilmesinde önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasında Malatya yöresinde üretimi yapılan kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı kökenli agregaların fizikomekanik, mineralojik, kimyasal özelliklerinin beton dayanımına olan etkileri araştırılmıştır.

1.3. Çalışmanın Özgünlüğü

Yüzyıllardan beri yapı malzemesi olarak kullanılan betonun ana bileşenlerinden olan agregaların önemi büyüktür. Betondaki agrega kalitesi maliyeti düşüreceğinden bu konuyla alakalı birçok çalışma yapılmıştır ve agregaların beton kalitesine birebir etki ettiği görülmüştür. Malatya yöresinde bulunan kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı birimlerinin agrega özelliklerini ortaya koyan ve bu özelliklerin beton kalitesine etkilerini inceleyen akademik çalışmalar mevcut değildir. Bu çalışma ile literatürdeki bu açıklık kapatılmaya çalışılacaktır.

1.4. Literatür Taraması

Kürüm, E. (2019) hazırladığı yüksek lisans tezinde Elazığ çevresinde yüzeyleyen kayaların beton agregası olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Çalışmasında, Kömürhan ofiyolitleri Keban Metamorfiteeri, Maden karmaşığı, Elazığ Mağmatitleri, Karabakır formasyonu, Harami Formasyonu, Seske Formasyonu ve Kırkgeçit Formasyo 'nundan blok örnekler temin edilerek, bu blok haldeki örneklerinden hazırlanan agregalarla beton numuneler üretmiş, agregaların betonda kullanımının uygunluğunu araştırmıştır.

Uysal, A., (2019) çalışmasında Çukurova bölgesindeki farklı taş ocaklarından üretilen agregaların fiziksel özelliklerini inceleyerek birbirleriyle karşılaştırmıştır. Farklı işletmelerden alınan agregaların beton üzerindeki etkilerini araştırmıştır.

Muslu, A., (2019) yüksek lisans tezi kapsamında Berdiga formasyonundan alınan beton agregalarına yönelik standartlara uygun deneyler yapmış daha sonrasında alınan beton

agregasından taze beton dökümleri yaparak bu formasyondan alınan beton agregalarının kullanımını uygun bulmuştur.

Dalkılıç, D., (2019) yaptığı çalışmada Batman ili sınırları içerisindeki agrega olarak kullanılan kayaçların genel özelliklerini incelemiştir. Numuneler fiziksel, kimyasal ve minerolojik-petrografik analizlere tabii tutulmuştur. Sonuç olarak Germik Formasyonuna ait numunelerin parçalanma dirençlerinin düşük olduğu, Midyat Grubuna ait kireçtaşıdan alınan bazı numunelerin kirlilik oranlarının %4'den fazla olduğu anlaşılmış ve beton agregası olarak kullanılmalılarının uygun olmayacağı kanaatine varılmıştır.

Selçuk,A., (2016) yaptığı çalışmada Kahramanmaraş'ta kullanılan beton agregalarını incelemiş su emme, özgül ağırlık, yassılık indeksi analizi, elek analizi, çok ince malzemenin muhtevası, metilen mavisi, Los Angeles aşınma dayanımı, iri agrega donma-çözülme dayanımı, asit içeriği, kuruma büzülme katsayısı, klorür içeriği, hafif organik kirletici içeriği, basınç dayanımı, asit-çözünür sülfat içeriği, kurutma hacim kararlılığı testlerini yaparak agregaların standartlara uygun olduğunu saptamıştır.

Koç,E., (2014) yaptığı çalışmada , Trabzon ili ve çevresinden alınan traverten, kireçtaşı, çamurtaşı, andezit, bazalt ve tuf numunelerinin agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Numunelerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla su emme, yoğunluk-birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık, gevşek yığın yoğunluk-boşluk hacmi, agrega ince madde tayini, agrega yüzey nemi oranı tayini, donma çözünmeye karşı direnç deneyleri, mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Schmidt çekici sertliği, ultrasonik dalga hızı, tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian indirekt çekme dayanımı, mikro deval aşınma dayanımı, nokta yükleme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Son aşamada beton dökümleri yapılmış bazalt numunelerinin beton agregası olarak kullanılmasının uygun olduğunu belirlemişlerdir.

Yaşar ve Erdoğan (2003) yaptıkları çalışmada Ceyhan (Adana) bölgesinde bulunan kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında kireçtaşı örneği üzerinde porozite, birim hacim ağırlığı, sertlik, nokta yükleme dayanımı, tek eksenli basma dayanımı, özgül ağırlık, su emme deneyleri yaparak kayayı sınıflandırmışlar ve değişik boyut ve su-çimento oranının (w/c)ile elde edilen betonların dayanım değerlerini belirlemişlerdir.

Çelik vd.(2016) Beyyazı (Afyonkarahisar) yöresinde bulunan karbonatlı kayaçların beton agregası için uygun olup olmadığını araştırmışlardır. Beyyazı karbonatlı kayaçlarının TS

706 EN 12620 standardına uygun ve beton agregası olarak kullanılabilir nitelikte olduğunu belirlemişlerdir.

Gündüz vd. yaptıkları çalışmada İzmir İli Çeşme İlçesi Alaçatı Yöresinde bulunan, Alaçatı Taşı olarak da adlandırılan volkanik kökenli kayaların hafif yapı malzemesi, kâgir blok elemanları ve/veya duvar dolgu betonların üretimi için kuru karışım hafif betonlarının üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda söz konusu kayaç biriminin hafif beton üretiminde kullanımının uygun olduğunu belirlemişlerdir.

Güçlüer vd, (2016) yaptıkları çalışmada Adıyaman İlinde faaliyet gösteren 4 farklı agrega ocağından temin ettikleri agregalarla çeşitli agrega deneyleri yaptıktan sonra beton dökümü gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta agregaların silis oranının yüksek olduğu tespit edilmiş ve beton dökümüne uygun olmadığı anlaşılmıştır.

Huang vd., (2018), çalışmalarında farklı agrega türlerinin beton dayanımına etkilerini araştırmışlar bu amaçla doğal geri dönüşüm agregası kullanmışlardır. Doğal ve dönüştürülmüş agreganın benzer sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir.

Beshr vd., (2003), çalışmalarında dolomit, dolomitik kireçtaşı, kuvarslı kireçtaşı, kullanarak beton üretmişler, üretilen betonların basma ve çekme dirençlerindeki ve elastisite modüllerindeki değişimi incelemişler ve dolomitik agregaların daha iyi sonuç verdiklerini belirlemişlerdir.

Sim vd., (2013), çalışmalarında agrega boyut ve şeklinin hafif betonlarda basınç dayanımına etkilerini araştırmışlardır. Dokuz farklı beton karışımı hazırlamışlar, yaptıkları deneyler neticesinde beton birim hacim ağırlığı azaldıkça agreganın boyut ve şekil daha etkili olduğunu belirlemişlerdir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Agregalar

Beton bünyesinde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi yapı malzemeleri genel olarak agrega olarak tanımlanmaktadır. Beton karışımı içerisinde en optimum değerde ve uygunlukta agrega kullanımı betonun dayanım özelliklerine olumlu yönde katkı sağlamaktadır. Geleneksel betonda kullanılacak agreganın tipi, maksimum tane çapı, granülometrisi, kum/çakıl oranı gibi parametreler kendiliğinden yerleşen betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini doğrudan etkilemektedir (You vd., 2005).

2002 yılında Avrupa Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Uzmanları Federasyonu (EFNARC), tarafından kendiliğinden yerleşen beton bünyesinde kullanılacak agreganın maksimum tane çapını 20 mm olarak tavsiye edilmesine karşılık bu konuyla alakalı kesinlik yoktur (Uygunoğlu, 2008).

Beton inşaatlarında, beton yollarda ve beton yapıların tümünde genel olarak ortalama agrega kullanım oranı %75'leri ve daha fazlasını oluşturur. Agreganın bu kadar yüksek seviye de kullanılması hammadde kaynaklarımızın tükenmesi açısından önemli olduğu gibi karışımların mekanik özelliklerinin üzerinde de oldukça etkilidir (Mindess ve Young, 1987). Agregalar, beton bünyesinde kullanım oranları göz önüne alındığında maliyet bakımından en yüksek paya sahiptir. Kullanım alanı oldukça geniştir. Mühendislik optimizasyon yeteneğinin en fazla kullanıldığı alandır. Kalite, kullanılabilirlik, estetik ve maliyet gibi konular mühendislik için sınırlayıcı etmenlerdir. Agrega temini için en yakın üretim yerlerinin tercih edilmesi, taşımasının ekonomikliği gibi açılardan en önemli konudur (Baradan,2004). American Society For Testings and Materials (ASTM) standardında beton karışımlarda aranan önemli özellikler şunlardır:

- Kaliteli ve dayanıklı olmalı,
- Donma-çözölmeye dayanıklı olmalı,
- İner olmalı,
- Bağlayıcılarla beraber aderans (yapışma) sağlamalı,
- Donatıyı korozyona karşı korumalı,
- Homojen şekilde dağılmalı,
- Standart boyutlarda agrega seçilmeli,
- Agregada tehlike içerecek maddelere yer verilmemelidir.

Betonun işlenilebilme kolaylığı, nem oranı, sertleşmiş betonun dayanıklılığı, betonun dayanımı, uzama oranı, ağırlığı, kolayca doldurulabilme olanağı, yüzeyinin mastarlaması, karışım oranlarının miktarı ve ekonomik özelliği gibi özelliklerin tümü agreganın özelliklerine bağlıdır ve değişiklik gösterir. Agreganın donma-çözülme dayanımı, birim ağırlık, nem ve porozite gibi fiziksel özelliklere sahiptir (Bilgiç, 2009).

2.2. Agregaların Sınıflandırılması

Agregalar, kaynaklarına, tane büyüklüklerine ve yoğunluklarına göre sınıflandırılmaktadırlar.

2.2.1. Kaynaklarına göre agregalar

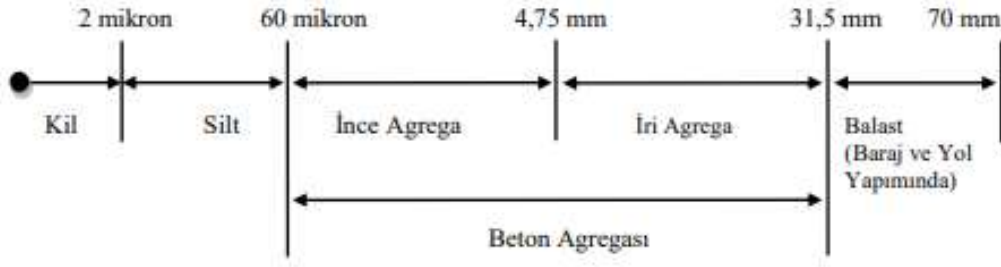
Agregalar kaynaklarına göre doğal ve yapay agregalar olarak ikiye ayrılmaktadırlar

Doğal Agregalar; nehir yatakları, teraslar, okyanuslar, buzullar, göller, ovalar, çöl agregaları ve eski nehir yatağı ocaklarından elde edilen agregalar, doğal kayaların bozulmamış veya tamamen fiziksel bir şekilde parçalanmasıyla elde edilen agregalar doğal agregalar olarak adlandırılır. Kullanım açısından en yaygın olanı nehir yataklarından elde edilen agregalardır (Şahbaz, 2010).

Yapay Agregalar; Fiziksel ve kimyasal işlemlere tabi tutulduktan sonra betonda kullanılabilir duruma getirilen, imalat ürünü olup bir nevi yeni malzeme sayılan agregalardır. Yüksek fırın cürufu, klinker gibi sanayi ürünü olan ürünler yapay agregaya örnek olarak verilebilir. Yapısal (kimyasal) ve şekilsel (fiziksel) farklılıklar gösteren bu agregalar belirli özel amaçlar doğrultusunda tercih edildiğinden kullanım alanları sınırlıdır. Örneğin betonda ısı, ses geçirgenliği gibi özelliklerin geliştirilmesi istendiğinde farklı yapay agregalar seçilebilir (Şahbaz, 2010).

2.2.2. Tane büyüklüğüne göre agregalar

ASTM standartlarına göre, iri ve ince agregayı sınıflandıran 4 numaralı elektir ve bu eleğin göz açıklığı 4.00 mm dir. İri agregalar ise tane boyutu 4.00 mm 'den büyük olan agregalardır (Erdoğan, 2004). Tane boyutuna göre agregaların sınıflandırılması Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Agregaların tane boyutuna göre sınıflandırılması (Arioğlu vd., 1999)

İri Agregalar: TS 706 EN 12620+A1, (2009)'a göre, 4,00 mm göz boyutunda kare delikli standart bir elek üzerinde tutulan agregalar iri agregalardır. Çakıl ve kırmataşın 4-63 mm lik kare delikli elekler ile elenerek elde edilen yığının adıdır. Tabii Çakıl, kayaların zamanla parçalanarak akarsular tarafından aşınıp biriktirilmesiyle oluşan iri agregadır. Taşıma sırasındaki sürtünme nedeniyle partikül yüzeyi aşınır ve yuvarlanır, yüzeyinin doğal pürüzlülüğünü büyük ölçüde kaybeder. Kırma agregası, ocakta üretilen kaya kütlelerinin kırma eleme tesisinde işlendikten sonra üretilen malzemedir. Suni agregalar ise kırık veya bütün halde kullanılan sanayi ürünleridir (Arioğlu vd., 1999).

İnce Agregalar: TS 706 EN 12620+A1, (2009)'a göre 4.00mm kare delikli standart elekten geçebilen agregalardır. Doğal kum, kırma eleme tesislerinde üretilen ya da kırma ve doğal kumun karıştırılmasıyla elde edilen agregalar ince agregalardır. Doğal kumlar, kayaların fiziksel, mekanik ve kimyasal ayrışmasından sonra nehirler tarafından aşındırılan ve biriktirilen ince taneli parçacıklardır. Ezilmiş kum, bir kırma tesisinde en ince tane boyutuna kadar kırılan ve elenen ince taneli bir agregadır. Beton üretiminde ince agregası olarak kum ile birlikte kullanılmaktadır. Öte yandan suni kum, endüstriyel ürünlerin kırılmış veya ezilmemiş agregasıdır (Arioğlu vd., 1999).

Taşunu (filler): TS 706 EN 12620+A1, (2009)'a göre 0,25 mm kare delikli elekten geçen malzemedir. Taşunu, taze betonun ayrışmasını engelleyerek betonun kohezyonunu artıran bir malzemedir (TS 706 EN 12620+A1, 2009).

Yassı ve uzun taneli agregaların doluluk oranları düşük olur ve arzu edilen işlenebilirlik için daha fazla suya ihtiyaç duyarlar. Agregası ve çimento arasında oluşan aderans derecesinin yüksek olmasının sebebi yüzeyi pürüzlü ve köşeli agregaların kullanılmasından kaynaklanır. Agregaların tane şekline göre sınıflandırılması Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Agregaların Tane Şekline Göre Sınıflandırılması (Arıoğlu vd., 1999)

Sınıflama	Açıklama	Örnek
Yuvarlak	 <p>Bu agregalar ya tamamen su yıpratması ile ya da tamamen aşınmayla şekillenmiştir.</p>	Deniz ve akarsu kenarlarındaki çakıl ile rüzgârın uçurduğu kumlar
Şekilsiz	 <p>Aslında şekilsizlerdir fakat sürtünme sonucu kenar kısımları ovalleşmiştir.</p>	Diğer çakıllar, kum veya çakmak taşları.
Köşeli	 <p>Köşeli agregalar pürüzlü ve düzlemsel yüzeylerin kenarlarda birleştiği, keskin hatlara sahip olan agregalardır.</p>	Yamaç molozları ve kırılmış cürufklar. Kırılmış çakıllar.
Yassı	 <p>Diğer iki boyutuna göre kalınlığının daha küçük olduğu agregalardır.</p>	Laminalı kaya
Uzun	 <p>Çoğunlukla köşeli, uzunluğun diğer iki boyutuna göre daha fazla olduğu agregalardır.</p>	Laminalı kaya
Yassı Uzun	 <p>Tane uzunluğu tane eninden ve eni de kalınlığından daha fazla olduğu agregalara denir.</p>	Laminalı kaya

Çizelge 2.2. Yüzey Özelliklerine Göre Agregaların Sınıflandırılması (Çağlayan vd., 1999)

Yüzey Karakteri	Yüzey Şekli	Örnek
Camsı	Konkaidial, oyuklu	Camsı curuf, obsidyen ve çakmak taşı
Düzgün (Pürüzsüz)	Laminalı ya da taneli kayaçların pürüzsüz olarak kırılması veya su içerisinde sürtünme sonucu meydana gelmektedir.	Çört, sleyt, çakıl bazı riolitler ve mermer.
Taneli	Kırılma neticesinde yüzeydeki keskinliklerin düzgün şekilde yuvarlaklaşması sonucu oluşmuş yüzeydir.	Oolit ve kumtaşı.
Pürüzlü	Yapısında güçlkle görülebilen, ince ve orta taneli kayaçların kırılması sonucu meydana gelen yüzeylerdir.	Kireçtaşı, bazalt, porfir, felsit.
Kristalli	Kristal parçacıklar yapısında kolay bir şekilde görülebilir.	Granit, granadiyorit, gnays
Peteki	Oyuklar ve boşluklar yüzeyinde rahat bir şekilde görülebilir.	Sünger taşı, klinker, genişletilmiş kil.

Yüzeyi köşeli ve pürüzlü olan agregalar bağlayıcılığı yüksek olan agregalardır, şekilli ve yuvarlak agregalara nazaran çimento harcı ile beraber daha yüksek bağlayıcılık sağlar. Eğer agregaların yüzeyi gözenekli bir yapıya sahip ise bu bağlayıcılık daha da güçlenmektedir. (Muslu, 2019). Agreganın yüzey özelliklerinin yanı sıra mineralojik yapısı da yapışma oluşumunda etkin rol oynamaktadır. Çizelge 2.2’de yüzey özelliklerine göre agregaların sınıflandırılması verilmiştir (Muslu, 2019).

2.2.3. Yoğunluğuna göre agregalar

Yoğunluklarına göre agregalar normal, hafif ve ağır agregalar olarak üçe ayrılmaktadır.

Normal Agregalar; Özgül ağırlığı 2.0-3.0 gr/cm³ arasında olan agregalardır (Ekmekyapar ve Örüng, 1997).

Hafif Agregalar; Özgül ağırlığı düşük, gözenekli tanelerden oluşan agregalardır ve hem doğal hem de yapay olarak elde edilebilmektedirler (Özyürek, 1995). Doğal hafif agregalar, doğadan elde edilen ve ısıtılmış veya ısıtılmadan ufalanmış veya ufalanmadan kullanılan taşlardır. Yapay hafif agregalar, bazı sanayi artığı hafif agregalardır. Kırma, ısıtılmış işlem vb. işlemlerden sonra kullanılabilir (Ekmekyapar ve Örüng, 1997). Hafif agregalar, beton birim ağırlığını azaltmak, betona ses ve ısı yalıtım özellikleri kazandırmak ya da atıkları değerlendirmek amacıyla kullanılan agregalardır. Genellikle yüksek su emme

ve gözenekliliğe ayrıca düşük basınç, darbe ve aşınma direncine sahiptir. Özgül ağırlıkları 2.0 gr/cm^3 'ten az olup doğrudan veya dolaylı olarak elde edilebilirler. Bu agregalara sünger taşı (pomza, bims), volkanik tuf, diyatumlu toprak, yüksek fırın cürufu, talaş ve genişletilmiş kil, perlit, şist vb. örnek olarak verilebilir. Hafif agregalı betonun maliyeti normal agregalı betona göre daha yüksektir. Çünkü karışım hazırlanırken daha fazla çimentoya ihtiyaç vardır (Postacıoğlu, 1987).

Ağır Agregalar; Ağır beton elde etmek için ağır agregalar kullanılmaktadır. Özgül ağırlıkları $3,2 \text{ gr/cm}^3$ 'ten fazladır. Bu gruba manyetit, hematit, limonit gibi doğal agregalar ve çelik atıkları gibi yapay agregalar girmektedir. Ağır agregalarla üretilen beton ayrı ve özen gösterilen bir işçilik gerektirmektedir çünkü ağır agregaların karıştırılması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması zordur. Ağır agregalar su depolarında, nükleer santrallerde, X-Ray odaları gibi düşük geçirgenlik ve yüksek yoğunluklu beton üretiminin gerekli olduğu yerlerde kullanılır (Batmaz, 2006).

2.3. Agregaların Özellikleri

Betonun sınıflandırılmasına göre betonun kalitesine etki eden faktörler çimento, su ve agregadır. Beton üretimine geçilmeden önce betonun kaliteli ve istenilen standartlarda olması için agreganın özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Betonun yaklaşık %80 gibi büyük bir kısmını oluşturan agregaların özelliği, betonun dayanımı ve sağlamlığı (mukavemeti) gibi önemli olan özelliklerini direk etkilemektedir (Postacıoğlu, 1987). Kaliteli ve sağlam bir beton için agregada istenilen nitelikler şunlardır;

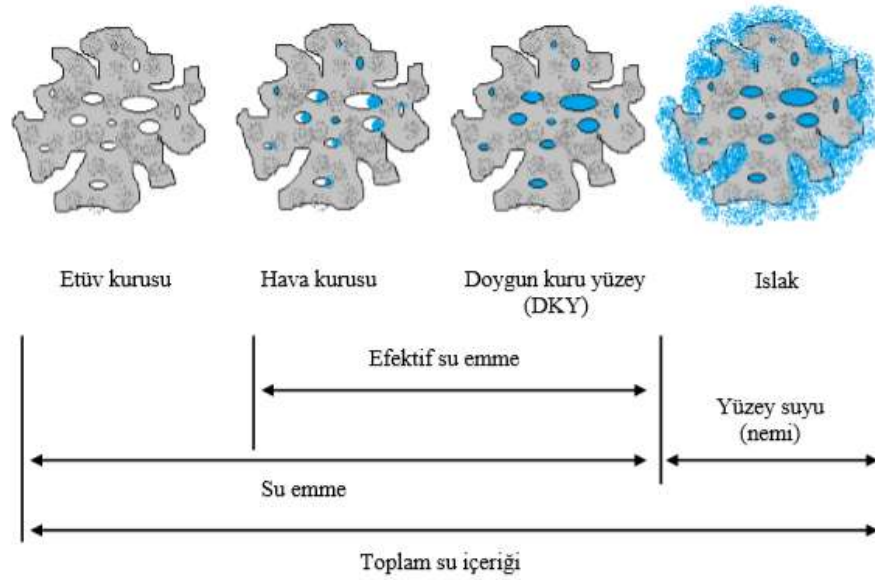
- Agreganın granülometrisi hem dünya standartlarının hem de ülkemiz standartlarından TSE 706 EN 12620 +A1'in şartlarını sağlamalı ve betonda boşluk meydana getirmemelidir.
- Taneler sert ve sağlam olmalıdır. Aşınmaya ve yıpranmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Kübik taneler içermeli ve yassı uzun taneler ise içermemelidir.
- Donma-çözülmenin olduğu iklimlerde beton için donmaya karşı dayanıklı olmalıdır.
- Betona zarar veren ve dayanımını azaltan organik ve hafif malzemeler ile mil, silt, kil ve toz gibi ince malzemeleri bünyesinde barındırmamalıdır.
- Agregalar, sertleşmiş betonun hacmini artıracak sülfatlar ile beton donatısının korozyonuna neden olacak klorür ve tuzları içermemelidir.
- Agregalar, betonun genişmesine ve çatlamasına neden olabilecek aktif silisleri içermemelidir.

2.4. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agregaların fiziksel özellikleri, agreganın boyutu, agreganın mevcut nem durumu ve su emme kapasitesi, birim ağırlık, özgül ağırlık, gözeneklilik, donma-çözülme direnci ve diğer fiziksel faktörlere karşı dirençtir (Erdoğan, 2004).

2.4.1. Agreganın nem içeriği

Agregalardaki nem içeriği beton karışım hesaplarının yapılmasında önemlidir. Agreganın mevcut nem içeriği dikkate alınarak beton karışımının hesaplanması esnasında gerekli düzeltmeler yapılmaktadır (Yapıcı, 2002). Agregadaki nem içeriği, agreganın yüzeyinde ne kadar su bulunduğunun ve agreganın içindeki boşlukların boyutunun bir göstergesidir. Agregadaki su miktarının agreganın kuru ağırlığına oranıdır (Ekmekyapar ve Örüng, 1997). Agregaların nem durumlarıyla ilgili bilgiler Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Agregaların Su İçeriklerine Göre Durumları (Arioğlu vd., 1999)

Agregaların çimento hamuruna yapışması ve agreganın tanelerinin viskoz bulamaç ortamında hareket edebilmesi için tane yüzeylerinin ıslatılması yani çok ince bir su tabakası ile kaplanması gerekmektedir. Karışım suyu, ıslatma suyu ya da yoğurma suyu olarak adlandırılmaktadır. Agreganın nem içeriği ve inceliği beton üretiminde yoğurma suyu miktarını belirleyen bir agreganın özelliğidir. Betonun mukavemetini ve kalitesini etkileyen en önemli birleşik parametre, 1 metreküp betona konulan su miktarının çimento ağırlığına oranı olan su/çimento oranıdır. Katılan su miktarını etkileyen faktör, betonun işlenebilirliğidir.

Agregaların kalitesi ve miktarı da su miktarının belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir (Ekmekyapar ve Özüng, 1997).

Agregaların daha az su emmesi, yani suya doyması ve dolayısıyla minimum karışım suyu gerektirmesi beklenmektedir (Akman, 1990). Agregada içindeki su miktarı, agreganın birim ağırlığını ve hatta özgül ağırlığını etkilemektedir. Agregadaki aşırı boşluklar, agreganın çevresel etkilere karşı dayanıklılığını azaltabilmektedir. Beton üretiminde yüksek su emen agregaların kullanılması betonun mukavemetini ve dayanıklılığını azaltmaktadır (<http://www.teknolojikarastirmalar.com>).

Agrega taneleri nem içeriği bakımından tam olarak kuru (agrega tanesi içindeki tüm boşlukların kuru olması), kuru yüzey (agrega tanelerinin içindeki boşlukların bir miktarı su ile dolu iken tane yüzeyinin tamamen kuru olması), doymuş kuru yüzey (yüzeyi kuru fakat içi suya doymuş) ve ıslak (agrega tanelerinin hem tüm boşluklarının su ile dolu hem de yüzeyinin ıslak olması) olmak üzere dört şekilde olabilir (Yapıcı, 2002).

2.4.2. Agregada yoğunluk-birim hacim ağırlık

1 metreküp hacmi dolduran agreganın ağırlığına birim ağırlık denir. Kurutma sırasında agreganın kaba gevşek bir şekilde dökülmesiyle elde edilen birim ağırlığa "gevşek birim ağırlık", kurutma sırasında belirli bir hacmin 25 şiş ile üç aşamada sıkıştırılmasıyla elde edilen birim ağırlığa "basma birim ağırlığı" denir. Birim ağırlığın bilinmesiyle, agregada içindeki boşluk miktarının yanı sıra agreganın belirli bir kullanım için uygunluğunun yanı sıra tane boyutu dağılımı ve agreganın mevcudiyeti hakkında bilgi belirlemek mümkündür (Şimşek, 2007).

Eğer beton karışım tasarımı mutlak hacim hesabına göre yapılırsa birim ağırlığının bilinmesi gerekmektedir (Özkul vd., 1999). Aşağıdaki faktörler birim ağırlığa etki etmektedir. (Şimşek, 2007);

- Agreganın tane dağılımına göre boşluk miktarı değişim göstermektedir. Agregada karışımındaki boşluk miktarındaki azalma, temel ağırlığı artırır.
- Agreganın tane şekli köşeli, düz, yuvarlak veya kusurlu olabilir. Agregada karışımındaki fazla kusurlu parçacıklar boşluk hacmini artıracığından birim ağırlık da azalacaktır.
- Agregada bir kaba yerleştirildiğinde titreşir veya genişirse agregalar arasındaki boşluk azalacaktır. Bu durumda birim ağırlıkta daha büyük bir değer alacaktır.
- Agreganın mevcut nem içeriği (örn. tam kuru, havada kuru, ıslak) de birim ağırlığı etkileyen bir faktördür (Erdoğan, 2004).

- Birim ağırlık başına beton mukavemeti ne kadar yüksek olursa, yük taşıma kapasitesi de o kadar yüksek olur. Agregası sıkıştırma miktarı arttıkça, betonun basınç dayanımı ve dayanıklılığı da artar. Beton agregalarının birim ağırlığı 1,30-1,85 kg/dm³ arasında değişmektedir (Şimşek, 2007).

2.4.3. Agregası özgül ağırlığı

Özgül ağırlık, agregası parçacıklarının kapladığı mutlak birim hacmin ağırlığıdır (Özkul vd., 1999). Düşük özgül ağırlık, düşük kaliteli agregaları ifade ederken, yüksek özgül ağırlık, yüksek kaliteli betonda kullanılabilen agregaları ifade eder. Betonda kullanılacak agregaların özgül ağırlıkları tipik olarak 2,2–2,9 gr/cm³ arasında farklılık göstermektedir (Şimşek, 2007).

Özgül ağırlık hesaplanırken agregası partiküllerinin nem içeriği ve boşlukları dikkate alınmalıdır. Agregası taneleri, agregasının mevcut nem ve su emme kapasitesine bağlı olarak kuru, tamamen kuru, ıslak veya doymuş kuru yüzey olabilir. Deney TSE EN 1097-6'a göre yapılmaktadır. Ayrıca belirtilen özgül ağırlık testinde agregası tanelerinin doymuş kuru bir yüzey ile kullanılması gerektiği bildirilmektedir (Erdoğan, 2004).

2.4.4. Agregaların doluluk oranı (Kompozitesi)

Agregası doluluk oranı; agregası içerisindeki katıların toplam hacme oranına denmektedir. Bir agregasının yoğunluğu, belirli bir hacimdeki parçacıkların gerçek hacmini tanımlar ve birim ağırlığın özgül ağırlığa bölünmesiyle elde edilmektedir. Küçük ve yoğun agregalarla üretilen beton da doluluk oranı daha düşüktür ve bu durum da çimento tüketimini arttırmaktadır (Postacıoğlu, 1987).

Küçük agregayı sıkıştırmanın dezavantajı, betonun kompaktlığını ve mukavemetini azaltmak, çimento miktarını, maliyeti, kusurlu ürün miktarını artırmak ve dış etkilere karşı direncini azaltmaktır (<http://www.teknolojikarastirmalar.com>).

2.4.5. Agregası tane şekli ve en büyük tane büyüklüğü

Oluşumlarından dolayı doğal agregalar dış etkilere dolaylı küreseldir. En büyük boyutun en küçük boyuta oranı 3'ten büyük olan tanelere şekil kusurlu taneler denmektedir. Doğal agregası ocaklarından çıkan malzemeler genellikle yuvarlak, yassı, uzun kenarlı, köşeli ve şekillerine göre sınıflandırılır. Bu arada kırılmış agregalar da keskin açılı agregası grubuna girmektedir (<http://www.teknolojikarastirmalar.com>). Uzun taneler; maksimum tane boyutunun minimum tane boyutuna oranı 2,80'den büyük olan taneler, yassı taneler;

kalınlığın maksimum boyuta oranı 0,35'ten az olan tanelerdir (Postacıoğlu, 1987). Agreganın tane şekli, betonun işlenebilirliğini ve kompaktlığını etkilemektedir (Kocataşkın, 1975). Genişliği uzunluklarının üçte biri veya daha fazlası olan ince agregalar kırılmaya eğilimlidir ve beton mukavemetini azaltır. Bu nedenle, 8 mm'den büyük beton agregaları, %50'den fazla (ağırlıkça) yassı agregaya içermemelidir (<http://www.teknolojikarastirmalar.com>).

Agrega parçacıklarının mümkün olduğu kadar küresel olması arzu edilir. Böylelikle, agregaya yığınları daha iyi yerleşir ve tane aralığı en aza indirilir. Belirli bir kıvam için daha az su gerekmektedir (Akman, 1990). Küre geometrisinden büyük ölçüde farklı olan parçacıklar kütle içinde tutulur ve işlenebilirliği azaltır. Kayanın yapısı ve kırma işlemi, agregaya parçacıklarının şeklini etkileyebilmektedir (şengül, 2000).

Agreganın maksimum tane boyutu, çapı ve boyutu, agreganın %90-100'ünün geçtiği minimum göz boyutu ile belirlenmektedir. Beton üretiminde mümkün olan en büyük tane boyutlu agreganın sečilmesinde fayda vardır. Ancak bu şekilde beton için gerekli olan çimento ve karışım suyu miktarı azaltılarak betonun kalitesi artırılabilir. Beton üretiminde tane boyutu en yüksek ve uygun tane boyutuna sahip agregalar kullanılarak ekonomik, yüksek mukavemetli ve dayanıklı beton elde edilebilmektedir (Ekmekyapar ve Örüń,1997).

Agreganın maksimum tane boyutu, betonun kullanılacağı yapı elemanının türü ve en dar parçasının boyutu ile sınırlıdır. Beton üretiminde agreganın maksimum tane boyutunun sečiliminde dikkate alınması gereken ilke; agreganın maksimum tane boyutunun yapı bileşeninin en dar bölümünün genişliğinin 1/5'inden, zeminin 1/3'ünden az olmasıdır (Ekmekyapar ve Örüń,1997).

2.4.6. Agregaların granülometrisi (tane büyüklük dağılımı)

Agregaları oluşturan parçacıkların boyutu değişir. Bununla birlikte, belirli bir boyuttaki partiküller, polimerize edilmiş bir numunede her zaman belirli bir miktarda bulunmaktadır (Postacıoğlu, 1987). Parçacık boyutu bileşimi, boyutu belirli sınırlar içinde kalan bir agregaya içindeki parçacıkların oranını tanımlamaktadır (2004).

Agrega yığınındaki tanelerin boyutlarına göre dağılımının belirlenmesi beton üretiminde ilk önemli adımdır (Cimilli, 1986). Bu dağılımın incelenmesine elek analizi veya partikül boyutu tayini denmektedir (Akman, 1990).

Agrega tane boyutunun betonun özellikleri üzerinde olumlu veya olumsuz etkisi vardır. Kaliteli beton üretmek için kullanılan agregaların boyut dağılımı, söz konusu beton için gerekli kaliteyi sağlamalıdır. Bu amaçla kullanılmadan önce agreganın tane boyutunun

deneysel olarak belirlenip belirlenmediği ve belirli bir aralıkta tutulup tutulmadığı kontrol edilmelidir (Baradan, 1996).

Kaliteli beton ve istenilen kıvamın üretilebilmesi için karışımda kullanılan kumun çeşitli tane boyutlarının belirli bir oranda bulunması, diğer bir deyişle kum karışımının tane boyutunun belirli bir aralıkta tutulması gerekir. Partikül boyutu tayini, taze betonun işlenebilirliğini, mekanik mukavemetini, kompaktlığını, geçirgenliğini, büzülmesini vb. etkilemektedir. Betonda kullanılan agregaların özellikleri üzerinde etkili olduğu için, özelliği olmayan projelerde kullanılsa dahi tane boyutu belirlenmelidir (Akman, 1990). Agreganın boyutu, doluluğu artırmak için daha az boşluğa sahip olmalıdır. Tek bir tane boyutu kullanılması durumunda sağlanabilecek doluluk oranı belirli bir değeri aşmamaktadır (<http://www.teknolojikarastirmalar.com>).

Aradaki boşluğu doldurmak için daha küçük parçacıklara ihtiyaç vardır. Ancak partikül boyutu küçüldükçe toplam yüzey alanı artar ve bu nedenle su ihtiyacı daha yüksektir (Şengül, 2000). İyi bir beton elde etmek için, betonun içerdiği her cins malzemenin miktarı, daha büyük ebatlı malzemedeki boşlukları doldurmaya yetecek kadar olmalıdır. Diğer bir deyişle, ince agreganın boşluklarını çimento, iri agreganın boşluklarını ise ince agreganın doldurmalıdır. Bu nedenle eleme analizi partikül boyutunun belirlenmesi için önemlidir. Yine bu deney ile iri agreganın incelik modülü ve maksimum tane boyutu da belirlenmelidir. İri agreganın maksimum boyutu yapı elemanlarının veya çelik ve betonun miktarına göre seçilir. Agreganın boyutu büyüdükçe, istenilen beton kalitesi için gerekli olan su ve çimento miktarı ile birlikte şerbet ve dolgu malzemesi miktarı da azalmaktadır (Katrancı, 1999).

Her bir elekten geçen malzeme ağırlığının toplam ağırlığa oranı elek açıklığı çapının bir fonksiyonu olarak çizilerek partikül boyutu ölçüm eğrileri elde edilmiştir (Ersoy, 1987). Agreganın uygun parçacık boyutuna sahip olduğundan emin olmak için ideal bir parçacık boyutu eğrisi önerilmektedir. Bu eğriler, uygulama kolaylığı için tek eğri yerine eğrilerle sınırlanan alanlar olarak verilmiştir. Beton üretiminde kullanılan agreganın karışımının tane boyutu eğrisinin bu bölgeleri aşmaması istenmektedir. Bu bölgelerin sınırlarını oluşturan eğrilere tane boyutu eğrileri denmektedir. Bu koşul, ister doğal karışık agreganın olsun, ister ince, iri agregalardan oluşan karışık agregalar veya belirli oranlarda birkaç kategoriye ayrılmış agreganın karışımı olsun, beton üretiminde kullanılan agreganın karışımları için gereklidir (Ekmekyapar ve Örüng, 1997).

Beton agregalar için kullanılan agrega tane boyutu, ideal ölçüm eğrisine uymalı veya ideal alan sınırları içinde olmalıdır. Çünkü agreganın tane boyutu, sertleşmiş betonun yerleştirilmesini, sıkıştırılmasını büyük ölçüde etkileyen bir faktör olduğu için önemlidir. Maksimum tane boyutu ve aralarındaki alan açısından kabul edilebilir referans eğrileri tanımlanmıştır (Özyürek, 1995).

Bir agreganın incelik modülü, karışık agrega parçacık boyutu eğrisindeki 1 (bir) eksi her bir eleğin koordinatının toplamıdır. Agrega yığımındaki daha küçük tanelerin oranı arttıkça incelik modülünün değeri küçülür (Postacıoğlu, 1987). İncelik modülü, agreganın tane boyutu bileşimi hakkında bilgi sağlayan bir sayıdır. Birbirinin iki katına tekabül eden eleklerin kümülatif % değerleri toplamının 100'e bölünmesiyle elde edilen incelik modülü, agrega taneleri küçüldükçe azalmakta, taneler büyüdükçe artmaktadır. Aynı incelik modülüne sahip agregalar, farklı parçacık boyutu eğrilerine sahip olabilir. Yani, agrega incelik modülü, farklı parçacık boyutu eğrileri için aynı olabilmektedir (Yapıcı, 2002).

İnce agreganın incelik modülü, beton karışımı için gerekli olan kum ve karışım suyunun yüzdesini etkilemektedir (Cimilli, 1986). Sınır değer içinde olduğu sürece betonun dayanımının incelik modülü ile artabileceği ancak işlenebilirliğinin azaldığı söylenebilir (Özyürek, 1985). Agrega ne kadar ince olursa, beton üretimi için o kadar fazla su gerekir (Uluata, 1981).

2.4.7. Agregada dona dayanıklılık

Dayanıklılık, agregaların iklim koşullarına, özellikle donma-çözölmeye, ıslanma-kurumaya, veya aşındırıcı malzemelerle su hareketine karşı gösterdiği dirençtir. Üretilen beton aynı zamanda soğuk iklim koşullarına da dayanıklı olmalıdır. Agregalar, betonun donma direncinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle beton üretiminde kullanılan agregaların dona karşı dayanıklı olması gerekmektedir (Yapıcı, 2002).

Donmanın neden olduğu agrega parçalanması betonun dondan zarar görmesine neden olmaktadır (Postacıoğlu, 1987). Özellikle su yapılarında beton yüzeylerde agrega parçacıkları dondan zarar görebilmektedir (<http://www.teknolojikarastirmalar.com>).

İnce ve iri agregaların türü, petrografik özellikleri, tane şekli ve boyutu donma direncini etkileyen faktörler arasındadır (Özturan,1984). Agreganın su emmesi ne kadar yüksekse donma direnci o kadar düşük olmaktadır (Ekmekyapar ve Örüng, 1997).

Agrega içinde bazı boşluklar bulunmaktadır. Agregadaki boşluk sayısı, kuru yüzeyi doyurmak için gerekli su miktarına eşittir. Aşırı boşluklar, agreganın donma ve çevresel etkilere karşı dayanıklılığını azaltmaktadır (Ekmekyapar ve Örüng, 1997).

İri agrega tanelerinin düşük porozite değerine sahip olması, bu tanelerin daha dayanımlı olmasına neden olmaktadır (Postacıoğlu, 1987). Bu nedenle beton üretiminde kullanılacak agregaların belirli porozite değerlerinden yüksek değerlerde boşluk içermemesi istenir (<http://www.teknolojikaestirmalar.com>).

2.5. Agregaların Mekanik Özellikleri

Beton, farklı kullanım alanına sahip olması nedeniyle beton bünyesinde kullanılacak agregaların sağlam ve sert yapıda olması buna ek olarak kırılabilirliğin ve aşınabilirlik özelliğinin de düşük olması istenmektedir (Erdoğan, 2004). Bu nedenle özellikle özel yerlerde kullanılacak olan ve özel amaçla üretilen betonların yapımında kullanılan agregaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin doğru şekilde belirlenerek uygun beton karışımları yapılması çok önemlidir. Agregalarda belirlenmesi gereken en önemli mekanik özellikler ise; agregaların aşınmaya, çarpmaya karşı dayanıklılığı, agregaların basınç dayanımı ile agregalarda yüzey şekli ve biçimidir (Şimşek, 2007).

2.5.1. Basınç dayanımı

Agrega taneleri istenilen özelliklerde beton yapımına uygun olacak kadar dayanıklı olmalıdır. Bu özellik, kum ve çakılın doğal olarak seçilmesi veya bunların ezilerek elde edilmesiyle elde edilen agregalarla sağlanmaktadır (Özyürek, 1995). Düşük basınç ve aşınma direncine sahip agregalar kullanarak yüksek dayanımlı beton elde etmek mümkün değildir (Postacıoğlu, 1987).

Agregalarda aranan en önemli özelliklerden biri yüksek basınç dayanımıdır. Basınç dayanımı, malzemenin gözenekliliği ile yakından ilgilidir. Daha küçük gözeneklilik, agrega mukavemetini artırır. Agreganın jeolojik özellikleri, bize mekanik gücü hakkında büyük bir bilgi sağlamaktadır (<http://www.teknolojikaestirmalar.com>).

Bir agreganın mukavemeti ve elastik modülü, elde edildiği kayanın mineral bileşimi, kristal boyutu, çimento miktarı ve yüzey yapısı gibi jeolojik özelliklerine bağlıdır. Düşük mukavemet, iç yapının, agregayı oluşturan tanelerin zayıflığından veya yeterince bir arada tutulamamasından kaynaklanabilir. Kayanın basınç dayanımını etkileyen faktörler aynı

zamanda elastik modülü de etkiler. Aynı kaya türü için elastik modül değerlerinde daha büyük bir dağılım gözlemlenebilir (Şengül, 2000).

Normal dayanımlı betonda sadece agrega dayanımının etkisi çok azdır. Agrega tane boyutu en önemli faktörlerden biridir ve agreganın şekli, yüzey yapısı ve zararlı maddelerin varlığı oluşturulacak betonun performansı üzerinde etkilidir. Hafif betonun mukavemeti, kullanılan agreganın mukavemetinden daha fazladır ve bu her zaman beton mukavemeti için sınırlayıcı faktör değildir (Şengül, 2000).

2.5.2. Aşınma dayanımı

Hava alanı pistleri ve karayolları gibi dinamik zorlamalı ortamlarda kullanılan agregaların darbeli aşınmaya karşı direncini belirlemek önem arz etmektedir. Darbeye maruz kalacak olan betonun aşınmaya dayanıklı agregalarla üretilmiş olması istenmektedir. Agregaların aşınma direnci, özgül ağırlık ve sertlik gibi özellikleri ile ilgilidir (Katrancı, 1999). Darbe ve aşınma şoklarına maruz kalan betonun bu etkilere dayanabilmesi için yapımında kullanılan iri agregaların aşınmaya ve darbelere karşı yüksek dirençli olması gerekir. Camsı agregalar, şist ve marn aşınmaya dayanıklı değildir. Özgül ağırlığı ve sertliği (bazalt) yüksek olan kayalar yüksek aşınma direncine sahiptir. Yüksek aşınma direncine sahip agregalar da yüksek basınç dayanımına sahiptir (<http://www.teknolojikarastirmalar.com>).

2.6. Kayaların Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Kayaçlar anizotrop ve heterojen oluşumlardır. Kayaçların mineralojik bileşenleri ve doku özelliklerinin yanı sıra mineraller arasındaki bağlar da kayaçların dayanıklılık özelliklerine önemli ölçüde etki etmektedir. Birbirine güçlü bir şekilde bağlı olan minerallerden oluşan bir kayacın dayanım değeri daha yüksektir. Sedimenter kayaçlarda mineraller matriks ya da çimento malzemesiyle birbirine bağlanmış olup matrisk/çimento oranı kayacın dayanıklılığına, yoğunluğuna ve porozitesine etki etmektedir. (Karaman ve Kesimal, 2012).

Kayaçların mineralojik içeriği ile deformabilite ve dayanımı arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu sebeple kayacın mineralojik analizinin yapılması önemlidir.

Kayaçları meydana getiren minerallerin renklerini, kimyasal içeriklerini, cinslerini, kristal şeklini, gözenek boyutlarını, dolgu kısımlarını, boşluklu yapılarını, kılcal çatlaklarını, bağlayıcı madde cinsini, tane şeklini ve tane büyüklüğünü çeşitli analizlerle belirlemek mümkündür. Bu verileri elde etmek için başlıca analizler XRF, XRD, SEM ve İnce kesit analizidir.

2.7. Agregalarda Bulunabilecek Zararlı Madde ve Taneler

Agregalardaki tehlikeli maddeler, betonda kullanıldıklarında genellikle olumsuz bir etkiye sahiptir. Bu maddeler bağlayıcının bozunmasına, bağlayıcının genişmesi betonun kırılmasına ve betonda çatlaklar oluşturarak çimento şerbeti ile agrega arasındaki yapışmanın engellemesine neden olur. Beton üretiminde kullanılan agregalar genel olarak temiz ve oluşturdukları karışımların dayanıklılığını olumsuz yönde etkileyebilecek çeşitli tehlikeli maddelerden arındırılmış olmalıdır. Yıkanabilir maddeler, dağılımlarına ve miktarlarına göre organik maddeler, sertleşmeyi bozan maddeler, bazı kükürt bileşikleriyle yumuşayan, genişleyen ve hacmi artıran maddelerdir (Güner ve Süme, 2000; TS 706 EN 12620+A1, 2009). Silt, mika, kömür, humus, talaş, kimyasal tuz, yumuşak parçalar, kil gibi organik maddeler ve agregaların etrafındaki yabancı maddeler zararlı maddeler olarak adlandırılır. Bunlar betonun dayanıklılığını ve görünümünü etkileyebilir. Betonun işlenmesini ve karıştırılmasını zorlaştırır ve su gereksinimlerini artırır. Hava koşullarına bağlı olarak betonun bozulmasına neden olabilirler (Tutmaz, 2009).

2.7.1. Yıkanabilir (ince) malzeme

Kil, silt ve çok ince taş tozu, agrega içinde ince bir şekilde dağılıbilir veya bir blok haline getirilebilir veya yıkanabilir malzeme olarak adlandırılan agrega parçacıklarına yapıştırılabilir. Ek olarak, 0.063 mm'den (63 μ) daha küçük partiküller içeren malzemeler ince olarak tanımlanır. Bunlar istenmeyen malzemelerdir ve agregalarda sınırlı miktarlarda bulunmalıdır (TS 706 EN 12620+A1, 2009; Tutmaz, 2009). TS 706 EN 12620'ye göre 0,05-0,005 mm den daha büyük maddelere silt, 0,005 mm'den küçük olanlara ise kil denir. Kolloidal kil, silt ve taş gibi aşırı partiküller betona zarar verir. Agregada tanelerinin yüzeyine yapışan kil ve silt gibi ince taneli malzemeler agrega ve çimento arasındaki bağı bozabilir. Bu nedenle üretilen betonun dayanım özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilir.

2.7.2. Organik kökenli maddeler

Çürüyen bitki köklerindeki, humuslu topraklardaki ve diğer organik maddelerdeki taneler ve türevleri, agregalarda çok küçük parçacıklar halinde dağılır ve çimento hidratasyonunu olumsuz etkileyebilir. Agregada içinde yüksek organik içeriğin varlığında çimentonun priz süresi yavaşlar veya hiç oluşmayabilir. Bu nedenle betonun tüm yapısal özelliklerini olumsuz etkiler (Erdoğan, 1995).

Organik malzemelerin bu olumsuz etkileri iki nedenden kaynaklanmaktadır; birincisi, bazı organik malzemelerin çimentoda hidratlı kristal oluşumunu engelleyen hidrofobik (su itici)

olması, diğeri ise bazı organik malzemelerin hidrofobik olmasıdır. Çimentoda çözünmez ve hidratlı kristal oluşumunu engeller. Agregalarda organik maddelerin varlığı, bu maddelerle üretilen betonun mukavemetini yaklaşık %50 oranında azaltmakta ve betonun sertleşmesini, şişmesini, çimentonun priz almamasını ve korozyonunu bozmaktadır. Kömür parçacıkları ve diğeri düşük yoğunluklu malzemeler, uygun yoğunlukta sıvılarda yüzen agregalar tarafından belirlenir (Tutmaz, 2009).

2.7.3. Sertleşmeye zarar veren maddeler

Az miktarda sertleştirici bile betonun ayarını ve sertleşmesini değiştirebilir. Agregada bünyesinde zararlı maddelerin veya çözünmüş tuzların varlığından şüpheleniliyorsa, agregayı karşılaştırmalı bir beton testi ile kontrol edilmelidir. İncelenen agregayı ile yapılan betonun basınç dayanımı, karşılaştırma betonunun basınç dayanımının % 85'inden az ise, incelenen agreganın betonun sertleşmesini bozan maddeler içerdiği varsayılır (TS 706 EN 12620+A1, 2009).

2.7.4. Sülfat içeren maddeler

Agregada içindeki sülfatın varlığı, agregayı parçacıklarının sülfat alüminat adı verilen şişen bir tuz oluşturmak üzere çimento ile reaksiyona girmesine neden olur. Bu genişleme nedeniyle betonda segregasyon ve ufalanma meydana gelebilir. Bu nedenle sülfatın (SO_3) ağırlıkça %1'i geçmemesine dikkat edilmelidir. 1 dm^3 betondaki sülfat içeriğinin 1.4 gr dan az olması gereklidir (TS 706 EN 12620+A1, 2009).

2.7.5. Çeliğe zarar veren maddeler

Agregalarda nitrat ve halojenür gibi tuzların bulunması, özellikle betonarmede donatının korozyonunu önler. Betonarme yapılarda kullanılan agregalar ağırlıkça %0,2'den fazla suda çözünür klorür içermemelidir (TS 706 EN 12620+A1, 2009).

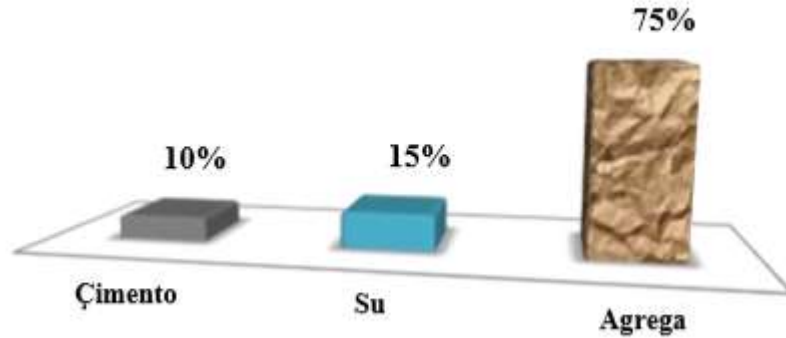
2.7.6. Alkali reaktivite oluşturan maddeler

Alkali agregayı reaksiyonu, agreganın aktif silika bileşeni ile çimentonun alkalisi arasında meydana gelen kimyasal bir durumdur. Bazı durumlarda çimentoda Na_2O , K_2O gibi alkali metal oksitler bulunabilir. Çimento hammaddesinden kaynaklanan durum budur. Bu alkali metal oksitler, çört, kumtaşı ve opalinli kaya bazlı agregalarda bulunabilen opal, kuvars, tridimit gibi reaktif silikalarla reaksiyona girerek alkali-silika jelleri oluşturur (Erdoğan, 1995). Bundan dolayı betonun hacim stabilitesi bozulur ve betonda çatlaklar oluşur. Alkali-agregayı reaksiyonunun meydana gelmesi, çimentodaki alkali metal oksitlerin ($Na_2O+0.658$

K₂O) içeriğine (%0,6'dan fazla), agrega içinde alkaliye duyarlı silisli minerallerin varlığına ve çimentodaki yeterli nem faktörlerine bağlıdır (TS 706 EN 12620+A1, 2009).

2.8.Beton

Beton, zamanımızın önemli yapı malzemelerinden biri olup, kum, çakıl (kırmataş, hafif agrega vb.), çimento, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin karıştırılmasıyla elde edilir. Bu malzemeler belirli oranlarda karıştırıldığında kalıpta istenilen şekle getirilebilen plastik bir malzeme elde edilebilir. Betonu diğer yapı malzemelerinden üstün kılan en önemli özelliklerinden biri, istenilen şekli elde etmesini sağlayan plastik kıvamıdır. Beton karıştırılıp kalıba döküldükten sonra kısa sürede priz alır ve zamanla dayanım kazanır (Ersoy, 1987). Taze betona istenilen şekli verilebilir, iskeletini oluşturan agregalar kolayca sağlanabilir, donatı ile betonarmede iyi çalışır, binanın boyutunu küçültmek için ayrı ayrı betonarme elemanları istenilen boyuta getirilebilir. Taş, tuğla, briket ve betona göre kerpiç, betonun daha yüksek mukavemete sahip olması inşaat sektörünün ekonomisini artırmaktadır (Ekmekyapar ve Örüng,1997). Şekil 2.3'te betonu oluşturan malzemeler ve oranları verilmiştir. Betonun mukavemeti, dayanıklılığı ve diğer özellikleri, karışımdaki malzemelerin oranlarına, karışımın formuna, sıkıştırma yöntemine ve kürlemeye bağlıdır (Postacıoğlu, 1987).



Şekil 2.3. Betonu oluşturan malzemeler ve oranları

2.9. Betonu Oluşturan Malzemeler

2.9.1. Çimento

Kırıncıdan geçirilmiş kireçtaşı ve kilin standartlara göre harmanlanıp fırında pişirildikten sonra meydana gelen klinkerin, katkı yardımıyla karıştırılmasıyla elde edilen hidrolik

bağlayıcıya çimento denilmektedir. Çimento, bünyesine su katıldığında tepkimeye girerek plastik ya da akıcı bir kıvam alan belirli süre zarfında katılaşıp sertleşen toz halinde malzemedir. (DPT, 2001; www.betonsa.com.tr).

Çimentoya katkı haricinde alçı taşı ve klinkere ek olarak çimento çeşitlerine göre bir ya da birden çok traş, çuruf, uçucu kül gibi hidrolik katkı özelliği sağlayan (puzolanik) katkılar katılır. Çimento beton içerisinde yaklaşık olarak %10 gibi az bir hacim kaplamasına rağmen beton için çok büyük önem teşkil etmektedir. Günümüz şartlarında en çok tercih edilen çimento çeşitleri yüksek fırın cürüflü çimento, sülfata dayanıklı çimento, portland çimentosu ve tras katkılı çimentolardır. Bu tip çimentoların haricinde özel amaçlar için beyaz portland çimentosu da tercih edilmektedir. Çimentolar ayrıca TS EN 191 standardının yükümlülüklerini yerine getirmek zorundadır (Usta, 2005; <https://www.thbb.org>).

2.9.2. Agregas

Agrega; beton hacmin %80 gibi büyük bir kısmını oluşturan kum, çakıl ve kırma taş gibi taneleri farklı mineral bir yapıya sahip inorganik malzemelere verilen isimdir. Mineral bir kökene sahip olan agregalar perlit ve yüksek fırın cürufu gibi yapay, mıcır ve çakıl gibi doğal olarak ayrılmaktadır (Arnoğlu vd., 1999; Çavuşoğlu, 2005; Şimşek 2007; www.betonsa.com.tr).

Hacimsel olarak betonda en büyük paya sahip olan agregalar sertleşmiş ve taze beton yapımında önemli rol oynamaktadır. Maliyet olarak çimentoya kıyasla çok düşük olan agregalar genellikle dolgu malzemesi olarak kullanılırlar. Ayrıca agregalar sertleşmiş betonun hacimsel değişimini kontrol altına alarak azaltmaktadır. Agregalar hem kendi dayanımının yüksek olması ve bağlayıcılık özelliğine sahip olması hem de sertleşmiş betonun çevresel etkilere karşı dayanıklılığını ve aşınmaya karşı dayanıklılığını arttırmaktadır.

2.9.3. Beton karma suyu

Betonu oluşturan ana materyallerden birisi de sudur. Betonun oluşturulmasında karışım suyunun iki önemli görevi bulunmaktadır. İlk olarak agrega ile çimento taneleri ıslatarak kayganlaştırıcı bir etki yapmaktadır. Böylece beton daha rahat karışır ve taze betonun sıkışması ve yerleşmesi dolayısıyla işlenmesi çok daha rahat olur. İkinci vazifesi ise toz şeklindeki çimento tanelerine bağlanıp çimento haricinde kimyasal reaksiyonları (hidratasyon) oluşturmaktadır. Karışım suyu olabildiğince temiz olmalıdır. Betonda zarara

neden olabilecek asit, yağ, tuz, şeker ve endüstriyel atıklar bulundurmamalıdır. Beton da kullanılan sular TS EN 1008:2003 'teki standarda uymalıdır.

2.9.4. Kimyasal katkılar

Beton katkısı; betonun işlenebilirliğini, sağlamlığını ve kalitesinin artırılması, teknik yönden daha kaliteli beton elde edilmesi için çimento miktarına oranla %2 kadar kullanılan organik veya inorganik kimyasallara verilen addır. Katkı maddeleri genellikle beton karışım suyuna ilave edilmektedir. Katkı maddelerinin istenilenden fazla kullanılması beton üzerinde olumsuz sonuçlar doğuracağı gibi miktarın az kullanılmasında ise yine beton üzerinde hiçbir etkiye sebep olmayacaktır. Katkı maddesinin beton üzerindeki etkilerini labaratuvarında deneme betonlarla en iyi sonuç saptanmalıdır (Usta, 2005; www.betonsa.com.tr). Beton üretiminde kullanılan kimyasal katkı maddeleri ve özellikleri çizelge 2.3'te belirtilmiştir.

Çizelge 2.3. Beton üretiminde kullanılan kimyasal katkı maddeler ve özellikleri (Usta, 2005; www.betonsa.com.tr; https://www.thbb.org).

Kimyasal Katkılar	Özellikleri
Su azaltıcı akışkanlaştırıcı	<p>Bu katkılar çimento miktarına oranla % 0.7 ile %1.5 arasında kullanılırlar. Bu katkının amacı betonun daha az su ile üretilmesini amaçlamaktır. Üretilen betondaki su miktarı azaldıkça betonun kalitesi ve mukavemeti artacaktır. Katkının azalttığı su miktarına göre normal, süper ve hiper isimlerini almaktadır.</p>
Süper akışkanlaştırıcı	<p>Bu katkılar daha yüksek dayanımlı betonlar üretmek için kullanılırlar. Bu katkı ile su/çimento oranı 0.25'e kadar inmektedir. Normal akışkanlaştırıcılara göre %1-%3 arasında daha yüksek miktarda kullanılmaktadır.</p>
Priz süresini değiştiren	<p>Taze betonun dökümünden içerisinde ki suyu kaybedip katılaşıma kadar geçen sürece priz adı verilmektedir. Bu katılma süresinin bazı durumlarda öne alınması bazı durumlarda ise gecikmesi gerekmektedir. Örneğin; uzun taşıma süresi ya da sıcak iklim koşullarında geciktiriciler, soğuk iklimlerde ise hızlandırıcılar kullanılmaktadır.</p>
Hava sürükleyici	<p>Bu katkılar ise soğuk iklim koşullarında donma çözünme etkilerine karşı betonu muhafaza ederler ayrıca betonun işlenebilirliğini de arttırmaktadırlar. Kullanılacak olan katkının miktarı yine iklim koşullarına göre belirlenir. Bu katkılar suyun donma derecesini düşürerek çimentonun don sebebiyle dayanıklılık kazanmasında problem olmasın diye kullanılmaktadır.</p>
Antifrizler ve Diğer katkı maddeleri	<p>Diğer katkı maddelerine bakacak olursak büzülme önleyici, betona renk veren, bağlayıcılığı arttıran, suyu tutan ve su geçirimsizliği sağlayan katkı maddeleridir.</p>

2.9.5. Mineral katkılar

Mineral katkılar; teknik olarak betonu daha iyi seviyeye getirmek ve betonun özelliklerini artı yönde iyileştirmek için kullanılan ince malzemelere denilmektedir. Mineral katkı maddeleri betonun mukavemetini ve dayanıklılığını arttırmaktadır. Bu katkılar fiziksel, kimyasal ve elektro-kimyasal yollarla dışarıdan gelen etkilere karşı daha uzun ömürlü beton yapılarının üretiminde portland çimentosu ya da portland çimentosunun klinkeriyle beraber kullanılmaktadır. Ülkemizde de yaygın olarak kullanılan mineral katkıları; silis dumanı, öğütülmüş yüksek fırın curufu, tras ve ucucu küllerdir (www.betonsa.com.tr).

2.10. Taze Betonun Özellikleri

Karıştırma işlemi henüz bitmemiş olmasına rağmen priz alarak plastisitesini yitirmemiş betonlara taze beton adı verilmektedir. Bu betonların yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve taşınması sırasında yapılan işlemler sertleşmiş haldeki betonun özelliklerini etkileyebilir. Taze betonlardaki istenen en önemli özellikler işlenebilirlik, temel ağırlık ve hava içeriğidir. (Ekmekyapar ve Örüng,1997). Taze betonun özellikleri ve betonu etkileyen faktörler Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. İyi betonun özellikleri ve betonu etkileyen faktörler (Şimşek, 2007).

	Dayanıklılık		Ekonomi	Mukavemet
Dış etkilere karşı dayanım	Zararlı kimyasallara karşı dayanım	Hava etkilerine dayanıklılık Isı, ıslanma-kuruma, donma-çözülme	Malzemenin yararlı kullanımı	İyi kalitede harç
Düşük s/ç oranı	Düşük s/ç oranı	Düşük s/ç oranı	Yararlı çalışma	İyi kalitede agrega
Dayanım	Homojen Beton	Az su içeriği		Boşluksuz beton
Az su	Az su	Homojen Beton		
Yeterli kür	Uygun Artık Agregalar Uygun Optimum hava	İyi granülometri Uygun Çimento Düşük kum yüzdesi İşlenebilir Karışım İyi taşıma Vibrasyon İyi karıştırma Yeterli kür Uygun ısı Uygun agrega Optimum hava		İyi katkı
Yüksek mukavemet		Şu geçirmez Az hacim değişimi	Kolay kullanma	

2.10.1. İşlenebilme

İşlenebilirlik, betonun taşınması, yerleştirilmesi ve kompakt olması, minimum homojenlik kaybı özelliği olarak tanımlanmaktadır (Gürsu ve Öztürk, 1990). Betonun işlenebilirliği, su oranına, agreganın tane boyutuna, tanelerin boyutu ve şekline, çimento oranına vb. bağlıdır (Neville, 1995).

2.10.2. Birim ağırlık

Birim ağırlığı taze betonunun birim ağırlığını ifade etmektedir. Taze betonun birim ağırlığının düşük olması, betonda çok fazla boşluk olduğunu ve bu nedenle sertleşmiş beton olduğunu gösterir (Ekmekyapar ve Özüng, 1997).

2.10.3. Hava miktarı

Beton bünyesinde biraz hava bulunmaktadır. Normal betonda hava miktarı agreganın maksimum tane boyutuna bağlı olarak %0.5-3.0 arasındadır. Hava betona kendi kendine girdiği için özel katkı maddeleri ile de sürüklenebilir. Katkı maddelerinin kullanım amacı betonda küçük hava kabarcıkları oluşturarak donma direncini arttırmaktır (Ekmekyapar ve Örüng, 1997).

2.11. Sertleşmiş Betonun Özellikleri

Kısmen mukavemet kazanan betona sertleşmiş beton denir. Ancak sertleşmiş beton denilince betonun 28 gün veya daha uzun süre bekletilmiş olduğu anlaşılır (Ekmekyapar ve Örüng, 1997). Uzun süreli sertleşme, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyondan kaynaklanır ve sertleşmenin devam etmesi için belirli bir sıcaklık ve nem gerektirir (Neville, 1995).

2.11.1. Basınç dayanımı

Basınç dayanımı, betonun en önemli mekanik dayanımlarından biridir. Betonun diğer özellikleri, basınç dayanımı ile yakından ilgilidir. Betonun diğer mekanik özellikleri, basınç dayanımı ile aynı yönde değişir. Beton genellikle basınç dayanımına göre sınıflandırılır. Basınç dayanımı, zamana ve bakım koşullarına bağlı olarak standart kübik veya standart silindirik beton numuneleri ile değerlendirilir (İhtiyaroğlu, 1974; Özcan, 1999). Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörler, karışım suyu miktarı, betonun sıkışma derecesi, dış etkiler (kür koşulları), test koşulları gibi çimento ile ilgili faktörler olarak sıralanabilir (Ekmekyapar ve Örüng, 1997). Betonun basınç dayanımını arttırmak için çimento miktarını arttırmak veya karışımdaki su-çimento oranını azaltmak ve yüksek dayanımlı çimento kullanmak gereklidir. Ayrıca betonun sıkışma derecesi arttıkça basınç dayanımı da artar. Betondaki boşluk %10 artarsa dayanım %50-60 azalır (Gürsu ve Öztapak, 1990).

Basınç dayanım sınıfları çizelge 2.5'e verilmiştir.

Çizelge 2.5. TS EN 206-1, (2014)'e göre basınç dayanım sınıfları
(<https://www.etsepoksi.com/belgeler>)

Basınç Dayanım Sınıf	En düşük karakteristik silindir dayanımı N / mm²	En düşük karakteristik küp dayanımı N / mm²
C 8 / 10	8	10
C 12 / 15	12	15
C 16 / 20	16	20
C 20 / 25	20	25
C 25 / 30	25	30
C 30 / 37	30	37
C 35 / 45	35	45
C 40 / 50	40	50
C 45 / 55	45	55
C 50 / 60	50	60
C 55 / 67	55	67

2.11.2. Çekme dayanımı

Beton gevrek bir malzeme olduğu için çekme gerilimi küçüktür. Bu değer basınç dayanımının yaklaşık %8-14'ü kadardır. Betonarme hesaplarında betonun çekme gerilmesi olmadığı varsayılmakla birlikte, betonun çekme gerilmesi 15-25 kg/cm² arasında değişmektedir (Gürsu ve Öztapak, 1990).

2.11.3. Rötne

Beton döküldükten sonra sertleşme tamamlanana kadar ölçüler mm/m oranında küçülür. Bu duruma büzülme denir. Bir yapıda farklı rötne oranlarına ve miktarlarına sahip malzemelerin aynı anda kullanılması çatlaklara ve sıva dökülmesine neden olabilir. Büzülme miktarı, agreganın mekanik mukavemetine, inceliğine ve çimento içeriğine bağlıdır. Normal betonun büzülmesi 0,6 mm/m'den azdır; genişmiş kil ve şist betonda 1 mm/m'den azdır; betonda sünger taşı ve genişleştirilmiş yüksek fırın cürufu içeriği yaklaşık 0,5-1,5 mm/m'dir (Urhan, 1993). Büzülme oranını azaltmak için çimento miktarı çok fazla olmamalı, karışım suyu miktarı azaltılmalı, beton yoğunluğu artırılmalı ve taze betonun ilk günkü nemli ortamda korunması sağlanmalıdır (Bayazıt, 1988).

2.12. Beton Sınıfları ve Dayanımları

2.12.1. Beton sınıfları

Beton basınç dayanımı, TS 802: 2009 standardına göre 28 gün süreyle küre tabii tutulmuş, çapı 150 mm ve yüksekliği 300mm olan standart beton silindir numunenin veya bir kenarı 150 mm olan beton küp numunenin, ilgili standarda göre belirli bir yükleme hızında uygulanan tek eksenli basınç yükü altında taşıyabildiği en büyük gerilme değeridir (TS 802: 2009). Bu tanımdan yola çıkarak taze beton sınıfları ve özellikleri Çizelge 2.6 'da verilmiştir

Çizelge 2.6. Taze beton sınıfları ve özellikleri

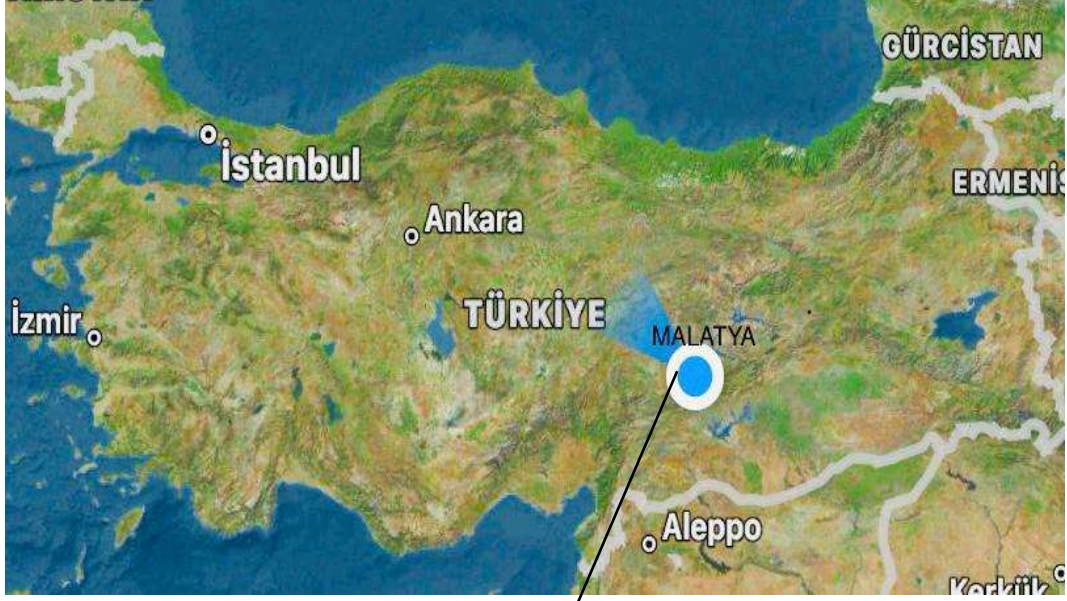
Beton sınıfı	Özellikleri
C25	C25 betonun, 1 santimetre karesi 250 kilogram yük taşıma kapasitesine sahiptir. Daha çok maliyeti düşürebilmek adına kullanılan C20 ve C25 betonların yapılarda güvenliği, dayanıklılığı sağlamaktan uzak olduğunu söylemek mümkündür.
C30	C30 betonun 1 santimetrekaresi 300 kilogram yük taşıyabilecek kapasiteye sahiptir ve özellikle deprem bölgelerinde yapılacak inşaatın betonunun en az C30 olması gerekir.
C35	C35 beton sınıfı, günümüzde kullanılan en dayanıklı betonlardandır. C35 betonun 1 santimetrekaresi 325 kiloluk yüke dayanabilecek şekildedir. C35 beton ile yapılan binalar, depreme ve diğer doğal ya da yapay olumsuzluklara, felaketlere dayanma gücü en yüksek yapılardandır.
C40	C40 beton en dayanıklı beton türleri arasındadır. Deprem gibi doğal afetlere karşı dayanıklı olan C40 beton, yüksek dayanımlı beton çeşididir

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Çalışma Sahası

Bu tez çalışmasında, Malatya ili –Yeşilyurt ilçesinde bulunan kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı kökenli kayalardan 30*30*30 cm³ boyutlarında blok numuneler ile aynı ocaklara ait kayalardan agrega üretimi gerçekleştiren konkasör tesislerinden sınıflandırılmış agregalar alınarak yapılacak deneyler için uygun miktar ve boyutlarda numuneler hazırlanmıştır. Sahalardan numuneler alınırken sahayı tam anlamıyla tanımlayacak özellikte ve blok verebilen konumlardan örneklenmesine özen gösterilmiştir.

Çalışma sahası Malatya ili Yeşilyurt ilçesine bağlı, Gözene köyü, Orta Oluklu mevkiinde yer almakta olup, ocak alanına ulaşım Doğanşehir yolu Örnek Köyün bitiminden Oluklu yolu üzerinde 6 km uzunluğundaki asfalt yolla sağlanmaktadır. Çalışılan kayalar için kireçtaşı sahasının temsili koordinatları x: 4228618 y: 416507, dolomit sahasının temsili koordinatları x: 4222872 y: 410240 olarak alınmıştır. Şekil 3.1’de agregaların alındığı ocaklara ait yer bulduru haritası ve ocak görüntüleri verilmiştir



Kireçtaşı ocağı

Dolomit ocağı

Şekil 3.1. Numunelerin alındığı agrega ocaklarından görünüm

Blok numunelerden kaya özelliklerini belirlemek için karot numuneleri alınmış ve deneyler için standartlarda belirtilen şekilde boyutlandırılmıştır. Numunelerin mineralojik bileşimleri İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Laboratuvarında Rigaku marka cihazla yapılan XRD analizleri gerçekleştirilerek belirlenmiştir. İnönü Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarında agrega ve kayaların özellikleri tayin edilmiştir. Daha sonra ise belirlenen agreganın özelliklerine bakılarak beton tasarımı yapılmıştır. Malatya ili Yeşilyurt ilçesinde hizmet grupları sitesinde faaliyet gösteren Çınarlar Hazır Beton A.Ş.' ye ait laboratuvarında agregalar kullanılarak katkı ve katkısız C30, C35, C40 C45 dayanımlarında beton numuneler üretilmiş ve numuneler üzerinde beton deneyleri gerçekleştirilmiştir. Agregaların özellikleri ile beraber katkı ve çimentonun beton dayanımı üzerinde ne derece etki sağladığı da araştırılmıştır. Türk Standartları kaynak alınarak deney sonuçları yorumlanmıştır.

3.1.1. Örnek hazırlama

Araziden alınan blok numuneler ile kayaların mühendislik özelliklerini belirlemek için kaya mekaniği testleri, yine aynı birimlerde faaliyet gösteren kırmataş ocaklarından temin edilen örnekler ile agrega testleri gerçekleştirilmiştir.

Deneyler için alınan blok örneklerinin araziden laboratuvara getirilmesi ve deneylere hazır hale getirilmesi sırasında, TS EN 1467 ve TS 2513 referans olarak alınmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlarına negatif yönde tesir edecek durumlardan kaçınılmıştır (TS 2513, 1977; TS EN 1467).

Blok numunelerden laboratuvarında karot alma makinesiyle örnekler alınarak boy/çap (L/D) oranı, yapılacak olan deneyin ilgili standardında belirtilen şekilde ayarlanmıştır. Alınan karotların uçları karot kesme ve düzeltme makinası ile düzeltilmiştir. Şekil 3.2 (a-d)'de ki gibi hazırlanan karot örnekleri ile kuru, doğal, doygun birim hacim ağırlığı, porozite, ağırlıkça-hacimce su emme gibi fiziksel özellikleri belirlemeye yönelik testler ile tek eksenli basma dayanımı, Brazilian (dolaylı yoldan) çekme dayanımı, Schmidt çekici sertliği ve ultrasonik hız tayini deneyleri yapılmıştır.



a



b



c



d

Şekil 3.2. Karot alma makinası, karot ucu kesme ve düzeltme makinesi ile alınan karotlar a: karot alma makinesi, b: karot ucu kesme ve düzeltme makinesi, c: hazırlanan değişik boyutlu karot numuneleri, d: araziden getirilen blok numuneler

Numunelerin porozite, doygun, doğal ve kuru birim hacim ağırlıklarını ayrıca hacimce su emme gibi fiziksel özelliklerini tayin etmek için boy/çap oranı 2 ile 2,5 arasında olan 5'er adet karot örneği alınmış, uçları düzeltilmiştir.

3.1.2. Kullanılan araç ve gereçler

Yapılan kaya mekaniği deneylerinde kullanılan örneklerin hazırlanmasında karot alma makinesi, alınan karotların ebatlanması ve düzeltilmesinde karot ucu kesme ve düzeltmeye

yarayan ELE marka cihaz ve boyut sınıflandırması için kumpas kullanılmıştır. Kaya mekaniği deneylerinde Nüve FN500 marka etüv, kumpas, uygun büyüklükte 2 adet desikatör, hassas ölçümler için 3000 gr kapasiteli Radwak marka hassas terazi ile sertlik ölçümlerinde ise L tipi Schmidt çekici ve V yatak kullanılmıştır. Numunelerin tek eksenli basınç dayanımları ile Brazilian dolaylı çekme dayanımları ELE marka 300 ton kapasiteli pres ve (Brazilian) dayanımı test aparatı kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca nokta yükleme dayanımı test cihazı ve ultrasonik hız tayini cihazı (PUNDIT) kullanılmıştır. Agregada deneylerinin gerçekleştirilmesinde agregada standart elek seti, Nüve marka etüv, metilen mavisi deney düzeneği, uygun büyüklükte 3 adet kap, 0.2 mm göz açıklığına sahip çelik test markalı elek, XRD danielizleri Rigaku Rab-DMax X-Işını Difraktometresi ile kimyasal analizler ise XEPOS marka XRF makinası ile yapılmıştır.

3.1.3. Çalışılan agregaların XRF analizi

Çalışılan agregaların kimyasal içeriklerini belirlemek için örnekler, Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğal taş Analiz Laboratuvarında XEPOS marka XRF makinası ile XRF analizine tabii tutulmuştur. XRF analizi sonucu elde edilen oksit değerleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1.Çalışılan Dolomit örneğinin XRF analiz sonucu

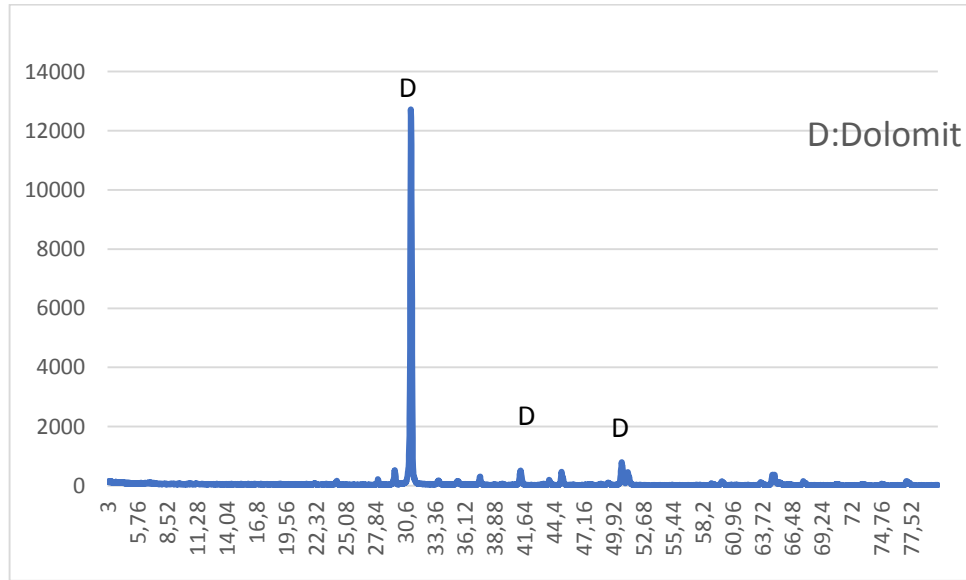
Oksit	%
Na ₂ O	0,01
MgO	15,06
Al ₂ O ₃	0,18
SiO ₂	0,38
P ₂ O ₅	0,01
SO ₃	0,01
Cl	0,005
K ₂ O	0,009
CaO	36,43
Cr ₂ O ₃	0,01
MnO	0,01
Fe ₂ O ₃	0,11
SrO	0,01
Kızdırma Kaybı	47,76

Çizelge 3.2. Çalışılan kireçtaşı örneğinin XRF analiz sonucu

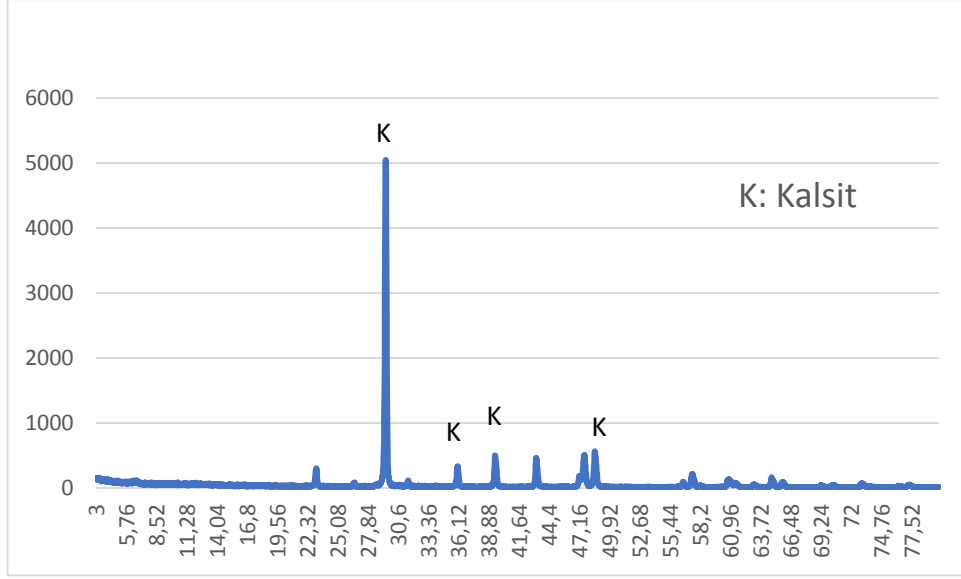
Oksit	%
Na ₂ O	0,02
MgO	0,33
Al ₂ O ₃	0,19
SiO ₂	0,41
P ₂ O ₅	0,01
SO ₃	0,03
Cl	0,004
K ₂ O	0,01
CaO	54,57
Cr ₂ O ₃	0,01
MnO	0,01
Fe ₂ O ₃	0,09
CuO	0,02
ZnO	0,01
SrO	0,02
Kızdırma Kaybı	44,25

3.1.4. Çalışılan agregaların XRD analizi

Çalışılan agrega örneklerinin mineralojik bileşimlerini belirlemek için örnekler İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknik Araştırma Laboratuvarında XRD analizine tabii tutulmuştur. Analiz sonuçları Şekil 3.3 ve 3.4 'de grafikler halinde gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Dolomit XRD sonuçları



Şekil 3.4. Kireçtaşı XRD sonuçları

Şekil 3.3 ve 3.4'e göre Gözene formasyonundan alınan agreganın ana bileşeninin kalsit minerali, Doğanşehir formasyonundan alınan agreganın ana bileşeninin ise dolomit minerali olduğu görülmüştür.

3.2. Kayaçların Fiziko-mekanik Özelliklerini Belirlemek İçin Yapılan Deneyler

3.2.1. Birim hacim ağırlık deneyi

TS 699'da belirtilen yöntemle göre numunelerin birim hacim ağırlığı belirlenmiştir. (TS 699, 2009). Deney için düzgün geometriye sahip 5 adet silindirik şekilli karot numunesi, karot alma makinesi ile ana bloktan çıkartılmış ve uçları karot kesme ve düzeltme makinesi ile düzeltilmiştir. Örneklerin boyutlarının düzgün olması için boylarının (L) ve çaplarının (D) ölçüleceği eksenler V yatak kullanılarak çizilmiş, boyları 4 yerden, çapları 6 yerden kumpas ile 0.1 mm hassasiyette ölçülerek ortalamaları alınmıştır. Örneklerin hacimleri Eşitlik 3.1'deki formül ile hesaplanmıştır.

$$BHA_g = \frac{W_s - W_i}{V} \quad (3.1)$$

Hazırlanan deney numuneleri birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla hassas terazi kullanılarak tartılmış tartım sonuçları kaydedilmiştir, sonrasında $105 \pm 5^\circ\text{C}$ etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulurken nem almaması için desikatörlere yerleştirilmiş ve bekletilmiştir. Soğuma işlemi tamamlanmış numuneler hassas terazi ile tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Numuneler, bir kap içerisine oda sıcaklığında olacak şekilde ($20 \pm$

5 °C) numune boyutunun yarısına gelinceye kadar su doldurulup önce 1 saat, daha suda bekletildikten sonra numune boyutlarının $\frac{3}{4}$ 'ü su içinde kalacak şekilde su ekleyerek 1 saat daha suda bekletilmiştir. Süre bitiminde örnek boyutunun en az 2 cm üzerinde kalacak şekilde su ilave edilmiş ve numuneler değişmez kütleye gelinceye kadar suda bekletilmeye devam edilmiştir. Suya doymun hale getirilen numunelerin üzerindeki su damlaları nemli bir bezle alındıktan sonra, hassas terazi kullanılarak tartımları yapılmış ve doymun ağırlıkları saptanmıştır. Doymun birim hacim ağırlıkları Eşitlik 3.2 ile, doğal birim hacim ağırlıkları eşitlik 3.3 ile, kuru birim hacim ağırlıkları eşitlik 3.4'deki formüllerle hesaplanmıştır.

$$d_d = \frac{\text{Doymun Ağırlık} \cdot g}{V} \quad (3.2)$$

$$d_{doğ} = \frac{\text{Doğal Ağırlık} \cdot g}{V} \quad (3.3)$$

$$d_k = \frac{\text{Kuru Ağırlık} \cdot g}{V} \quad (3.4)$$

Burada;

d_d : Doymun birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

$d_{doğ}$: Doğal birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

d_k : Kuru birim hacim ağırlık (kN/m^3)

V: Hacim (cm^3)

g: Yerçekimi ivme sabiti ($9.81 \text{ m}/\text{s}^2$)

3.2.2. Ağırlıkça ve hacimce su emme

Kayaçların su emme miktarı, kayaçların su emme özelliğine bağlı olarak boşlukların alabileceği maksimum miktardır. Kaya kütlesi içerisinde bulunan çatlaklar, boşluklar ve kayacın gözenekli yapısı dayanımı oldukça azaltmaktadır. Açık uçlu boşluklu yapıların su emme ve su geçirme özelliği fazla kapalı uçlu boşluklu yapıların ise azdır. Kayaçların ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri TS 699 standardında tanımlanan yöntemle göre belirlenmiştir. Birim hacim ağırlığı deneyindeki muameleye tabii tutulan örneklerin ağırlıkça ve hacimce su emme oranları Eşitlik 3.5 ve 3.6 ya göre hesaplanmıştır.

$$S_k = \frac{d_d - d_k}{d_k} \times 100 \quad (3.5)$$

$$S_h = \frac{d_d - d_k}{V} \times 100 \quad (3.6)$$

S_k : Numunenin kütlece su emme oranı (%)

S_h : Numunenin hacimce su emme oranı (%)

d_d : Numunenin doygun haldeki ağırlığı (gr)

d_k : Değişmez kütleye kadar kurutulmuş numunenin ağırlığı (gr)

3.2.3. Schmidt çekici sertlik indeksi tayini

Örneklerin Schmidt çekici sertlikleri ISRM 2007' de tanımlanan yöntemle göre belirlenmiştir (ISRM 2007). Schmidt çekici kayaçların sertliğini belirlemek için kullanılan sertlik testlerinden en yaygın olanıdır. L ve N tipi Schmidt çekici olmak üzere iki tip sertlik ölçme cihazı bulunmaktadır. Kayaç sertliği belirlemede N tipi sertlik cihazı kullanılmaktadır. Schmidt çekici silindirik kaplı bir kutu içinde bulunan yay, çekiç ve çekici kurma düzeneğinden oluşmaktadır. Cihazda bulunan yay vasıtasıyla kurulan çelik uç kayaç yüzeyi üzerinde zıplatılarak okuma yapılır ve Schmidt indeksi olarak tanımlanır. Çalışılan kayaç örneklerinin Schmidt çekici sertlik değerleri ISRM 2007 de tanımlanan yöntemle göre yapılmış olup ölçümler numune üzerinde 20 değişik noktadan alınarak kaydedilmiştir. En düşük 10 okuma değeri atılarak en yüksek 10 değer aritmetik ortalaması alınmıştır ve sertlik değeri hesaplanmıştır. Çizelge 3.3 de ISRM 1978 tarafından önerilen kayaçların Schmidt sertlik sınıflaması ve Şekil 3.5'de Schmidt sertlik cihazının görüntüsü verilmiştir (ISRM, 1978).

Çizelge 3.3. ISRM 1978'e göre kayaçların Schmidt sertlik değerlerine göre sınıflandırılması

Schmidt çekici değerleri	Kaya sertlik tanımı
0-10	Yumuşak
11-20	Az yumuşak
21-40	Az sert
41-50	Sert
51-60	Oldukça sert
>60	Çok sert



Şekil 3.5. Schmidt çekiçi

Deneyde dolomit ve kireçtaşı kayaçlarından alınan karotlar kullanılmıştır. Çekiç numune yüzeyine dik olarak bastırılmış ve yaydan gelen geri tepme sesi ile birlikte sabitleme tuşuna basılarak sertlik değeri belirlenmiştir. Ölçümler numune üzerinde 20 değişik noktadan alınarak kaydedilmiştir. En düşük 10 okuma değeri atılarak en yüksek 10 değer aritmetik ortalaması alınmıştır ve sertlik değeri hesaplanmıştır.

3.2.4. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Örneklerin tek eksenli basınç dayanımları ISRM 1978 standardında belirlenen yöntemle yapılmıştır (ISRM 1978 a). Araziden alınan blok numunelerden karot alma makinesi ile NX (54 mm çaplı) karotiyer kullanılarak karot numuneleri alınmış daha sonra L/D oranı 2-2,5 arasında olacak şekilde uçları kesilip düzeltilerek deneyde kullanılabilir duruma getirilmiştir. Örneklerin boyları 4 ve çapları 6 noktadan olacak şekilde 0,1 mm hassasiyetle ölçülerek ortalama çap ve boyları alınmıştır. Basınç uygulanacak numune yüzeylerinin alanları hesaplanmıştır. Deney, ELE 3000 marka tek eksenli basınç dayanımı presi ile yapılmış olup presin uygulayacağı yükleme hızı 0,5 MPa/s olacak şekilde ayarlandıktan sonra deney numunesi kırılıncaya kadar sabit yükleme hızı uygulanmıştır. Deney numunesi kırıldığı anda üzerine etki etmiş olan en büyük yük, presin göstergesinden okunarak kaydedilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı Eşitlik 3.7 ile hesaplanmıştır.

$$f_b = \frac{P_k}{A} \quad (3.7)$$

f_b : Numunenin basınç dayanımı (MPa)

P_k : Kırılmaya neden olan en büyük yük (kN)

A: Numunenin yük uygulanan yüzeyinin alanı (cm²)

Şekil 3.6'da tek eksenli basma dayanımı deneyinde kullanılan prese ait bir görüntü verilmiştir.



Şekil 3.6. Tek eksenli basınç dayanımı test presi

3.2.5. Ultrases geçirgenlik hızı deneyi

Çalışılan kayaç örneklerinin ultrasonik dalga hızları tayini, TS EN 12504-4 standardına göre yapılmıştır (TS EN 12504-4; 2021). Deneyde Proceq marka ultrasonik hız ölçüm cihazı kullanılmıştır. Boyuna dalga hızlarını belirlerken 54 kHz lik piezoelektriksel özellikte alıcı-verici transdüserler, enine dalga hızlarını belirlemek için ise 1 mHz lik alıcı-verici transdüserler kullanılmıştır. Deneyin uygulama prosedüründe verici transdüserler üretilen elektriksel sinyal mekanik titreşime dönüştürülerek numuneye gönderilmekte, numune içinden geçen sinyal karşı taraftaki alıcı transdüserler tarafından kaydedilmektedir. Ultrasonik geçiş hızı numune içinde sinyalin yayılım hızının ölçülmesi ile belirlenmektedir. Deneyde her bir kaya biriminden üç farklı numune kullanılmış yapılan ölçümlerin ortalamaları alınmıştır. Ultrasonik dalga hızı değerleri Eşitlik 3.8'de verilen formül ile belirlenmiştir. Şekil 3.7'de ultrases geçirgenlik hızı cihazı ölçümüne ait bir görüntü verilmiştir.

$$V = L / T$$

(3.8)

V: Ultrases geçirgenlik dalga yayılma hızı, km/s

L: Mesafe, silindirik deney örneğinin boyu, mm

T: Transdüserler arası ölçülen iletim süresi, μ s



Şekil 3.7. Ultrases geçirgenlik hızı cihazı

3.2.6. Dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian)deneyi

Bu deney TS 7654 'de tanımlanan yönteme göre yapılmış olup boy/çap oranı 0,5 olan 10 adet disk numune ile yapılmıştır. Numunelerin boy ve çapları 0,1 mm hassasiyetle ölçülmüş ve doygun hale gelene kadar suda bekletilmiştir. Doygun haldeki numuneler Brazilian test aparatına karot eksenine dik yönde yerleştirilmiştir. Brazilian aparatı, tek eksenli basınç dayanımı test cihazına yerleştirilerek 15-30 sn'de kırılacak şekilde yükleme yapılmıştır. Deneyde yükün artması ile birlikte yatay çekme gerilmelerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Yatay ekme gerilmesi değeri numunenin çekme dayanımı değerini aştığında kırılma gerçekleşmiştir. Kırılma yükü değeri cihaz ekranından okunarak kaydedilmiştir. Şekil 3.8 (a-b) 'de Brazilian deneyin uygulanması ve deneye tabii tutulan numuneler gösterilmiştir.

Numunenin dolaylı yoldan çekme dayanımı eşitlik 3.9 ile hesaplanmıştır.

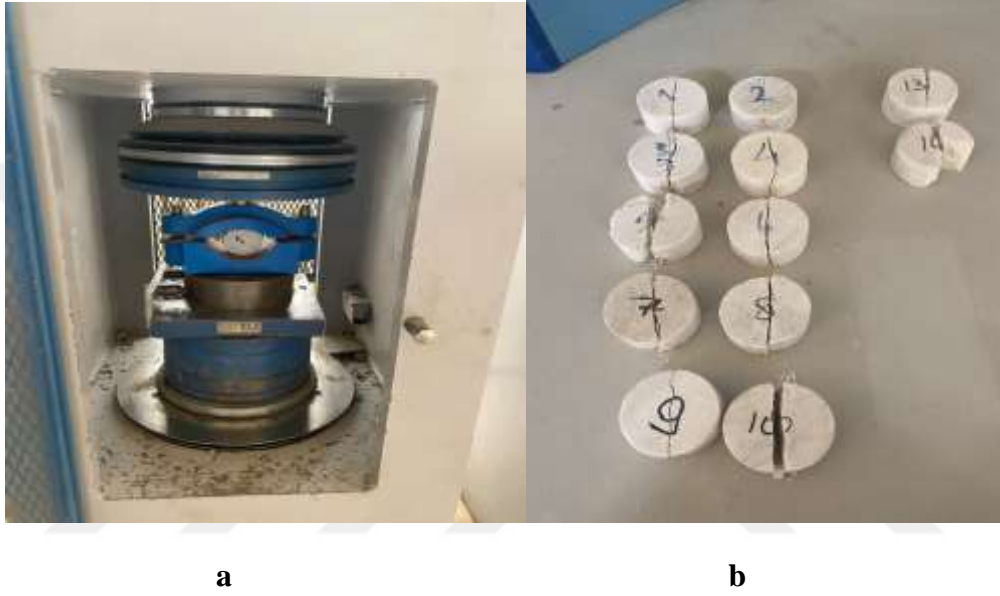
$$\zeta = \frac{0.636 * P_k}{D * t} \quad (3.9)$$

ζ : Numunenin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Mpa)

P_k : Kırılma anında numuneye uygulanan maksimum yük (kN)

D : Numunenin çapı (mm)

t : Numunenin kalınlığı (mm)



Şekil 3.8. Brazilian deneyine ait görüntüler a: Brazilian deneyinin uygulanması
b: Deneye tabii tutulan numuneler

3.3. Agrega Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler

3.3.1. Agrega tane büyüklüğü dağılımı (elek analizi)

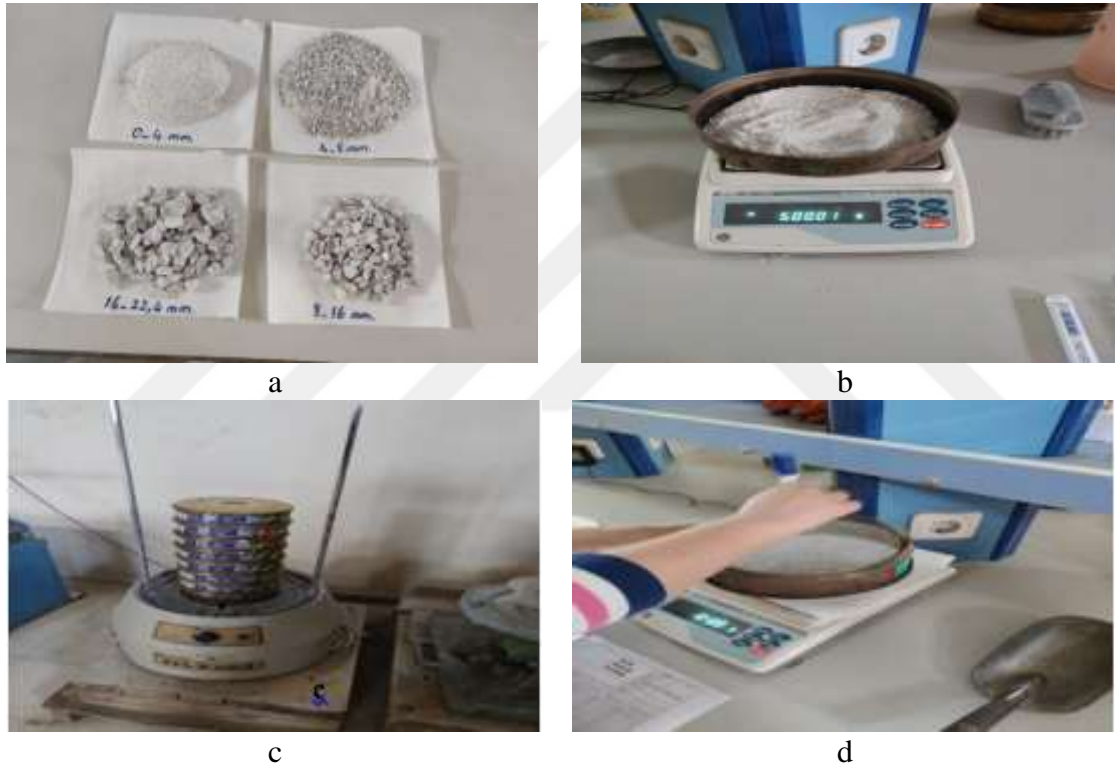
Bu deneyin amacı ince ve iri agregaların tane büyüklüğü dağılımlarının (granülometri) belirlenmesidir. TS EN 933-1 standardında tavsiye edilen yöntemle gerçekleştirilen deneyde, 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm, 16-22.4 mm tane boyutu aralığındaki agrega yığınlarından alınan numuneler kullanılmıştır. Her tane boyut aralığı için ayrı ayrı analiz yapılmıştır. Standartta belirtilen 22,4 – 16 – 8 – 4 – 2 – 1 - 0,5 - 0,25 - 0,15 - 0,063 mm açıklığında ki elekler kullanılmıştır.

Elekler titreşimli elek cihazının üzerinde elek açıklıkları alta doğru azalacak şekilde sıralanmıştır. Etüvde nemi uzaklaştırılmış olan yaklaşık 500 gr numune en üstteki eleğe

boşaltılarak eleme işlemi başlatılmıştır. 5-10 dakika aralığında gerçekleştirilen eleme işlemi sonucunda eleklerin üzerinde kalan malzeme hassas terazi ile tartılarak not edilmiş ve elek analizi tabloları oluşturulmuştur.

Toplam kümülatif ağırlık deney sonunda dikkate alınarak her elek üzerinde kalan kümülatif miktarlar toplam ağırlığa bölünmüş, elekler üzerinde kalan agregalar yüzdesel olarak ifade edilmiştir.

Şekil 3.9 (a-d) 'de numunelerin elek analizine hazırlanması ve elek analizi yapılmasına ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 3.9. Elek analizi deneyi görüntüleri a : boyutlarına göre numuneler b: numunelerin tartım aşaması c: numunelerin titreşimli elekten geçirilmesi d : titreşimli elekten geçen numunelerin tartımı

3.3.2.İnce madde oranı tayini (metilen mavisi deneyi)

Metilen mavisi deneyi agreganın kil içeriğine bağlı olarak agreganın kirlilik oranını belirlemek amacı ile yapılmıştır. TS EN 933-9:2010 standardında belirtilen yöntem kullanılarak yapılan deneyde 0-2 mm tane büyüklüğüne sahip yaklaşık 200 gr agregaya kullanılmıştır. 500 gr saf su ile agregaya numunesi beher içerisinde 600 devir/dk hızla 5 dk süre ile karıştırıldıktan sonra karışıma 10 gr/l metilen mavisi çözeltisinden 5 ml kadar

eklenmiştir. Beherde ki malzeme 400 devir/dk hızla 1 dk daha karıştırıldıktan sonra süzgeç kağıdı üzerine karışımdan bir damla damlatılmıştır ve leke oluşumu gözlemlenmiştir. Süzgeç kağıdı üzerinde hale belirmemesi durumunda karışıma 5 ml daha metilen mavisi çözeltisi ilave edilerek 1 dk daha karıştırılmıştır. Süzgeç kağıdı üzerinde haleler belirene dek çözelti ilavesine devam edilmiştir. Deney sonucunda eklenen çözeltinin toplam hacmi hesaplanarak eşitlik 3.10 ile agreganın metilen mavisi değeri belirlenmiştir. Şekil 3.10 (a-d) metilen mavisi deney aşamaları gösterilmiştir (Yamacı, 2022).

$$MB = \left(\frac{V_1}{M_1}\right)*10 \quad (3.10)$$

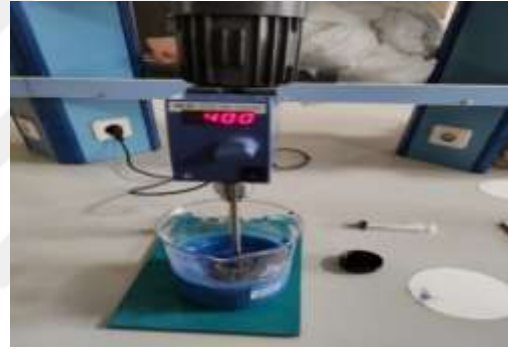
M_1 : Deneysel numunesi kütlesi (gr)

V_1 : ilave edilen mavi çözeltinin toplam hacmi

MB: kullanılan metilen mavisi miktarı



a



b



c



d

Şekil 3.10. Metilen mavisi deney yapılışı a: Numunelerin hazırlanması b Metilen mavisi çözeltisinin hazırlanması c: Numunelerin 600 devir/dk da karıştırılması d : Süzgeç kağıdına numune bırakılması

3.3.3. Agregas özgül ağırlık deneyi

Agregaların tane yoğunlukları TS EN 1097-6:2013 standardında belirtilen yöntem ile tayin edilmiştir. 500 gr agregas (16-22.4mm tane boyutlu) tavanın içerisine boşaltılmıştır ve üzeri su ile doldurulmuştur. 24 saat su içerisinde bekleyen agreganın suyu süzöldükten sonra bir havlu üzerine serilmiş ve hafif şekilde yüzeyinde ki ıslaklıklar alınmıştır. Daha sonra hassas terazi ile tartılıp sonuçlar not edilmiştir. Özgül ağırlığı bilinen bir cam kavanozun içine agregas boşaltılmıştır. Cam kavanoz ağzına kadar su ile doldurulmuştur ve kabarcıklar oluşmamasına dikkat edilmiştir. Son olarak yüzeyi cam ile sıyrılmış ve kapatılarak tartılmıştır. Şekil 3.11(a-f)'de agregas özgül ağırlık deneyinin yapılışına ait görüntüler verilmiştir.

Agregaların doygun kuru yüzey özgül ağırlıkları eşitlik 3.11 ile hesaplanmıştır.

$$\rho = \frac{W_1}{W_2+W_4-W_3} \quad (3.11)$$

Burada;

W1: Kuru ağırlığı (gr)

W2: Doygun kuru yüzey ağırlığı (gr)

W3: Ölçü kabı, su ve deney numunesi toplam ağırlığı

W4: Ölçü kabı ile birlikte ağırlığı (gr)



Şekil 3.11. Agrega özgül ağırlık deneyinin yapılışı. a: deneye tabii tutulan numuneler, b:yüzey kurulama işlemi, c: Kurulanan örneklerin tartımı, d: cam kavanozda numuneler, e: cam ile kapatılan numune kavanozu, f: cam kavanozla birlikte tartılan numuneler

3.3.4. Agrega nem içeriği deneyi

Bu deney TS EN 1097-6:2013 standardına göre yapılmıştır. Agrega sahasından alınan 0-4 / 0-8 mm boyutlu numuneler hassas terazide tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra alınan numune 105 °C'lik etüvde 24 saat bekletilmiş ve tekrar tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir . Nemli ve kuru malzeme arasında ki farkın yüzdesi alınarak nem içeriği belirlenmiştir. Agrega örneklerinin nem içeriği eşitlik 3.12'ye göre hesaplanmıştır.

$$WA = \frac{100*(M1-M2)}{M2} \quad (3.12)$$

Burada;

WA: Agreganın yüzey nemi oranı (%)

M₁: Deney numunesi deney başlangıcındaki ağırlığı (gr)

M_2 : Deney numunesinin doymun kuru yüzey halindeki ağırlığı (gr)

Şekil 3.12 (a-b) 'de agrega nem içeriği deneyine hazırlık ve deneyin yapım aşamalarına ait görüntüler verilmiştir.



a



b

Şekil 3.12. Agrega nem içeriği deneyi. a: sahadan numune alınması, b: deneyin gerçekleştirilmesi

3.3.5. Agrega yassılık endeksi tayini

Yassılık endeksi deneyi TS EN 933-3:2012 standardında tanımlanan yöntemle yapılmıştır. Deney için 10-14 mm arası tane boyutuna sahip yaklaşık 1000'er gr 2 ayrı numune tartılarak ağırlığı M_1 olarak not edilmiştir. TS EN 933-3:2012 standardında belirtildiği üzere kullanılacak tane boyutunun en büyük değerinin yarısı kadar açıklıkta çubuk aralıklı elek kullanılmıştır. En büyük tane boyutu 14 mm olarak belirlenen numuneler 7 mm açıklıklı eleklerde tek tek muamele edilmiştir. Elek altına geçen ve elek üstünde kalan malzemeler ayrı ayrı tepsilere koyularak elek altı malzeme hassas terazide tartılmış ve ağırlığı M_2 olarak kaydedilmiştir (TS EN 933-3:2012). Agrega yassılık endeksi eşitlik 3.13 ile hesaplanmaktadır.

$$FI = \frac{M_2}{M_1} * 100 \quad (3.13)$$

M_1 : Deneye tabi tutulan numunenin kütlesi, (gr)

M_2 : Elek altına geçen malzemenin kütlesi, (gr)

3.3.6. Los Angeles aşınma dayanımı deneyi

Bu deney, agreganın darbeli aşınmaya karşı direncini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Özellikle havaalanı pistleri, karayolu kaplamaları, kaldırım örtü ve bina içi parkeleri gibi dinamik zorlamalı ortamlarda agregalar betonun aşınması açısından büyük önem taşımaktadır. Beton yüzeyinin darbeye maruz kalacağı durumlarda kullanılacak betonların, dayanıklı agregalarla yapılmış olması istenmektedir. Agregaların dayanımı belirlemek amacıyla yaygın ismiyle “Los Angeles Deneyi “ uygulanmaktadır. Los Angeles deneyi, iri agregaların tamburda çelik bilyeler ile dönmesi sonucu, 1,6 mm açıklıklı elekte kalan malzemenin yüzde miktarını belirlemek için kullanılan bir yöntemdir (Ağırtaş, 2009).

Bu deneyde, ayrı ayrı kireçtaşı ve dolomit numuneleri 10-14 mm tane boyutunda elendikten sonra yıkanarak 105°C etüvde 24 saat bekletilmiştir. TS EN 1097-2:2010 standardında belirtildiği üzere 10-11,2 mm arası 2000 gr ve 11,2-14 mm arası 3000 gr olmak üzere toplamda 5000 gr ağırlığında 3 set numune hazırlanmıştır. Her bir numune grubu, U Test marka Los Angeles deney cihazına yüklenerek 12 adet bilye ile birlikte 33 devir/dk hızında 500 devir yapacak şekilde işleme tabi tutulmuştur. Deney sonucunda tamburun içinde ki malzeme, hemen altında ki tavaya dökülerek tambur boşaltılmıştır. Elde edilen malzeme, 1,6 mm göz açıklığı olan elekten yıkanarak elenmiş, sonucunda elek üzeri malzeme bir tepsiye aktarılarak etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan malzeme, hassas terazide tartılarak not edilmiştir. Los ALongeles değeri eşitlik 3.14'de verilen formülle hesaplanmıştır.

$$LA = \frac{5000-m}{50} \quad (3.14)$$

Burada;

LA:Los Angeles parçalanma direnci katsayısı

m: Deney sonunda 1,6 mm'lik elek üzerinde kalan malzemenin kütlesi,

Los Angeles deneyinin uygulanaşına ait görüntüler Şekil 3.13'de verilmiştir.



(a)

(b)

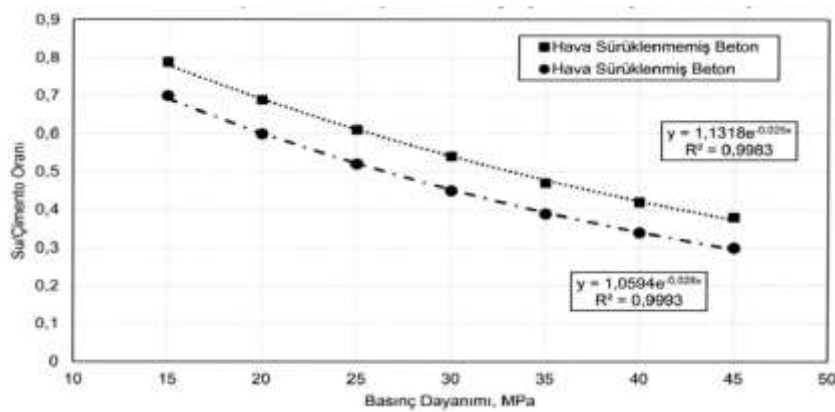
Şekil. 3.13. a: Los Angeles cihazına malzemenin beslenmesi b: Deney sonucunda alınan numune

3.4. Beton Karışımlarının Hazırlanması

3.4.1. Beton numunelerinin hazırlanması

Hazırlanmış olan kireçtaşı ve dolomit agregalarının özelliklerine göre TS 802:2009 ‘‘Beton Karışım Hesap Esasları’’ standardına uygun olarak C25/C30/C35/ ve C40 dayanım sınıflarında katkılı ve katkısız olmak üzere iki seri halinde taze beton karışımları hazırlanmıştır.

Beton tasarımına başlamadan önce su/çimento oranının ardından 1 m³ beton için kullanılacak karma suyunun miktarı belirlenmiştir. Su/çimento oranı TS 802:2009 standardında belirtilen ve Şekil 3.14’te verilen grafikden ve Çizelge 3.4’den yararlanılmıştır.

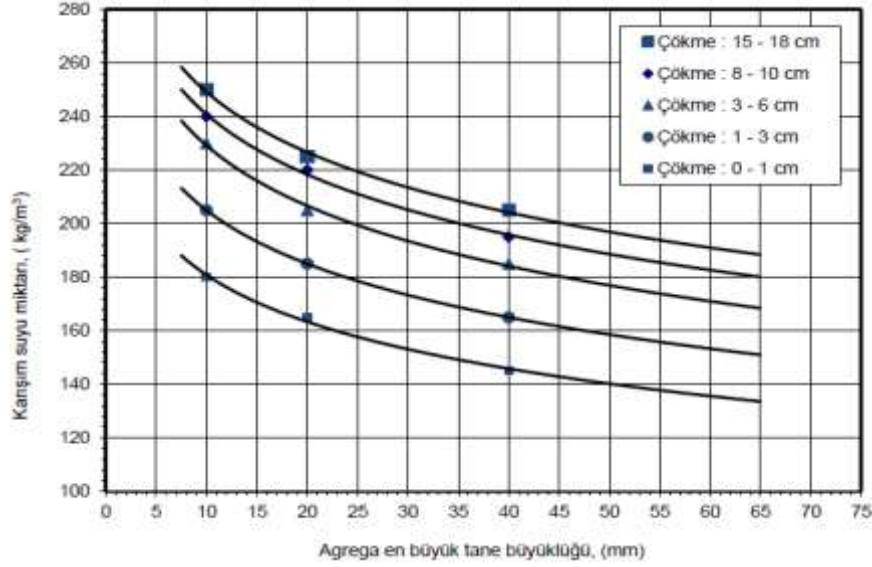


Şekil 3.14. Betonda su/çimento oranı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki

Çizelge 3.4. Çevre etkilerine göre beton tasarımında müsaade edilen su/çimento oranı ve çimento dozajları (TS 802:2009)

Etki sınıfı	Etkinin tipi	En büyük su/çimento oranı	En küçük dayanım sınıfı	En az çimento miktarı kg/m ³
X0	Korozyon veya zararlı etki tehlikesi yok	-	C 12/15 C 16/20	-
XC1	Karbonatlaşma nedeniyle korozyon	0,70	C 20/25	250
XC2		0,65	C 25/30	260
XC3		0,60	C 25/30	270
XC4		0,55	C 30/37	280
XS1	Deniz suyu etkisi (klorür etkisi)	0,55	C 30/37	300
XS2		0,50	C 35/45	320
XS3		0,45	C 35/45	320
XD1	Deniz suyu haricinde klorür	0,55	C 30/37	300
XD2		0,50	C 35/45	320
XD3		0,45	C 35/45	320
XF1	Donma/çözülme etkisi	0,60	C 25/30	280
XF2		0,55	C 25/30	300
XF3		0,50	C 25/30	300
XF4		0,50	C 30/37	320
XM1	Aşınma etkisi	0,55	C 30/37	300
XM2		0,55	C 30/37	320
XM3		0,45	C 35/45	320
XA1	Zararlı kimyasal ortam	0,60	C 25/30	280
XA2		0,50	C 35/45	320
XA3		0,45	C 35/45	320

Karışımda kullanılacak su miktarı da TS 802:2009 standardının önerdiği Şekil 4.15'e göre belirlenmiştir.



Şekil 3.15. Kırmataş agrega kullanılan farklı en büyük agrega tane büyüklüğü ve farklı çökme değerlerine sahip için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmemiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarları (TS 802:2009)

Bu seçimlerin ardından karışımda kullanılacak agrega miktarı Eşitlik 3.15 'a göre belirlenmiştir.

$$\frac{c}{\rho_c} + \frac{p}{\rho_p} + \frac{k}{\rho_k} + w + \frac{W_a}{\rho_a} + 10 * A = 1000 \text{ dm}^3 \quad (3.15)$$

Burada;

c : Karışıma girecek çimentonun kütlesi (kg) ,

p : Karışımda çimentoya ilâve olarak kullanılacak mineral katkı (puzolan) miktarı (kg) ,

k : Karışımda kullanılacak kimyasal katkı miktarı (kg) ,

ρ_c : Çimentonun yoğunluğu (kg/dm^3) ,

ρ_p : Mineral katkı (puzolan) malzemenin yoğunluğu (kg/dm^3) ,

ρ_k : Kimyasal katkının yoğunluğu (kg/dm^3) ,

w : Karışıma girecek suyun hacmi (dm^3) ,

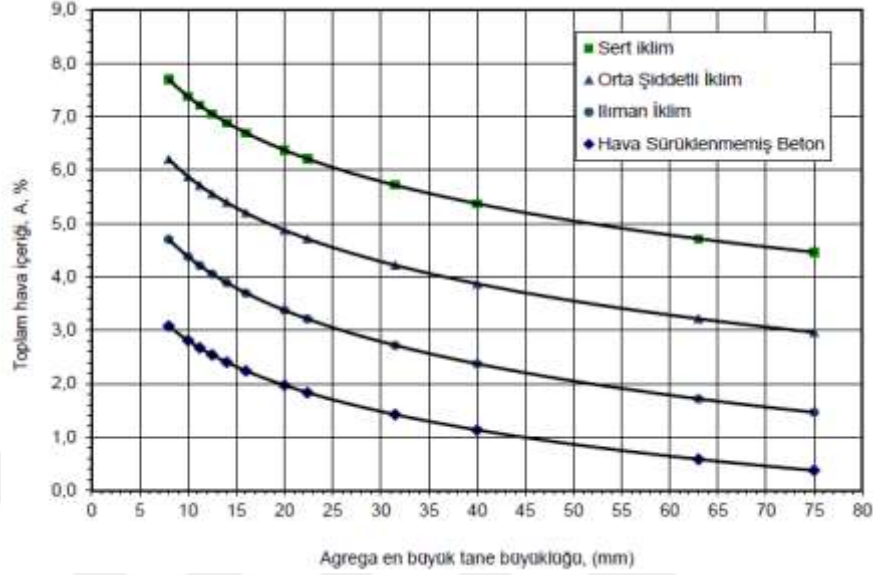
W_a : Karışıma girecek agreganın miktarı (kg) ,

ρ_a : Agreganın ortalama özgül kütlesi (gr/cm^3) veya (kg/dm^3) ,

A : Betondaki toplam hava miktarı (%) 'dır.

Beton tasarımında kullanılan agreganın doğru granülometride olması önem arz etmektedir.

Beton bünyesinde kullanılan agreganın tane büyüklüğüne göre beton karışımında kullanılacak hava miktarı Şekil 3.16' a göre belirlenmiştir.



Şekil 3.16. Agreganın en büyük tane büyüklüğüne ve iklim şartlarına bağlı olarak beton karışım hesabında kullanılacak toplam hava içerikleri (TS 802:2009)

Kireçtaşı ve dolomit agregaları ile 8 'er reçete oluşturulmuş, her reçete için 6 'şar adet $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ lük kübik numuneler üretilmiştir. Numunelerden 3 adedi 7 günlük su havuzu kürü sonunda, diğer 3 adedi ise 28 günlük kür süresinin sonunda tek eksenli basınç dayanımı deneyine tabii tutulmuştur. Deney sonunda toplam da katkılı ve katkısız olmak üzere 96 adet küp numune üretilmiştir. Katkılı betonların dökümünde CHRYSO Optima 283-16 marka katkı kullanılmıştır. Bu katkı maddesi yüksek oranda su azaltıcı, mukavemet artırıcı ve akışkanlaştırıcı özelliğe sahip olmakla beraber betonun rahat yerleşmesine ve boşluk kalmamasına yardımcı olmaktadır. Şekil 3.13 de kullanılan katkı maddesinin görüntüsü verilmiştir. CHRYSO Optima 283-16 marka katkı maddesinin görünümü sıvı, rengi kahverengi yoğunluğu $1,075 \pm 0,02 \text{ gr/cm}^3$ tür. pH değeri $4,50 \pm 1$, klörür içeriği $< \% 0,1$ oranındadır. Beton numunelerin üretiminde CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimento SEZA Çimento A.Ş den temin edilmiştir. Özgül ağırlığı $3,11 \text{ gr/cm}^3$ dür. Karışım suyu Malatya ili normal şebeke suyudur. Şekil 3.17 de kullanılan katkı maddelerinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil.3.17. Beton dökümünde kullanılan Chryso marka kimyasal katkı maddesi

3.4.2. Beton basınç dayanımı

Her dayanım sınıfı için hazırlanmış olan 3'er adet 15×15×15 cm³'lük kübik numuneler üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanımı deneyi TS EN 12930-3 standardında önerilen yöntemle uygulanmıştır. Numunelere Autotest 3000 marka tek eksenli basınç dayanımı cihazında 0,5 MPa/sn sabit yükleme hızıyla, numune kırılıncaya kadar sabit hızla yükleme yapılmıştır. Deney öncesinde basıncın uygulanacağı yüzey alanı (A) ise mm hassasiyetinde ölçülerek kaydedilmiştir. Kırılma sağlandığında okunan değer, en yüksek yük olarak kaydedilmiştir (F) ve tek eksenli basınç dayanımı değeri Eşitlik 3.16 ile hesaplanarak MPa cinsinden ifade edilmiştir.

$$f_c = F/A \quad (3.16)$$

Burada;

f_c : Basınç dayanımı, MPa (N/mm²)

F: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N

A: Üzerine basınç uygulanan alan, mm²'dir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Çalışılan Kayaçların Fiziko-mekanik Özelliklerini Belirlemek İçin Yapılan Deney Sonuçları

4.1.1. Birim hacim ağırlığı deneyi sonuçları

Çalışmada kullanılan kireçtaşı ve dolomit kayaçlarının doğal, doygun ve kuru birim hacim ağırlığı değerleri Çizelge 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kireçtaşı örneğinin doğal, doygun ve kuru birim hacim ağırlığı değerleri

Numune No	Doygun birim hacim ağırlığı (kN/mm ³)	Doğal birim hacim ağırlığı (kN/mm ³)	Kuru birim hacim ağırlığı (kN/mm ³)
K1	28,55	28,55	28,45
K2	26,30	26,30	26,30
K3	26,20	26,10	26,10
K4	26,51	26,49	26,49
K5	26,20	26,20	26,20
Ortalama± Std.Sapma	26,75 ± 1,01	26,73 ± 1,03	26,71 ± 0,98

Çizelge 4.2. Dolomit örneğinin doğal, doygun ve kuru birim hacim ağırlığı değerleri

Numune Nu	Doygun birim hacim ağırlık (kN/mm ³)	Doğal birim hacim ağırlık (kN/mm ³)	Kuru birim hacim ağırlık (kN/mm ³)
D1	27,57	27,47	27,47
D2	27,37	27,37	27,27
D3	27,57	27,57	27,57
D4	28,15	28,06	28,06
D5	27,66	27,57	27,57
Ortalama± Std.Sapma	27,66 ± 0,29	27,61 ± 0,27	27,59 ± 0,29

4.1.2. Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyi Sonuçları

Çalışılan kayaçların TS 699'a göre yapılan ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri Çizelge 4.3-4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.3.Kireçtaşı numunesi için ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri

Numune İsmi	Ağırlıkça Su Emme (%)	Hacimce Su Emme (%)
K1	0,05	0,13
K2	0,10	0,27
K3	0,10	0,26
K4	0,04	0,11
K5	0,05	0,12
Ortalama± Std.Sapma	0,07 ± 0,03	0,18 ± 0,08

Çizelge 4.4. Dolomit numunesinin ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri

Numune İsmi	Ağırlıkça Su Emme (%)	Hacimce Su Emme (%)
D1	0,33	0,94
D2	0,36	1,00
D3	0,26	0,74
D4	0,36	1,02
D5	0,33	0,93
Ortalama± Std.Sapma	0,33± 0,04	0,93± 0,11

Çizelge 4.3 ve 4.4 incelendiğinde dolomit agregasının su emme değerlerinin kireçtaşı agregasından daha yüksek olduğu görülmektedir. Agregaların su emme değeri betonun mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Su emme değeri yüksek olan agregada su ihtiyacını artırarak dayanımın azalmasına neden olmaktadır (Tuğrul ve Yılmaz., 2012). Fookes (1980) tarafından agregada olarak kullanılan kayaçlarda su emme değerinin %1.5 den küçük olması gerektiği vurgulanmış, Poitvein (1999) su emme değeri %2 den daha düşük olan kayaçların agregada olarak kullanıldığı betonlarda yüksek dayanım elde edilebileceğini belirtmiştir (Elçi vd., 2014).

4.1.3. Schmidt çekici sertlik indeksi tayini

Çalışılan kayaç örneklerinin ISRM 2007’de tanımlanan yönteme göre belirlenen Schmidt çekici sertlik deneyi sonucunda kireçtaşı ve dolomit kayaçlarında alınan okuma değerleri Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Schmidt çekici okuma değerleri

Kayaç türü	Ortalama değerleri	Ortalama
Kireçtaşı	38, 32, 31, 34, 34, 38, 32, 31, 34, 34	34
Dolomit	28, 30, 30, 30, 29, 28, 28, 28, 29, 29	29

Bu duruma göre kireçtaşının Schmidt sertlik değeri 34, dolomit numunesine ait değer ise 29 olarak hesaplanmıştır.

Çalışılan örneklerin Schmidt çekici sertlik değerleri ISRM 1978’e göre değerlendirildiğinde her iki kayacında “az sert” sınıfında yer aldığı görülmektedir.

4.1.4. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Çalışılan kayaçların ISRM 1978 standardına göre belirlenen tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Kireçtaşı numunelerine ait tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları

Numune No	Numune Çapı (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey alanı (mm ²)	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
1	54,50	95,7	2331,65	41,10
2	54,58	78,98	2338,50	33,78
3	54,43	62,50	2325,66	26,87
4	54,45	70,47	2327,37	30,26
5	54,48	68,75	2329,94	29,48
			Ortalama± Std.Sapma	32,39 ± 5,51

Çizelge 4.7. Dolomit numunelerine ait tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları

Numune no	Numune Çapı (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey alanı (mm ²)	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
1	54,60	55,70	2340,21	23,80
2	54,61	76,10	2341,07	32,51
3	54,68	59,92	2341,07	25,53
4	54,43	33,80	2325,66	14,53
5	54,68	57,00	2341,07	24,29
			Ortalama± Std.Sapma	24,13 ± 6,41

Kireçtaşı ve dolomit numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deney sonucunda kireçtaşı numuneleri için ortalama 32,39 MPa, dolomit numuneleri için ise ortalama 24,13 MPa basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Kireçtaşı örneğinin sertlik değeri de dolomit örneğinden daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuç tek eksenli basınç dayanımı deneyi ve Schmidt çekici sertlik deneyi sonucu ile örtüşmektedir.

4.1.5. Ultrases geçirgenlik hızı deneyi

TS EN 12504-4:2021 standardında belirtilen yönteme göre gerçekleştirilen ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları kireçtaşı numuneleri için Çizelge 4.8’de dolomit numuneleri için ise Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kireçtaşı numunelerine ait ultrases geçirgenlik hızı deneyi sonuçları

Numune no	Numune boyu (mm)	Ultrases geçiş süresi (T)	Ultrasonik hız(km/s)
1	133,41	24,40	34,4
2	131,82	23,80	27,9
3	136,24	24,80	23,9
			Ortalama± Std.Sapma : 28,73 ± 5,39

Çizelge 4.9. Dolomit numunelerine ait ultrases geçirgenlik hızı deneyi sonuçları

Numune no	Numune boyu (mm)	Ultrases geçiş Süresi (T)	Ultrasonik hız (km/s)
1	135,46	24,40	21,4
2	127,12	22,80	20,4
3	132,24	23,90	20,4
			Ortalama± Std.Sapma : 20,73 ± 0,58

Çizelge 4.8 ve 4.9 incelendiğinde kireçtaşı numunelerine ait ultrases geçiş hızının ortalama 20,73 km/s, dolomit numuneleri için ise ortalama 28,73 km/s olduğu görülmektedir.

4.1.6. Dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian Yöntemi)

TSE 7654 standardında tanımlanan yöntemle belirlenen Brazilian çekme dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.10 ve 4.11’de, verilmiştir.

Çizelge 4.10. Kireçtaşı numunelerine ait dolaylı yoldan çekme dayanımı deneyi sonuçları

Numune No	Numune çapı (mm)	Numune boyu (mm)	Kırılma yükü (kN)	Brazilian çekme dayanımı (MPa)
1	54,81	29,48	10,1	3,98
2	54,75	27,21	12,4	5,31
3	54,43	27,55	8,3	3,52
4	54,60	28,42	11,2	4,59
5	54,42	27,23	15,3	6,57
6	54,81	26,64	13,7	5,97
7	54,39	27,87	12,1	5,08
8	54,77	27,09	9,1	3,90
9	54,77	23,82	12,5	6,10
10	54,70	28,32	8,7	3,71
				Ortalama± Std.Sapma 4.87± 1,19

Çizelge 4.11. Dolomit numunelerine ait dolaylı yoldan çekme dayanımı deneyi sonuçları

Numune No	Numune çapı (mm)	Numune boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Brazilian Dayanımı (MPa)
1	54,40	27,18	10,7	4,61
2	54,40	27,48	12,3	5,24
3	54,91	29,19	9,3	3,70
4	54,98	27,03	12,2	5,21
5	54,35	26,19	9,9	4,43
6	54,34	26,98	8,5	3,70
7	54,39	27,19	8,1	3,49
8	54,75	26,95	9,3	4,01
9	54,46	27,42	9,0	3,84
10	54,56	27,05	15,4	6,64
				Ortalama± Std.Sapma 4,49± 0,98

Her kayaç grubu için 10'ar adet boy/ çap oranı 0,5 olan numuneler ile yapılan deney sonuçlarına göre kireçtaşına ait Brazilian (endirekt çekme) dayanımının ortalama 4,87 MPa, dolomit için ise 4,49 MPa olduğu görülmektedir. Bu değerlerin kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, Schmidt sertliği değerleriyle doğru orantılı olduğu görülmüştür.

4.2. Agrega Özelliklerini Belirlemek İçin Yapılan Deney Sonuçları

4.2.1. Agrega tane büyüklüğü dağılımı

Agrega tane büyüklüğü dağılımını belirlemek için 0-4 mm ve 4-8 mm lik numuneler ile 8-16 mm ve 16-22.4 mm boyutlu iri malzemedan 1000 er gr agregal alınarak 0,063-0,125-0,250-0,5-1-2-4-5,6-8-11,2-16-22,4 cm açıklıklı eleklerden elenmiş, sonuçlar Çizelge 4.12-4.15'de verilmiştir. Elde edilen değerler ile agregaların tane dağılım özelliğini açıklayan incelik modülü hesaplanmıştır. Agrega tane dağılımının ince özellikte olması incelik modülünün küçük değerler almasıyla bağlantılıdır yani agregal taneleri büyüdükçe incelik modülü artar agregal taneleri küçüldükçe incelik modülü azalır (Özkul vd., 1999; Arıoğlu vd., 2006).

Çizelge 4.12. 0-4 mm ve 4-8 mm kireçtaşı tozu elek analizi sonuçları

elek açıklığı mm	0-4 mm kireçtaşı tozu				4-8 mm kireçtaşı tozu			
	elek üstü			Elek altı	elek üstü			Elek altı
	gr	yığ. gr	yığ. %	yığ. %	gr	yığ. gr	yığ. %	yığ. %
22,40	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
16	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
11,2	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
8	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
5,6	2,1	2,1	0,4	99,6	2,9	2,9	0,6	99,4
4	10,4	12,5	2,5	97,5	45,6	48,5	9,7	90,3
2	67,2	79,7	16,0	84,0	176,5	225,0	45,0	55,0
1	95,2	174,9	35,0	65,0	104,0	329,0	65,9	34,1
0,50	85,2	260,1	52,1	47,9	54,5	383,5	76,8	23,2
0,250	63,1	323,2	64,7	35,3	34,2	417,7	83,6	16,4
0,125	39,0	362,2	72,5	27,5	20,4	438,1	87,7	12,3
0,063	77,1	439,3	88,0	12,0	22,6	460,7	92,2	7,8
Filler	60,0				38,8			
Tplm	499,3				499,5			

Çizelge 4.13. 8-16 mm ve 16-22.4 mm iri kireçtaşı elek analizi sonuçları

elek açıklığı mm	8-16 mm iri kireçtaşı				16-22.4 mm iri kireçtaşı			
	elek üstü			Elek altı	elek üstü			Elek altı
	gr	yığ. gr	yığ. %	yığ. %	gr	yığ. gr	yığ. %	yığ. %
22,40	0,00	0,00	0,00	100,0	250,0	250,0	25,0	75,0
16	0,00	0,00	0,00	100,0	382,0	632,0	63,1	36,9
11,2	6,1	6,1	0,6	99,4	332,1	964,1	96,3	3,7
8	96,5	102,6	10,3	89,7	36,8	1000,	100,0	0,0
5,6	434,0	536,6	53,7	46,3	0	1000,	100,0	0,0
4	277,3	813,9	81,4	18,6	0	1000,	100,0	0,0
2	163,1	977,0	97,7	2,3	0	1000,	100,0	0,0
1	8,3	985,3	98,5	1,5	0	1000,	100,0	0,0
0,50	0,6	985,9	98,6	1,4	0	1000,	100,0	0,0
0,250	0	985,9	98,6	1,4	0	1000,	100,0	0,0
0,125	0	985,9	98,6	1,4	0	1000,	100,0	0,0
0,063	0	985,9	98,6	1,4	0	1000,	100,0	0,0
Filler	14,0				0			
Tplm	999,9				1000,			

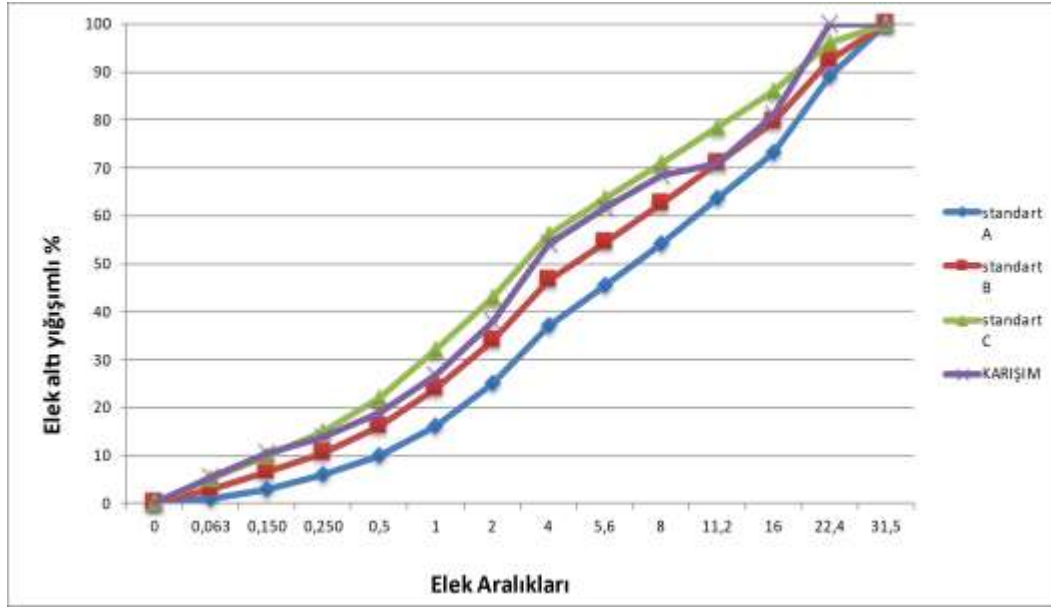
Çizelge 4.14. 0-4 mm ve 4-8 mm dolomit tozu elek analizi sonuçları

elek açıklığı mm	0-4 mm dolomit tozu				4-8 mm dolomit			
	elek üstü			Elek altı	elek üstü			Elek altı
	gr	yığ. gr	yığ. %	yığ. %	gr	yığ. gr	yığ. %	yığ. %
22,40	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
16	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
11,2	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
8	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
5,6	1,2	1,2	0,1	99,9	342,5	342,5	34,3	65,7
4	26,0	27,2	2,7	97,3	492,5	835,4	83,6	16,4
2	310,5	337,7	33,9	66,1	158,8	994,2	99,4	0,6
1	148,9	486,6	48,8	51,2	0,4	994,6	99,5	0,5
0,50	103,1	589,7	59,1	40,9	0,4	995,0	99,5	0,5
0,250	100,0	689,7	69,2	30,8	0,4	995,4	99,6	0,4
0,125	202,4	892,1	89,5	10,5	1,0	996,4	99,7	0,3
0,063	78,6	970,7	97,4	2,6	0,8	997,2	99,7	0,3
Filler	26,4				2,5			
Tplm	997,1				999,7			

Çizelge 4.15. 8-16 mm ve 16-22.4 mm iri dolomit elek analizi sonuçları

elek açıklığı mm	8-16 mm iri dolomit				16-22.4 mm iri dolomit			
	elek üstü			Elek altı	elek üstü			Elek altı
	gr	yığ. gr	yığ. %	yığ. %	gr	yığ. gr	yığ. %	yığ. %
22,40	0,00	0,00	0,00	100,0	0	0	0	100,0
16	0,00	0,00	0,00	100,0	518,2	518,2	51,8	48,2
11,2	286,3	286,3	28,6	71,4	474,4	992,6	99,3	0,7
8	569,0	855,3	85,6	14,4	7,2	999,8	100,0	0,0
5,6	143,2	998,5	99,9	0,1	0	999,8	100,0	0,0
4	1,2	999,7	100,0	0,0	0	999,8	100,0	0,0
2	0	999,7	100,0	0,0	0	999,8	100,0	0,0
1	0	999,7	100,0	0,0	0	999,8	100,0	0,0
0,50	0	999,7	100,0	0,0	0	999,8	100,0	0,0
0,250	0	999,7	100,0	0,0	0	999,8	100,0	0,0
0,125	0	999,7	100,0	0,0	0	999,8	100,0	0,0
0,063	0	999,7	100,0	0,0	0	999,8	100,0	0,0
Filler	0				0			
Tplm	999,7				999,8			

Elek analizleri sonucunda elde edilen elek altı yığışımli değerlerle, TS706 12620+A1: 2009 ve TS 802 standartlarında belirtilen agreg a en büyük tane boyutu 22,4 mm olan pompalanabilir beton özelliğinde ki taze beton karışımında kullanılabilecek granülometri değerlerinden faydalanılarak karışımında kullanılacak agreg a yüzdeleri belirlenmiştir. Beton karışım tasarımı yapılırken agreg a ağırlığının belirlenmesinin ardından hangi tane boyut sınıfında ne kadar kullanılacağı ayrıca hesaplanmalıdır. Standartda belirtilen alt ve üst sınırlar arasında kalacak şekilde karışımın elek altı yığışımli yüzde değerleri her tane boyut sınıfına göre seçilmiştir. Buna göre Şekil 4.1'te görülen eğri oluşturulmuştur.



Şekil 4.1. Agrega tane büyüklüğü tablosu

Grafikte görüldüğü üzere karışıma ait eğri standartta müsaade edilen sınır değerler arasında olup uygun granülometri olarak değerlendirilmiştir. Karışım oranları taze beton reçetelerinin verildiği Şekil 4.1’de açık olarak belirtilmiştir. Reçete karışım oranları Çizelge 4.25, 4.26, 4.27, 4.28 ‘de verilmiştir.

4.2.2. Metilen mavisi deney sonuçları

Metilen mavisi deneyi sonucunda 200 gr kireçtaşı ve dolomit örneklerinden 200 er gr malzemeye 3 kez 5 er ml’lik metilen mavisi çözeltisi eklenmiş ve 15 ml’lik ekleme neticesinde harelenmelerin olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 4.16 ‘da metilen mavisi deneyi sonuçları verilmiştir.

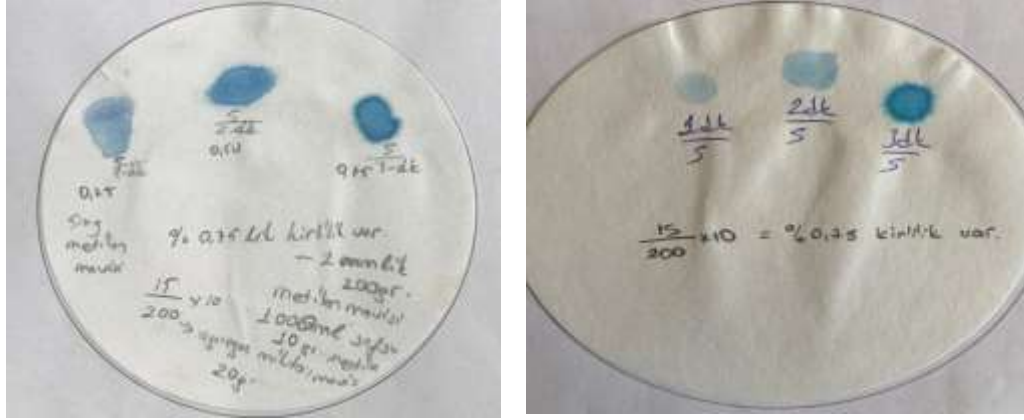
Çizelge 4.16. Metilen mavisi deney sonuçları

	Numune ağırlık (gr) M_1	Kullanılan çözelti miktarı (gr) V_1	MB değeri $(V_1/M_1)*10$
Kireçtaşı Numunesi	200	15 ml	0,75
Dolomit Numunesi	200	15 ml	0,75

Eşitlik 3.10’a göre kirlilik oranı % 0,75 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.2 (a-b)’ de metilen mavisi deneyinde elde edilen harelerin görüntüleri verilmiştir. Sonuçlara göre şekil ‘a’ kireçtaşı şekil ‘b’ ise dolomit numunesini temsil etmektedir. Süzgeç

kağıdı üzerindeki harelere bakıldığında her iki numunede üçüncü denemede harelere belirginleşmiştir.



a

b

Şekil 4.2. Metilen mavisi deneyinde kullanılan süzgeç kağıtlarının görüntüleri

a-) Kireçtaşı örneği b-) Dolomit örneği

Metilen mavisi değerinin yüksek çıkması agrega bünyesinde kil mineralleri tarafından yüzeyde tutunan boya miktarının arttığını ve ince malzemede kirlilik oranının yüksekliğini ifade etmektedir. Agrega kirlilik oranındaki artış beton dizaynında fazla su kullanımını gerekli kılmakta kıvam ayarlaması için gerekli önlemler artırılmazsa su/çimento oranındaki artışa bağlı olarak beton dayanımında düşüşler gelişmektedir. Hazır beton tesislerinde kullanılacak olan agregalarda kirlilik miktarının düşük tutulması gerekliliği, konkasör tesislerinin işletme ve üretim dizaynlarını bu koşula göre planlamaları gerektiği bilinmektedir (Özbebek ve Açık;2012). Bu agregaların kirlilik oranlarının olumsuz etkilerini bertaraf etmek için akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanımı önerilebilir.

4.2.3. Agrega özgül ağırlık deneyi sonuçları

TS EN 1097-6:2013 standardına göre gerçekleştirilen özgül ağırlık deney sonuçları kireçtaşı numuneleri için Çizelge 4.17 'de dolomit numuneleri için Çizelge 4.18 'de verilmiştir. Hesaplamalar Eşitlik 3.11'e göre yapılmıştır.

Çizelge 4.17. Kireçtaşı agregasının özgül ağırlık deney sonucu

Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı, gr, (W2)	Ölçü Kabı ile Birlikte Ağırlığı, gr, (W4)	Kuru Ağırlığı, gr, (W1)	Ölçü Kabı Su ve Deney Numunesi Toplam Ağırlığı, gr, (W3)	Kuru Özgül Ağırlığı
260.1	1796	259.5	1956.2	2.60

Çizelge 4.18. Dolomit agregasının özgül ağırlık deney sonucu

Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı, gr, (W2)	Ölçü Kabı ile Birlikte Ağırlığı, gr, (W4)	Kuru Ağırlığı, gr, (W1)	Ölçü Kabı Su ve Deney Numunesi Toplam Ağırlığı, gr, (W3)	Kuru Özgül Ağırlığı
345.8	1796	343.1	2007.3	2.58

Durmuş vd., (2009) da belirtildiği üzere beton üretiminde kullanılacak olan agregalarda özgül ağırlık değerinin 2,5-2,8 arasında olması istenmektedir. Yapılan özgül ağırlık deneyi neticesinde kireçtaşı ve dolomit agregalarının bu değerlere uygun olduğu görülmüştür (Durmuş vd., 2009).

4.2.4. Agreganın Nem İçeriği Deneyi sonuçları

TS EN 1097-6:2013 standardına uygun olarak yapılan nem içeriği deney sonuçları Çizelge 4.19 ve 4.20 da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Kireçtaşı agregasının nem içeriği deney sonuçları

Deneysel Numunesi	Numune Miktarı	Numune Etüv Kurusu ağırlığı (gr)	Nem Yüzdesi	Oranı
0-4 ince agregası	500 (gr)	494.3	1.2 %	
4-8 ince agregası	500 (gr)	481.1	0.4 %	

Çizelge 4.20. Dolomit agregasının nem içeriği deney sonuçları

Deneysel Numunesi	Numune Miktarı	Numune Etüv Kurusu ağırlığı (gr)	Nem Yüzdesi	Oranı
0-4 ince agregası	500 (gr)	490.6	1.9 %	
4-8 ince agregası	500 (gr)	491.9	1.6 %	

Çizelge 4.19 ve 4.20 incelendiğinde dolomit agregasının doğal nem içeriğinin kireçtaşı agregasından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun dolomit agregasının su emme değerinin daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

4.2.5. Agregasyonun yassılık indeksi tayini deney sonuçları

TS EN 933-3:2012 standardında tanımlanan yöntemle göre gerçekleştirilen agregaların yassılık indeksi tayini deneyinin sonuçları Çizelge 4.21- 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Kireçtaşı agregasının yassılık indeksi deney sonuçları

Yassılık Endeksi	Malzeme ağırlık (gr) M1	Elekten geçen (gr) M2	Yassılık indeksi (M2/M1)*100	Kategori
1.numune	1001,28	34,45	3,44	FI15
2.numune	1000,45	87,11	8,71	
		Ortalama± Std.Sapma	6,16± 3,73	

Dolomit numunesinden ayrı ayrı 1 kg toplamda 2 kg alınmıştır.

Çizelge 4.22. Dolomit numunesi yassılık indeksi deney sonuçları

Yassılık Endeksi	Malzeme ağırlık (gr) M1	Elekten geçen (gr) M2	Yassılık indeksi (M2/M1)*100	Kategori
1.numune	1001,36	60,43	6,03	FI15
2.numune	1000,87	72,28	7,22	
		Ortalama± Std.Sapma	6,63± 0,84	

10-14 mm tane boyu sınıfında 2 adet yaklaşık 1000’er gr numune üzerinde yapılan deney sonucuna göre kireçtaşı ve dolomit numuneleri için TS EN 933-3:2012 standardında belirtilen FI₁₅ kategorisi elde edilmiştir (TS EN 933-3:2012). Bu kategoriye göre betonun içerisinde köprü görevi görerek zayıflık bölgeleri oluşturabilecek nitelikte taneler içermeyeceği düşünülmüştür. Bell (2006) tarafından bildirildiği üzere kireçtaşları köşeli parçalar oluşturacak şekilde; dolomit ve dolomitik kayalar ise kireçtaşlarına nazaran daha yassı taneler şeklinde kırılmaktadır. Literatürde kireçtaşları için uygun yassılık indeksi değeri %20-32 arasında dolomitik kayalar için ise bu değer % 42 lere kadar çıkabildiği

belirtilmektedir (Elçi vd., 2014). İncelenen agregaların yassılık indeksi değerleri literatürde belirtilen değerlere uygundur.

4.2.6. Los Angeles aşınma dayanımı deney sonuçları

Los Angeles deneyi 10-14 mm tane boyutuna sahip örnekler üzerinde TS EN 1097-2 standardında tanımlanan yöntemle göre gerçekleştirilmiştir. Los Angeles aşınma dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.23 ve 4.24' de verilmiştir.

Çizelge 4.23. Kireçtaşı numunelerine ait Los Angeles aşınma dayanımı deneyi sonuçları

Los Angeles	İlk ağırlık (gr)	Son ağırlık (gr)	LA katsayısı (5000-m)/50
1.numune	4999,45	3894,51	22,11
2.numune	5004,24	3916,12	21,68
3.numune	5002,63	3860,04	22,80
		Ortalama± Std.Sapma	22,20± 0,57

Çizelge 4.24. Dolomit numunelerine ait Los Angeles deneyi sonuçları

Los Angeles	İlk ağırlık (gr)	Son ağırlık (gr)	LA katsayısı (5000-m)/50
1.numune	5005.21	3235.78	35,28
2.numune	5001.52	3104.89	37,90
3.numune	5002.88	3114.25	37,72
		Ortalama± Std.Sapma	36,97± 1,46

10-14 mm boyutunda 3'er adet 5'er kiloluk numuneler ile Los Angeles deney cihazında gerçekleştirilen Los Angeles parçalanma direnci deneyinde kireçtaşı için ortalama 22,20 değeri ile TS 706 EN 12620+A1:2009 standarda göre LA₂₅ kategorisinde olduğu belirlenmiştir. Dolomit numuneleri için ise elde edilen 36,97 değeri ile LA₄₀ kategorisi elde edilmiştir. Buna göre dolomit taşının parçalanmaya karşı direnci kireçtaşına göre daha düşüktür. TS 706 EN 12620+A1:2009 standardında belirtildiği gibi elde edilen bu

kategoriler çalışılan kayaların agrega olarak kullanımına uygun olduğuna işaret etmektedir. Los Angeles aşınma dayanımı değerleri kayaların tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian deney sonuçlarıyla da doğru orantılıdır. Los Angeles aşınma dayanımı değeri için Rollings ve Rolling (1995) ve Poitvein, (1999) sınır değerinin %40 olması gerektiğini vurgulamışlar ve LA değerinin bu değerinin altında olması gerektiğini tavsiye etmişlerdir (Elçi vd., 2014). Dolomit ve kireçtaşı agregaları bu kritere uygunluk göstermektedir.

4.3. Beton Tasarımı

Elde edilen veriler ile karışım tasarımında karışım suyu miktarı için düzeltmeler yapılarak nihai tasarıma ulaşılmıştır. Beton tasarımında üretilecek betonların C25/30, C30/35, C35/45, C45/50 dayanım sınıfında olmasına göre su/çimento oranları TS 802: 2009 standardında belirtilen en küçük dayanım sınıflamasına göre gerçekleştirilmiştir. Agrega deneyleri sonucunda elde edilen veriler de hesaba katılarak farklı dayanım sınıflarına ait beton reçeteleri oluşturulmuştur. Her dayanım sınıfı için katkılı ve katkısız olarak karışım hesapları yapılarak oluşturulan reçeteler Çizelge 4.25- 4.28'de verilmiştir. Katkılı ve katkısız reçetelerde agrega kullanım oranları ve miktarları sabit olup sadece katkı miktarları değiştirilmiştir.

Çizelge 4.25.Kireçtaşı için katkısız reçete verileri

Dayanım sınıfı	Agrega				Ç	Çimento dozajı kg/m ³	Su miktarı kg/m ³	Agrega miktarı kg/m ³	Katkı miktarı kg/m ³	
	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	16-22,4 mm						
C 25/30	%	25	30	15	30	0,60	300	180	1876	0,00
	kg	464	559	283	568					
C 30/35	%	25	30	15	30	0,55	320	176	1868	0,00
	kg	462	557	282	565					
C 35/45	%	25	30	15	30	0,50	340	170	1864	0,00
	Kg	462	556	281	565					
C 40/50	%	25	30	15	30	0,45	360	162	1868	0,00
	kg	463	557	282	566					

Çizelge 4.26.Dolomit için katkısız reçete verileri

Dayanım sınıfı	Agrega				S/C	Çimento dozajı kg/m ³	Su miktarı kg/m ³	Agrega miktarı kg/m ³	Katkı miktarı kg/m ³	
	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	16-22,4 mm						
C 25/30	%	25	25	25	25	0,60	300	181	1773	0,00
	kg	438	440	443	452					
C 30/35	%	25	25	25	25	0,55	320	178	1766	0,00
	Kg	436	438	442	450					
C 35/45	%	25	25	25	25	0,50	340	172	1764	0,00
	Kg	436	437	441	450					
C 40/50	%	25	25	25	25	0,45	360	164	1766	0,00
	kg	436	438	442	450					

Çizelge 4.27.Kireçtaşı için katkılı reçete verileri

Dayanım sınıfı	Agrega				S/C	Çimento dozajı kg/m ³	Su miktarı kg/m ³	Agrega miktarı kg/m ³	Katkı miktarı kg/m ³	
	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	16-22,4 mm						
C 25/30	%	25	30	15	30	0,60	300	180	1876	3,00
	kg	464	559	283	568					
C 30/35	%	25	30	15	30	0,55	320	176	1868	3,52
	kg	462	557	282	565					
C 35/45	%	25	30	15	30	0,50	340	170	1864	4,08
	Kg	462	556	281	565					
C 40/50	%	25	30	15	30	0,45	360	162	1868	4,68
	kg	463	557	282	566					

Çizelge 4.28.Dolomit için katkılı reçete verileri

Dayanım sınıfı	Agrega				S/C	Çimento dozajı kg/m ³	Su miktarı kg/m ³	Agrega miktarı kg/m ³	Katkı miktarı kg/m ³	
	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	16-22,4 mm						
C 25/30	%	25	25	25	25	0,60	300	181	1773	3,00
	kg	438	440	443	452					
C 30/35	%	25	25	25	25	0,55	320	178	1766	3,52
	Kg	436	438	442	450					
C 35/45	%	25	25	25	25	0,50	340	172	1764	4,08
	Kg	436	437	441	450					
C 40/50	%	25	25	25	25	0,45	360	164	1766	4,68
	kg	436	438	442	450					

Şekil 4.3'te numune kaplarına dökülen numunelerin görselleri verilmiştir.



Şekil 4.3. Reçeteye göre dökülen beton numuneleri

4.4. Beton Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

4.4.1. 7 günlük su kürü sonucunda basınç dayanımı deneyi sonuçları

Hazırlanan katkılı ve katkısız beton numunelerinin 7 günlük su kürü sonrası basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.29-4.30 da verilmiştir.

Çizelge 4.29. Kireçtaşı ve dolomit numuneleri ile hazırlanan katkısız beton numunelerinin 7 günlük kür sonunda basınç dayanımı deneyi sonuçları

	C 25/30	C 30/35	C 35/45	C 40/50
Kireçtaşı	18,49	20,00	24,37	26,37
agregalı	18,26	20,58	24,47	24,51
katkısız beton	17,52	19,53	23,39	26,78
basınç dayanımı değeri (MPa)				
Ortalama±	18,09 ± 0,51	20,04 ± 0,53	24,08 ± 0,59	25,89 ± 1,21
Std.Sapma				
Dolomit	27,91	31,92	35,56	36,62
agregalı	26,55	32,24	33,94	33,28
katkısız beton	29,41	30,68	31,71	32,95
basınç dayanımı değeri (MPa)				
Ortalama±	27,96 ± 1,43	31,61 ± 0,82	33,74 ± 1,93	34,28 ± 2,03
Std.Sapma				

Çizelge 4.29. incelendiğinde kireçtaşı agregası ile hazırlanan katkısız beton numunelerinin basınç dayanımı değerlerinin hedeflenen dayanım sınıfına uygun olmadığı görülmektedir. Dolomit agregası ile hazırlanan katkısız beton numunelerinde ise C25 ve C30 dayanım

sınıflamasına uygun, C35 ve C40 dayanım sınıflamasına uygun olmayan sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Çizelge 4.30. Kireçtaşı ve dolomit numuneleri ile hazırlanan katkılı beton numunelerinin 7 günlük kür sonunda basınç dayanımı deneyi sonuçları

Beton dayanım sınıfları				
	C 25/30	C 30/35	C 35/45	C 40/50
Kireçtaşı	33,68	38,77	40,74	48,14
agregalı katkılı beton basınç dayanımı değeri (MPa)	33,02	39,49	40,81	46,08
Ortalama± Std.Sapma	34,59	36,52	42,49	44,64
Ortalama± Std.Sapma	33,76± 0,79	38,26± 1,55	41,35± 0,99	46,29± 1,76
Dolomit	27,88	28,00	31,32	38,74
agregalı katkılı beton basınç dayanımı değeri (MPa)	31,20	26,84	32,15	35,48
Ortalama± Std.Sapma	31,18	25,65	30,10	36,79
Ortalama± Std.Sapma	30,09 ± 1,91	26,83± 1,78	31,19± 1,03	37,00± 1,64

Çizelge 4.30 incelendiğinde kireçtaşı agregası ile hazırlanan katkılı beton numunelerinin 7 günlük kür sonunda basınç dayanım değerlerinin hedeflenen dayanım sınıflamasına uygun olduğu görülmektedir. Dolomit agregası ile hazırlanan katkılı beton numunelerinde ise sadece C25 dayanım sınıflamasında hedeflenen dayanım değerine ulaşılmış diğer dayanım sınıflamalarının altında değerler elde edilmiştir. Bunun sebebi ise dolomit numunesinin su emme değerinin kireçtaşı numunesine göre daha yüksek olmasıdır.

4.4.2. 28 günlük su kürü sonunda basınç dayanımı deneyi sonuçları

Hazırlanan katkılı ve katkısız beton numunelerinin 28 günlük su kürü sonrası basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.31-4.32 de verilmiştir.

Çizelge 4.31. Kireçtaşı ve dolomit numuneleri ile hazırlanan katkısız beton numunelerinin 28 günlük kür sonunda basınç dayanımı deneyi sonuçları

	C 25/30	C 30/35	C 35/45	C 40/50
Kireçtaşı	24,82	30,31	35,13	41,69
agregalı	24,88	31,30	36,08	41,22
katkısız beton	24,58	30,94	37,41	40,22
basınç dayanımı değeri (MPa)				
Ortalama±	24,76± 0,16	30,85 ± 0,50	36,21± 1,15	41,04± 0,75
Std.Sapma				
Dolomit	35,21	42,26	42,80	48,23
agregalı	36,53	40,43	44,56	42,36
katkısız beton	36,06	39,34	40,45	43,31
basınç dayanım değeri (MPa)				
Ortalama±	35,93± 0,67	40,68± 1,48	42,61± 2,06	44,63± 3,15
Std.Sapma				

Çizelge 4.31 incelendiğinde kireçtaşı ve dolomit agregaları ile hazırlanan katkısız beton numunelerinin 28 günlük kür süresi sonunda basınç dayanım değerlerinin hedeflenen dayanım sınıflamalarına uygun olduğu görülmektedir. Dolomit agregası ile hazırlanan katkısız beton numunelerinde daha yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.32. Kireçtaşı ve dolomit numuneleri ile hazırlanan katkılı beton numunelerinin 28 günlük kür sonunda basınç dayanımı deneyi sonuçları

	Beton dayanım sınıfları			
	C 25/30	C 30/35	C 35/45	C 40/50
Kireçtaşı	42,05	45,07	51,04	55,05
agregalı katkılı	42,05	45,82	50,90	56,01
beton basınç dayanımı değeri (MPa)	42,32	45,74	49,13	55,74
Ortalama±	42,14± 0,16	45,54± 0,41	50,36± 1,06	55,6±0,49
Std.Sapma				
Dolomit	36,66	36,06	37,35	47,66
agregalı	40,03	35,37	36,99	44,20
katkılı beton	41,26	33,93	37,04	40,93
basınç dayanımı değeri (MPa)				
Ortalama±	40,65± 0,87	35,12±1,09	37,13± 0,19	44,26± 3.37
Std.Sapma				

Çizelge 4.32 incelendiğinde kireçtaşı ve dolomit agregaları ile hazırlanan katkılı beton numunelerinin 28 günlük kür süresi sonunda basınç dayanım değerlerinin hedeflenen dayanım sınıflamalarına uygun olduğu görülmektedir. Bu seride kireçtaşı agregası ile hazırlanan katkısız beton numunelerinde daha yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir.

Beton üretiminde hedeflenen olay, basınç dayanım değeri yüksek olan ve betonun uygulama alanına uygun akışkanlıkta beton reçetesi hazırlamaktır. Katkı maddesi, betonun akışkanlığını kontrol edebilmek ve dayanım değerini artırmak için kullanılır. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki dolomit agregası ile hazırlanan katkısız beton örneklerinde 28 günlük kür süresi sonunda daha iyi dayanım değerleri elde edilmiştir. Katkı kullanılarak hazırlanan beton numunelerinde ise 28 günlük kür süresi sonucunda kireçtaşı agregası ile hazırlanan beton örnekleri daha iyi performans göstermiştir. Şekil 4.4 (a-d) 'de numunelerin tek eksenli basınç deneyi için hazırlanması ve numunelerin kırılma şekilleri verilmiştir.



a



b



c



d

Şekil 4.4. a-) Numunlerin kür havuzlarında bekletilmesi b-) Numunelerin tek eksenli basınç dayanımı için hazırlanması c-) Numunelerin tek eksenli basınç testine tabii tutulması d-) Kırılan numunlerin şekli

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada kireçtaşı ve dolomit kökenli iki farklı kayacın beton agregası olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, kayalardan elde edilen agregalar dört farklı dayanım sınıflamasında (C25, C30, C35, C40) beton üretiminde agrega olarak kullanılmışlardır. Öncelikle kayaların fiziko-mekanik özellikleri (birim hacim ağırlığı, su emme, Schmidt çekici sertliği, tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımları, ultrasonik dalga hızı değerleri) belirlenmiştir. Daha sonra agrega özellikleri (nem içeriği, metilen mavisi deneyi ile kirlilik tayini, yassılık indeksi, Los Angeles aşınma dayanımı değeri) belirlenmiştir. Agregalar dört farklı tane boyutunda sınıflandırılmış (0-4 mm, 4-8mm, 8-16 mm, 16-22,4mm) ve uygun granülometri eğrileri elde edildikten sonra TS 802 :2009 standardında belirtilen şekilde, beton reçetelerine akışkanlaştırıcı ve mukavemet artırıcı katkı malzemesi de ilave edilerek katkılı ve katkısız beton numuneleri üretilmiştir. 7 ve 28 günlük su kürüne tabii tutulan örneklerin basınç dayanım değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

1. Çalışılan kireçtaşı örneğinin birim hacim ağırlığı değerleri doğal, kuru ve doygun durum için sırasıyla 26,73 – 26,71 – 26,75 dolomit örneğinin ise doğal, kuru ve doygun durumlar için sırasıyla 27,61 – 27,59 – 27,66 değerlerindedir. Dolomit örneğinin daha yüksek birim hacim ağırlığı değerlerine sahip olduğu görülmektedir.
2. Çalışılan kayaların ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri kireçtaşı örneğinde sırasıyla %0,07, % 0,18 dolomit örneğinde ise sırasıyla %0,33, %0,93 olarak belirlenmiştir. Dolomit örneğinin su emme değerinin kireçtaşı örneğine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Su emme değerlerinin literatürde işaret edilen maksimum su içeriği değeri olan %1.5 değerine uygun oldukları görülmüştür.
3. Schmidt çekici değerleri kireçtaşı örneği için ortalama 34, dolomit örneğinde ise 29 olarak belirlenmiştir.
4. Tek eksenli basınç dayanımı değerleri kireçtaşı örneğinde 32,39 MPa, dolomit örneğinde 24,13 MPa olarak belirlenmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı değerleri sertlik değerleri ile uyumludur.
5. Ultrases geçirgenlik hızı değerleri kireçtaşı örneğinde 28,73 km/s, dolomit örneği için 20,73 km/s olarak belirlenmiştir.

6. Brazilian çekme dayanımı değerleri kireçtaşı örneği için 4,87 MPa, dolomit örneği için 4,49 MPa olarak belirlenmiştir.

Elde edilen bu değerlere göre fiziko-mekanik özellikler açısından kireçtaşının daha üstün olduğu görülmektedir.

Yapılan agrega özellikleri belirleme deneyleri sonuçları incelendiğinde;

7. Los Angeles aşınma dayanımı agregaların aşınmaya karşı direncinin ifadesidir. Los Angeles deneyi sonucuna göre kireçtaşı örneğinin LA katsayısı 22.20, dolomit örneğinin ise 36.97 olduğu ve TS 706 en 12620 + A1: 2009 standardına göre değerlendirildiğinde kireçtaşının LA25, dolomitin LA 40 kategorisinde yer aldıkları görülmüştür. Dolomit örneğinin daha kırılğan bir yapıda olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumun dolomitin hegzagonal kristal yapısından kaynaklandığı düşünülmüştür.

8. Metilen mavisi deney sonucuna göre her iki agrega türünün süzgeç kağıdı üzerinde 3. haredde çiçek deseni oluşturduğu ve metilen mavisi değerinin 0,75 olduğu belirlenmiştir. Bu değer agreganın ihtiva ettiği ince madde oranının belirlenmesi amacıyla kullanılmakta ve agreganın kalitesi için bir belirteç niteliği taşımaktadır. Metilen mavisi adsorbsiyonunun düşük oluşu agrega bünyesindeki kil, demir oksit ve organik kirleticilerin az oluşunu ifade etmektedir. Bu bakımdan değerlendirildiğinde her iki kayaç türü beton agregası olarak kullanılabilir niteliktedir.

10. Agreganın özgül ağırlık değerleri kireçtaşı ve dolomit örnekleri için sırasıyla 2,58 ve 2,60 olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu değerler beton agregaları için belirtilen ve kabul gören değerlere uygunluk göstermektedir.

11. Agreganın nem içeriği deneyi sonuçlarında 0-4mm ve 4-8 mm boyutlu kireçtaşı örnekleri için %1,2, %0,4 değerleri dolomit örnekleri için %1,9, %1,6 değerleri elde edilmiştir. Nem içeriği değerlerinin dolomit agregasında daha fazla çıkma nedeni dolomitin su emme değerinin yüksek oluşundandır.

12. Agreganın yassılık indeksi değerleri kireçtaşı ve dolomit örnekleri için sırasıyla 6,16 ve 6,63 olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu değerlerin standartlara uygun olduğu anlaşılmıştır.

Yapılan beton numuneleri üzerinde 7 ve 28 günlük kür süresi sonunda basınç dayanımı testleri gerçekleştirilmiş ve şu bulgulara rastlanmıştır.

13. Tüm örneklerde kür süresi artışına bağlı olarak basınç dayanımı değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu artış beton numuneler için beklenen bir durumdur.

14. Yapılan bu çalışma neticesinde dolomit agregası ile üretilen betonlarda belirlenen dört farklı dayanım sınıflamasına göre hazırlanan beton örnekleri ile 7 ve 28 günlük kür süreleri sonucunda yapılan basınç dayanımı deneyi neticesinde dolomit agregası ile üretilen betonlarda katkılı ve katkısız durumda iken hedeflenen basınç dayanım değerleri elde edilebilmişken; kireçtaşı örneği ile hazırlanan betonlarda katkılı ürünlerin basınç dayanım değerleri hedeflenen değerleri yakalayabilmiştir.

Betonun işlenebilirliği, dayanım özelliklerinin standart değerleri karşılayabilir olması, kalıcılığı yani servis ömrü süresince bütünlüğünü koruyabilmesi kaliteli bir betonda olması gereken üç temel özelliktir. Bu özelliklerin elde edilmesinde çimento dozajı, su/çimento oranının yanı sıra kullanılan agreganın ve katkı maddelerinin özellikleri de önem arz etmektedir. Katkı maddelerinin kullanımı beton maliyetini artırsa bile işçilik, zaman gibi faktörlerin tüketiminde olumlu etkileri olması nedeniyle kullanımından vazgeçilemeyen ürünlerdir. Kireçtaşları düşük poroziteleri ve termal genleşmeleri, yüksek dayanım değerleri nedeniyle beton üretiminde tercih edilen agrega kaynaklarındandır. Sahip oldukları bu özellik çimento hamuru ile iyi bir kimyasal bağ oluşturmalarına olanak sağlar. Doğada bol miktarda bulunmaları nedeniyle de agrega üretiminde sıklıkla tercih edilen kaynak kayalarlardır.

Bu çalışma neticesinde çalışılan dolomit ve kireçtaşı kökenli kayaların, büyük bölümü deprem kuşağında yer alan ve bu nedenle kaliteli yapı sektörünün gelişmesi ve yaygınlaşması bir gereklilik olan ülkemizde artan yapı - inşaat faaliyetlerinde kullanılmasının uygun olduğu, dolomitik kayaktan üretilecek agregaların katkısız beton numuneleri yapımında, kireçtaşı kökenli kayalardan üretilecek agreganın katkı maddesi ilavesi ile kullanımının uygun olacağı sonucu çıkarılmıştır. Söz konusu kayalar agrega özellikleri ile ülke ekonomisine kaynak olabilecek nitelik taşımaktadırlar.

KAYNAKÇA

- Akman, S.** (1990). *Yapı Malzemeleri*. İTÜ. İnşaat Fakültesi Ders Notları, No: 1408, İstanbul.
- Arioğlu, E., Arioğlu, N. ve Yılmaz, A.O.,** (1999). Çözümlü Beton Agregaları Problemleri, 1. Baskı, 178 s., Evrim Yayın Evi, İstanbul.
- Baradan, B.** (1996). Yapı Malzemesi II. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fak. Yayınları, No:207. 4. Baskı, s.42-195, İzmir.
- Baradan, B.** (2004). *Yapı Malzemesi II*. DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları Yayın No: 207-221, İzmir.
- Batmaz, A.** (2006). Rize İli Çevresindeki Derelerden elde edilen agreganın beton yapımına uygunluğunun araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Bayazit, Ö.L.** (1988). Beton Deneylemleri. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Yayınları, DSİ Matbaası, 236 s., Ankara.
- Bell, F. G.** (2006). Mühendislik Jeolojisi ve İnşaat (Çeviren K. Kayabalı, *Engineering Geology and Construction*, 2004). Ankara, Sistem Ofset.
- 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, 97-103.
- Bilgiç, M.** (2009). *Yüksek Performanslı Prefabriğe Hafif Betonların Özelliklerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Cimilli, T.** (1986). *Yapı Malzemesi* (Ders Notları). KTÜ. Basımevi, Trabzon.
- Çağlayan, M., Haberveren, S., İpekoğlu, B., ve Kurşun, İ.** (1999). Beton Yapımında Kullanılan Agregaların Özellikleri ve Örnek Bir Kuruluş "İston", 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Haziran, Ankara, Bildiriler Kitabı, I: 69 - 79.
- Çavuşoğlu, İ.** (2005). Harşit Çayından (Giresun-Tirebolu) Elde Edilen Kırılmış Dere Malzemesinin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- M.Y. Çelik, M. Ersoy (2016).** Beyyazı (Afyonkarahisar) Yöresi Karbonatlı Kayaçların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Afyon Kocatepe üni. Afyon Meslek Yüksek Okulu, Afyonkarahisar.
- Dalkılıç, D.,** Batman Ve Çevresinde Agregası Olarak Kullanılan Kayaçların Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Ana Bilim Dalı, Batman (2019)
- Durmuş, G., Şimşek, O., Dayı, M.,** (2009). Geri dönüşümlü iri agregaların beton özelliklerine etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 24:1, 183-189.
- Ekmekyapar, T. ve Örüng, İ.,** (1997). *İnşaat Malzeme Bilgisi*, 3. Baskı. Atatürk Üniversitesi Yayınları, No:145, 278s, Erzurum.
- Elçi, H., Türk, N., İşintek, İ.,** (2014). İzmir Karaburun Yarımadasındaki Farklı Kireçtaşlarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi, *Jeoloji Mühendisleri Dergisi*, 38(2), 103-134.
- Erdoğan, T.Y.** (2004). *Beton Malzemeleri*, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul.
- Erdoğan, Y., T.,** (1995). *Betonu Oluşturan Malzemeler; AGREGA*, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul
- Ersoy, U.** (1987). *Betonarme İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı*. Evrim Basımevi, s.4., İstanbul.
- Güçlüer, K. Günaydın, O. Tekin, Ö.(2016).** Farklı Tipte Agregası Kullanımının Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması.
- Gündüz, Ş.O Kalkan, (2016).** İzmir Alacatı Taşının Kuru Karışım Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, İzmir.
- Gürsu, Y. ve Öztapak F. H., (1990).** Beton ve Beton Malzemeleri Ders Notları. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı. Ankara. Yayınevi, İstanbul.
- Huang, Y., Xujia, H., Huangsheng, S., Yuedung, S., Qing, W., (2018).** Effects of coral, recycled and natural coarse aggregates on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building materials*, 192, 330-347.

<http://www.betonsa.com.tr/bilgibankasi/hazir-beton/>

http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapı_malzemesi/beton/3.1.

<https://www.etsepoksi.com/belgeler/TS-EN-206-Beton-Standardi.pdf>

<https://www.thbb.org/teknik-bilgiler/cimento/>

İhtiyaroğlu, E., (1974). Tabii hafif agregalarla imal edilen hafif beton blokların duvar elemanı olarak özelliklerinin tayini üzerine araştırmalar. İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları, No.5-76, Ankara.

ISRM, (2007) The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring.(Ankara)

ISRM, (1978). Suggested method for the quantitative description of discontinuities in rock masses, International Journal of Rock Mechanic and Mining Science, 15 319-368.

ISRM (1978a). Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks, International Journal of Rock Mechanic and Mining Science and Geomechanic Abstract, 15, 89-97.

Karaman K. ve Kesimal A. (2012). Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı tahmininde nokta yükü deney yöntemleri ve porozitenin değerlendirilmesi. **Madencilik**, 51(4), 3-14.

Katrançı, A. (1999). *Şanlıurfa Yöresindeki Beton Agregası Kaynaklarının İncelenmesi ve Beton Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması.* Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Kocataşkın, F. (1975). *Yapı Malzemesi Bilimi.* Birsen Kitapevi, İstanbul.

Koç, E. (2014). *Trabzon ili ve çevresinden alınan doğal taşların agrega malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması.* Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Kürüm, E. (2019). Elazığ Ve Yakın Çevresindeki Kayaçların Beton Agregası Olabilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ

Mindess, S. ve Young, J. F. (1987). *Concrete*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.

Muslu, A. (2019) berdiga formasyonu'na ait kireçtaşlarının (düzköy-trabzon) agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Neville, A.M., (1995). *Properties of Concrete (Fourth and Final Edition)*, Longman Scientific and Technical. Longman Group, U.K 9 70-250.

- Özbebek, H., Açıık, H., (2012).** İnce Agregalarda Yapılan Metilen Mavisi ve Kum Eşdeğerliği Deney Sonuçlarının Beton Özelliklerine ve Maliyetine Etkisi. *Hazır Beton*, Eylül-Ekim, 84-92.
- Özcan, F., (1999).** Niğde İli Çevresindeki İnşaat Malzemelerinin Beton Üretiminde Kullanımı, Bu Malzemelerden Elde Edilen Betonların Özelliklerinin ve Optimal Karışımlarının Araştırılması. (Yüksek Lisans), Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 105s, Niğde.
- Özkul, H., Taşdemir, M., A., Tokyay, M., ve Uyan, M., (1999).** *Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton*, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- Özturan, T. (1984).** *Beton Aşınmasının İki Fazlı Malzeme Olarak İncelenmesi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özyürek, N. (1995).** *Kızılırmak Agregasının Teknik Özellikleri ve Beton Yapımında Kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Postacıoğlu, B. (1987).** *Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton*, Cilt 2, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- Selçuk, A. (2016).** Kahramanmaraş ‘Ta Beton Agregası Olarak Kullanılan Dere Ve Kırma Taş Agregalarının Petrografisi- Jeokimyası Ve Mühendislik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Sim, J., Yang, K.H., Jeon, J.K., (2013).** Influence of aggregate size on the compressive size effect according to different concrete types. *Construction and Building Materials*. 44, 716-725.
- Şahbaz, A. (2010).** *Değişik Doğal Taş Agregaların Beton Blokların ve Kilitli Parke Taşının Fiziko-Mekanik Özelliklerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon
- Şengül, Ö. (2000).** *Agrega Türünün Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Şimşek, O. (2007).** *Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri*, Seçkin Yayıncılık San, ve A.Ş., 2. Baskı, Ankara.

- TS 2513, (1977).**Doğalyapı taşları, TSE, Ankara,
- TS 706 EN 12620+A1, (2009).** Beton Agregaları, T.S.E., Ankara.
- TS 7654, (1989).**Kayaçların çekme mukavemetinin dolaylı (indirekt) metotla tayini, TSE, Ankara,
- TS EN 1097-6: 2013,** Agega Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-9: 2010,** İnce Tanelerin Tayini, Metilen Mavisi Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-1: 2012,** Agregaların Tane Büyüklük Tayini, Eleme Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620+A1: 2009,** Beton Agegaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-2: 2010,** Agegaların Parçalanma Direncinin Tayini, Los Angeles Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. 110
- TS EN 933-3: 2012,** Agegaların Tane Şekli Tayini, Yassılık Endeksi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 699 :2009,** Doğal Taşların Oluşumuna Göre Sıralanması.
- TS 802: 2009** Beton Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12504-4: 2021,** Determination of Ultrasonic Pulse Velocity, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1008** Beton Karma Suyu Standardı, Ankara.
- TS EN 1467** Doğal taşlar ve ham blokların özellikleri standardı, Ankara.
- Tutmaz, Ş., İ., (2009).** Tokat İli Merkez İlçesindeki Agregaya Kaynaklarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Tuğrul, A., Yılmaz, M., 2012.** Assessing the quality of sandstone for use as aggregates in concrete. *Magazine of Concrete Research*, 64 (12), 1067- 1078.
- Uluata, A. R. (1981).** *Beton Malzemeleri ve Beton*, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Erzurum.

- Urhan, S., (1993).** Hafif ve çok hafif betonların karakteristik özellikleri ve teknik kapasiteleri. Türkiye Mühendislik Haberleri (369), 34-40.
- Usta, H., (2005).** Hazır Beton Sektörünün Araştırılması, İstanbul Ticaret Odası, <http://www.ito.org.tr/itoyayin/0015983.pdf>.
- Uygunoğlu, T. (2008).** *Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Uysal, A. (2019).** Çukurova Bölgesindeki Taşocaklarından Çıkan Agregaya İle Beton Kalitesinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Toros Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana
- Yapıcı, S. (2002).** *Elazığ Yöresindeki Agregaya ve Çimento Malzemesi ile Üretilen Betonlarda Mevcut Katkı Malzemelerinin Uygunluğunun Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Yamacı Ünsal, M., (2022).** Mermer Atıkların Üretilen Beton Parke Taşlarının Dayanım Özelliklerinin Araştırılması, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği ABD, Yüksek lisans tezi, Malatya
- Yaşar ve erdoğan, (2003).** Ceyhan (Adana) Kireçtaşının Agregaya Olarak Betonda Kullanılabilirliği.
- Yu, Z., Shi, C., ve Khayat, K. H. (2005).** *1st International RILEM Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete-SCC'2005*, China Rilem Publications,

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Alper TURGUT

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2017, İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİMİ :

2017-2023 Asya Petrol ve Madencilik Kırma, Eleme ve Konkasör Tesisi (Agregat Tesis Sorumlusu)

2023 – (AKTİF) Çimentaş Çimentır Holding Kırma, Eleme ve Konkasör Tesisi (Agregat Tesis Sorumlusu)