

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

**MERMER ATIKLARINDAN ÜRETİLEN BETON PARKE TAŞLARININ  
DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Melike YAMACI ÜNSAL**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Didem EREN SARICI**

**HAZİRAN 2022**

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

**MERMER ATIKLARINDAN ÜRETİLEN BETON PARKE TAŞLARININ  
DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Melike YAMACI ÜNSAL  
36003616001**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Didem EREN SARICI**

**HAZİRAN 2022**

## TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalıőmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemededen beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Didem EREN SARICI 'ya, laboratuvar çalıőmalarımnda destek olan Sayın Dr. Nilgün KIZILKAYA'ya, ınarlar Beton A.Ő.'ye, malzeme tedarikiinde destek olan Netmer Madencilik San. Tic. Ltd. Şti.'ne ve ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi tez çalıőmalarım süresince debenden desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.



## ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Mermer Atıklarından Üretilen Beton Parke Taşlarının Dayanım Özelliklerinin Araştırılması” 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.

Melike YAMACI ÜNSAL



## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ .....	iii
ONUR SÖZÜ .....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SEMBOLLER VE KISALTMALAR .....	xiii
ÖZET .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Çalışmanın Amacı .....	1
1.2. Çalışmanın Özgünlüğü .....	2
1.3. Çalışmanın Kapsamı.....	2
1.4. Literatür Taraması .....	2
<b>2. KURAMSAL TEMELLER .....</b>	<b>7</b>
2.1. Mermer Hakkında Genel Bilgiler .....	7
2.1.1. Mermerin tanımı ve özellikleri .....	7
2.1.2. Türkiye'nin mermer potansiyeli ve üretimi .....	7
2.2. Mermer Üretimi ve Oluşan Atıklar .....	9
2.2.1. Ocak üretimi ve oluşan atıklar .....	9
2.2.2. Mermer fabrika üretimi esnasında oluşan atıklar .....	14
2.2.3. Mermer atıklarının çevreye verdiği zararlar .....	18
2.3. Mermer Atıklarının Kullanım Olanakları.....	19
2.3.1. Kağıt Endüstrisi .....	19
2.3.2. Boya Sektörü .....	20
2.3.3. Cam Sanayii.....	20
2.3.4. Tarım ve hayvancılık sektörü .....	21
2.3.5. Plastik Sektörü.....	21
2.3.6. Seramik Endüstrisi.....	21
2.3.7. İnşaat Sektörü .....	22
2.4. Beton.....	23
2.4.1. Agega.....	26
2.4.2. Çimento .....	28
2.4.3. Su .....	29
2.4.4. Katkı Maddesi .....	30
2.5. Beton Parke Taşları .....	30
2.5.1. Beton parke taşı üretimi.....	31
2.5.2. Beton parke taşı avantaj ve dezavantajları .....	32
2.5.3. Beton parke taşlarında istenilen özellikler.....	33
2.5.4. Beton parke taşlarında görülen bozulmalar .....	33
2.5.4.1. Buz çözücü tuz ve donma çözülme etkileri .....	33
2.5.4.2. Sülfat etkisi .....	35
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>37</b>
3.1. Çalışma Sahası.....	37
3.1.1. Sahada depolanan atıkların özellikleri.....	38
3.1.3. Mermer atığının fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri .....	40
3.1.3.1. Çalışılan mermerin fiziksel özellikleri .....	40
3.1.3.2. Çalışılan mermerin mekanik özellikleri .....	41
3.1.3.3. Çalışılan mermerin XRF analizi .....	41
3.1.3.4. Çalışılan mermerin XRD analizi .....	41

3.2. Deneysel Yöntem .....	42
3.2.1. Beton parke taşı üretiminde kullanılacak malzemeler.....	42
3.2.1.1. Agega.....	42
3.2.1.2. Çimento .....	44
3.2.1.3. Su.....	45
3.2.1.4. Katkı Maddesi .....	45
3.2.2. Mermer atığının agega özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler .....	45
3.2.2.1. Eleme metodu ile tane büyüklüğü dağılımı tayini.....	46
3.2.2.2. Agegaların tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini .....	47
3.2.2.3. Metilen mavisi deneyi .....	48
3.2.2.4. Ageganın parçalanma direncinin tayini (Los Angeles deneyi) .....	49
3.2.2.5. Tane şekli tayini- Yassılık Endeksi .....	51
3.2.2.6. Magnezyum Sülfat ile ageganın donma çözülme direnci tayini .....	52
3.2.3. Parke taşı üretimi için beton karışım tasarımı .....	54
3.2.3.1. Su/çimento oranının belirlenmesi.....	54
3.2.3.2. Su miktarı ve çimento dozajının belirlenmesi .....	56
3.2.3.3. Hava miktarının seçilmesi .....	56
3.2.3.4. Agega hacim ve ağırlığının belirlenmesi.....	57
3.2.3.5. Ganülometri.....	58
3.2.3.6. Katkı maddesinin belirlenmesi .....	58
3.2.3.7. Diğer parametreler .....	59
3.2.4. Numunelerin üretilmesi .....	59
3.2.5. Sertleşmiş beton deneyleri.....	61
3.2.5.1. Betonun yoğunluğunun ve su emme oranının tayini deneyleri .....	61
3.2.5.2. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi.....	63
3.2.5.3. Ultrases geçirgenlik hızı deneyi .....	63
3.2.5.4. Schmidt sertlik tayini.....	64
3.2.5.5. Yarmada çekme dayanımı deneyi.....	65
3.2.5.6. Böhme ile aşınma dayanımı deneyi.....	66
3.2.5.7. Buz çözücü tuz ile donma çözülme deneyi .....	67
3.2.5.8. Donma çözülme deneyi .....	69
3.2.5.9. Sülfat etkisi deneyi .....	69
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>71</b>
4.1. Mermer Atıklarının Agega Özelliklerinin Belirlenmesi Amacıyla Yapılan Deneylerin Sonuçları .....	71
4.1.1. Elek analizi bulguları.....	71
4.1.2. Agegaların tane yoğunluğu ve su emme deneyi bulguları .....	74
4.1.3. Metilen mavisi deney bulguları .....	74
4.1.4. Ageganın parçalanma direnci deneyi (Los Angeles Deneyi) sonuçları .....	75
4.1.5. Yassılık indeksi deney bulguları .....	76
4.1.6. Magnezyum Sülfat ile ageganın donma çözülme direnci deney bulguları.....	77
4.2. Nihai Beton Tasarımı .....	78
4.3. Sertleşmiş Beton Deneylerinin Bulguları .....	79
4.3.1. Yoğunluk ve su emme deneyleri bulguları.....	79
4.3.2. Tek eksenli basınç dayanımı deney bulguları.....	80
4.3.3. Ultrases geçirgenlik hızı deney bulguları .....	82
4.3.4. Schmidt sertlik tayini bulguları .....	83
4.3.5. Yarmada çekme dayanımını deneyi bulguları .....	83
4.3.6. Böhme ile aşınma dayanımı deney bulguları .....	85
4.3.7. Buz çözücü tuz ile donma çözülme deney bulguları .....	86

4.3.8. Donma çözülme deney bulguları .....	91
4.3.9. Sülfat direnci deneyi bulguları .....	95
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>100</b>
5.1. Sonuçlar .....	100
5.2. Öneriler.....	106
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>107</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>111</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Mermer tozlarının sanayide kullanım alanları ve oranları .....	19
Çizelge 2.2. Agedaların sınıflandırılması .....	28
Çizelge 2.3. Betonda kullanılan katkı maddesi tipleri .....	30
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan mermere ait fiziksel özellikler.....	40
Çizelge 3.2. Çalışılan mermere ait mekanik özellikler. ....	41
Çizelge 3.3. Çalışılan mermerin XRF analizi .....	41
Çizelge 3.4. Kullanılan Portland çimentosunun özellikleri.....	45
Çizelge 3.5. Los Angeles deneyi kategorileri .....	51
Çizelge 3.6. Yassılık indeksi kategorileri.....	52
Çizelge 3.7. Magnezyum sülfat deneyi için kategoriler .....	53
Çizelge 3.8. Çevre etkilerine göre beton tasarımında müsaade edilen su/çimento oranı ve çimento dozajları .....	55
Çizelge 4.1. Mermer tozu, 0-2 mm ve 2-4,75 mm sınıfları için elek analizi sonuçları.....	71
Çizelge 4.2. 4,75-9,50 mm, 9,50-11,2 mm, 11,2-14,0 mm sınıfları için elek analizi sonuçları. ....	72
Çizelge 4.3. İnce ve iri agega yoğunluk ve su emme değerleri.....	74
Çizelge 4.4.. Metilen mavisi deney sonuçları. ....	75
Çizelge 4.5. Los Angeles deney sonuçları. ....	76
Çizelge 4.6. Yassılık Endeksi değerleri.....	77
Çizelge 4.7. Magnezyum Sülfat ile donma dayanıklılık değerleri. ....	77
Çizelge 4.8. Çalışmada uygulanan 1. beton parke taşı reçetesi.....	79
Çizelge 4.9. Çalışmada uygulanan 2. beton parke taşı reçetesi.....	79
Çizelge 4.10. 1. reçete için yoğunluk ve su emme deney sonuçları.....	79
Çizelge 4.11. 2. reçete için yoğunluk ve su emme deney sonuçları.....	80
Çizelge 4.12. 1. reçete için tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları.....	80
Çizelge 4.13. 2. reçete için tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları.....	81
Çizelge 4.14. 1. reçete için ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları.....	82
Çizelge 4.15. 2. reçete için ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları.....	82
Çizelge 4.16. 1. reçete için yarmada çekme dayanımı deney sonuçları.....	84
Çizelge 4.17. 2. reçete için yarmada çekme dayanımı deney sonuçları.....	84
Çizelge 4.18. 1. reçete için Böhme aşınma dayanımı deneyi sonuçları.....	85
Çizelge 4.19. 2. reçete için Böhme aşınma dayanımı deneyi sonuçları.....	85
Çizelge 4.20. 1. reçete için buz çözücü tuz etkisinde donma çözülme deney sonuçları. ....	87
Çizelge 4.21. 2. reçete için buz çözücü tuz etkisinde donma çözülme deney sonuçları. ....	87
Çizelge 4.22. 1. reçeteye ait numunelerin buz çözücü tuz ile donma çözülme sonrası hacimsel kayıpları.....	88
Çizelge 4.23. 2. reçeteye ait numunelerin buz çözücü tuz ile donma çözülme sonrası hacimsel kayıpları.....	89
Çizelge 4.24. 1. reçete numunelerinin buz çözücü tuz ile donma çözülme sonrası ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları.....	90
Çizelge 4.25. 2. reçete numunelerinin buz çözücü tuz ile donma çözülme sonrası ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları.....	90
Çizelge 4.26. 1. reçete için donma çözülme sonrası hacimsel kayıplar.....	92
Çizelge 4.27. 2. reçete için donma çözülme sonrası hacimsel kayıplar.....	92
Çizelge 4.28. 1. reçete için donma çözülme sonrası ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları.....	94
Çizelge 4.29. 2. reçete için donma çözülme sonrası ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları.....	94



<b>Çizelge 4.30.</b> 1. reçete numunelerinin sülfat direnci deneyi sonucunda ağırlık değişimleri. ....	95
<b>Çizelge 4.31.</b> 2. reçete numunelerinin sülfat direnci deneyi sonucunda ağırlık değişimleri. ....	95
<b>Çizelge 4.32.</b> 1. reçeteye ait numunelerin sülfat direnci deneyi sonucunda ağırlıkça su emme oranı değişimleri. ....	97
<b>Çizelge 4.33.</b> 1. reçeteye ait numunelerin sülfat direnci deneyi sonucunda ağırlıkça su emme oranı değişimleri. ....	98
<b>Çizelge 4.34.</b> 1. reçeteye ait numunelerinin sülfat direnci deneyi sonra ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları. ....	98
<b>Çizelge 4.35.</b> 2. reçeteye ait numunelerinin sülfat direnci deneyi sonra ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları. ....	99
<b>Çizelge 5.1.</b> Mermer atıklarına uygulanan agega deney sonuçları. ....	100
<b>Çizelge 5.2.</b> Sertleşmiş beton deney sonuçları. ....	102



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Türkiye’de faaliyette bulunan doğaltaş ocaklarını gösterir harita.....	8
Şekil 2.2. Blok eldesinden cilalanmış mermer elde edilene kadar atık oluşumu. ....	9
Şekil 2.3. Kollu kesici. ....	10
Şekil 2.4. Elmas tel makinesi. ....	10
Şekil 2.5. Mermer ocaklarında genel iş akışı. ....	11
Şekil 2.6. Elmas tel kesme ile üretim (a: Elmas telin geçirilebilmesi için gerekli olan deliklerin delinmesi, b: Elmas tel kesme makinesi ile yatay ve düşey eksenlerde kesim). ....	11
Şekil 2.7. a: Ana kütlede ayrılan kayanın devrilmesi, b: Sayalama işlemi. ....	12
Şekil 2.8. a: Sayalama makinesi, b: Elmas tel. ....	12
Şekil 2.9. Muğla ilinde faaliyet gösteren bir mermer ocağının atık yığını görüntüsü. ....	13
Şekil 2.10. Netmer Madencilik (Akçadağ)’e ait mermer ocağının atık sahası. ....	13
Şekil 2.11. Ardışık havuz sistemi. ....	14
Şekil 2.12. Silolarda atık su arıtımı şematik görünümü. ....	14
Şekil 2.13. Mermer fabrikası genel üretim ve atık oluşum prosesi. ....	15
Şekil 2.14. Mermer fabrikasında S/T ile mermer kesimi. ....	16
Şekil 2.15. Mermer fabrikasında katrak ile mermer kesimi. ....	16
Şekil 2.16. Fabrika üretimi sonucu oluşan atıklar (a: Paledyenler, b: Toz atıklar). ....	16
Şekil 2.17. Bir mermer fabrikasında atık yığını görüntüsü. ....	17
Şekil 2.18. Mermer toz atıklarının kontrolsüzce toprağa dökülmesi. ....	18
Şekil 2.19. Beton sınıfı tanımı. ....	23
Şekil 2.20. Betonun dayanımına etki eden faktörler. ....	24
Şekil 2.21. Su/çimento oranı-basınç dayanımı ilişkisi . ....	25
Şekil 2.22. Beton yaşı ve kür şartları arasındaki ilişki. ....	25
Şekil 2.23. Çimentolarda zamana bağlı mukavemet değişimi . ....	29
Şekil 2.24. Kilitli parke taşı. ....	31
Şekil 2.25. Parke taşı üretim makinesi. ....	31
Şekil 2.26. Betonda buz çözücü tuz ile donma çözülme etkisi. ....	34
Şekil 2.27. Betonda donma çözülme etkisi. ....	35
Şekil 2.28. Betonda deniz suyu etkisi . ....	36
Şekil 3.1. Çalışma sahasının haritada ki yeri ve uydu görüntüleri. ....	37
Şekil 3.3. Sahada ki atık yığınının görünüm . ....	39
Şekil 3.4. Küçük ebatlı atıklardan oluşan yığın. ....	39
Şekil 3.5. Sahada üretilen mermerin görünümü. ....	40
Şekil 3.6. Çalışılan mermerin XRD analizi. ....	42
Şekil 3.7. Numune alınan bölge ve atıklar (a: Çalışma sahasında ki atık yığını, b: Numune olarak alınan atıklar). ....	43
Şekil 3.8. Numunelerin boyut küçültme işleminden önce etüvde kurutulması. ....	43
Şekil 3.9. Çeneli kırıcı ile boyut küçültme. ....	44
Şekil 3.10. Numunelerin elenmesi ve boyutlarına göre sınıflandırılması. ....	44
Şekil 3.11. Sırasıyla 0-2 mm, 2-4,75 mm, 4,75-9,5 mm, 9,5-11,2 mm, 11,2-14 mm boyutları arasında sınıflandırılmış numunelerin görünümü. ....	44
Şekil 3.12. Ganülometri deneyi için kullanılan elekler. ....	46
Şekil 3.13. Metilen mavisi deneyinin yapılışı . ....	49
Şekil 3.14. Los Angeles deney cihazı ve deneyin yapılışı (a: Los Angeles aşınma dayanımı test cihazı, b: Örneklerin cihaza beslenmesi, c: Deney sonucunda alınan örnek).....	50
Şekil 3.15. Magnezyum Sülfat çözeltisinin hazırlanması (a: Çözeltide kullanılan saf suyun tartılması, b: Çözeltide kullanılacak Magnezyum Sülfat’ın tartılması, c: Çözeltinin hazırlanması). ....	53

<b>Şekil 3.16.</b> Betonda su/çimento oranı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki. ....	55
<b>Şekil 3.17.</b> Kırmataş agega kullanılan farklı en büyük agega tane büyüklüğü ve farklı çökme değerlerine sahip için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmemiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarları. ....	56
<b>Şekil 3.18.</b> Agega en büyük tane büyüklüğüne ve iklim şartlarına bağlı olarak beton karışım hesabında kullanılacak toplam hava içerikleri. ....	57
<b>Şekil 3.19.</b> Agega en büyük tane büyüklüğü 16,0 mm olan beton için belirlenen agega tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar.....	58
<b>Şekil 3.20.</b> Beton karışımının hazırlanması (a: Ageganın karıştırma kabına aktarılması b: Çimentonun karışım kabına ilave edilmesi ve kuru malzemelerin karıştırılması, c: Su ilavesiyle birlikte karışımın hazırlanması) . ....	59
<b>Şekil 3.21.</b> Taze betonun kalıplara yerleştirilmesi (a: Motor yağının kalıpların iç cidarına uygulanması, b: Taze betonun kalıbın yarı seviyesine kadar yerleştirilmesi, c: Taze betonun tüm kalıba yerleştirilmesi).....	60
<b>Şekil 3.22.</b> Titreşim ile malzemenin kalıplara yerleştirilmesi ve kalıptan çıkarılan numuneler (a: Numunelerin titreşim ile kalıplaraa yerleştirilmesi, b: Kalıba yerleştirilmesi sağlanmış beton, c: Kalıptan çıkarılmış olan numuneler). ....	60
<b>Şekil 3.23.</b> Numunelerin priz süresinin ardından kürlenmesi (a: Numunelerin 24 saatlik priz süresi sonunda ki görünümleri, b: Numunelerin su havuzunda kürlenmeye bırakılması).....	61
<b>Şekil 3.24.</b> Beton yoğunluğu ölçümü için kullanılan deney düzeneği. ....	62
<b>Şekil 3.25.</b> a: Tek eksenli basınç dayanımı deney cihazı, b: Deneyin yapılışı.....	63
<b>Şekil 3.26.</b> Yarmada çekme dayanımı deneyinin yapılışı. ....	66
<b>Şekil 3.27.</b> Böhme deney cihazı. ....	67
<b>Şekil 3.28.</b> Böhme deneyinin yapılışı.....	67
<b>Şekil 3.29.</b> Buz çözücü tuz ile donma çözülme deneyi için hazırlanmış numunelerin görünümü.....	69
<b>Şekil 4.1.</b> Agega en büyük tane boyutu 14 mm olan 1. beton parke taşı reçetesine ait ganülometri eğrisi.....	73
<b>Şekil 4.2.</b> Agega en büyük tane boyutu 9,5 mm olan 2. beton parke taşı reçetesine ait ganülometri eğrisi.....	73
<b>Şekil 4.3.</b> Metilen mavisi deneyi sonucunda süzgeç kağıdında oluşun hareler. ....	74
<b>Şekil 4.4.</b> a: Los Angeles deneyi öncesi numune görünümü, b: Deney sonrası numune görünümü.....	75
<b>Şekil 4.5.</b> Los Angeles deneyi sonrası numunelerin görünümleri (a: Numunenin yıkanarak elenmesi, b: Numunenin etüvde kurutulması, c: Deney sonrası malzemenin görünümü.).....	76
<b>Şekil 4.6.</b> Yassılık Endeksi- Kullanılan elek ve malzeme görünümü. ....	77
<b>Şekil 4.7.</b> Yassılık indeksi deney sonu görüntüleri (a: Elek üstü ve elek altı malzemeler, b: Elek altı malzemenin tartımı.).....	77
<b>Şekil 4.8.</b> Magnezyum Sülfat deneyi numune görünümleri (a: Deney öncesi numune görünümü, b: Deney sonrası numune görünümü).....	78
<b>Şekil 4.9.</b> 1.reçete beton numunelerinin basınç dayanımı deneyi sonrası görünümü. ....	81
<b>Şekil 4.10.</b> 2. reçete beton numuneleri basınç dayanımı deneyi sonrası görünümü.....	81
<b>Şekil 4.11.</b> Ultrases geçirgenlik hızı deney cihazı ve yapılışı. ....	82
<b>Şekil 4.12.</b> Schmidt çekici ile sertlik deneyinin uygulanması. ....	83
<b>Şekil 4.13.</b> 1. reçete beton numunelerinin yarmada çekme deneyi sonrası görünümü. ....	84
<b>Şekil 4.14.</b> 2. reçete beton numunelerinin yarmada çekme deneyi sonrası görünümü. ....	84

<b>Şekil 4.15.</b> 1. reçeteye ait bir numunenin Böhme aşınma dayanımı deneyi öncesi ve sonrası görünümü (a: Deney öncesi numune görünümü, b: Deney sonrası numune görünümü). .....	85
<b>Şekil 4.16.</b> 2. reçeteye ait bir numunenin Böhme aşınma dayanımı deneyi öncesi ve sonrası görünümü. (a: Deney öncesi numune görünümü, b: Deney sonrası numune görünümü). .....	86
<b>Şekil 4.17.</b> 1. reçeteye ait bir numunenin buz çözücü tuz ile donma çözülme öncesi ve sonrası yüzey görünümü (a: Deney için hazırlanmış numunenin deney öncesi görünümü, b: Numunenin deney sonrası yüzey görünümü). .....	87
<b>Şekil 4.18.</b> 2. reçeteye ait numunelerin buz çözücü tuz ile donma çözülme sonrası yüzey görünümleri .....	87
<b>Şekil 4.19.</b> 1. reçete numunelerinin buz çözücü tuz ile donma çözülme sonrası görünümleri. .....	89
<b>Şekil 4.20.</b> 2. reçete numunelerinin buz çözücü tuz ile donma çözülme sonrası hacimsel kayıplarını gösteren görünümleri. .....	89
<b>Şekil 4.21.</b> 1. reçeteye ait numunelerin donma çözülme sonrası yüzey görünümleri .....	91
<b>Şekil 4.22.</b> 2. reçeteye ait numunelerin donma çözülme deneyi sonrası yüzey görünümleri .....	91
<b>Şekil 4.23.</b> 1. reçete numunelerinin donma çözülme sonrası genel görünümleri .....	92
<b>Şekil 4.24.</b> 2. reçeteye ait numunelerin donma çözülme sonrası genel görünümleri .....	92
<b>Şekil 4.25.</b> Donma çözülme deneyi sonrası numunelere ultrases geçirgenlik hızı deneyinin uygulanışı .....	93
<b>Şekil 4.26.</b> 1. reçeteye ait numunelerin sülfat direnci deneyi sonrası görünümleri .....	95
<b>Şekil 4.27.</b> 2. reçeteye ait numunelerin sülfat direnci deneyi sonrası görünümleri .....	96
<b>Şekil 4.28.</b> Sülfat direnci deneyi sonrası numunelerin yüzeylerinde oluşan kılcal çatlakların görünümü .....	96
<b>Şekil 4.29.</b> 1. reçeteye ait numunelerin sülfat direnci sonrası tomasit-etrenjit oluşumları SEM görüntüleri .....	96
<b>Şekil 4.30.</b> 2. reçeteye ait numunelerin sülfat direnci sonrası tomasit-etrenjit oluşumları SEM görüntüleri .....	97
<b>Şekil 4.31.</b> Sülfat deneyi sonrası ultrases geçirgenlik hızı deneyinin yapılışı .....	98

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR

°C	: Santigat Derece
±	: Artı-eksi
>	: Büyük
≥	: Büyük eşit
≤	: Küçük eşit
μ	: Mikron
ρ	: Yoğunluk
Δ	: Delta
μs	: Mikrosaniye
ASTM	: American Society of Testing and Materials
cm	: Santimetre
cm <sup>2</sup>	: Santimetre kare
cm <sup>3</sup>	: Santimetre küp
FI	: Yassılık İndeksi
g	: Gram
ISRM	: International Society of Rock Mechanics
kg	: Kilogram
kN	: Kilo Newton
km	: Kilometre
LA	: Los Angeles Katsayısı
m	: Metre
m <sup>2</sup>	: Metrekare
m <sup>3</sup>	: Metreküp
mm	: Milimetre
mm <sup>2</sup>	: Milimetre kare
mm <sup>3</sup>	: Milimetre küp
MPa	: Mega Pascal
MS	: Magnezyum Sülfat Direnci Katsayısı
N	: Newton
s	: Saniye
s/ç	: Su/Çimento oranı
SEM	: Scanning Electron Microscope
TS	: Türk Standartları
USD	: Amerikan Doları
XRD	: X-Ray Diffraction
XRF	: X-Ray Floresans

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MERMER ATIKLARINDAN ÜRETİLEN BETON PARKE TAŞLARININ DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Melike YAMACI ÜNSAL

İnönü Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

111+XV sayfa

2022

Danışman: Doç. Dr. Didem EREN SARICI

Türkiye, bulundurduğu mermer rezervleri sayesinde dünyada ki artan mermer talebini karşılayabilecek özelliktedir. Son yıllarda tedarikçi konumuna yükselen ülkemizde yıllık doğaltaş üretimi 11,5 milyon ton olup işleme tesislerinde ise yıllık 6,5 milyon m<sup>2</sup> plaka üretilmektedir. Mermerin yapıtaşı olması sebebiyle ocak ve fabrika kesimi esnasında oluşan farklı tane boyutunda ki atıkların, yine yapılarda yani inşaat sektöründe kullanılabilirliği çokça araştırmaya konu olmuştur. Parke taşı üretiminde mermer atıklarının kullanılabilirliğini konu alan çalışmalarda olumlu sonuçlar alınmış ve elde edilen verilerin TSE standartlarını karşıladığı görülmüştür. Parke taşları kullanım alanları itibariyle atmosferik olaylardan direkt olarak etkilenmektedir. Bu etkiler yıllar içerisinde taşın fizikomekanik özelliklerinde olumsuzluklara sebep olmakta, kırık ve çatlaklar oluşabilmektedir. Bu çalışmada, mermer atıklarının agega özelliklerini belirlemek amacıyla, özgül ağırlık, su emme, elek analizi, parçalanma direnci, yassılık endeksi ve magnezyum sülfat ile donat dayanıklılık deneyleri yapılmıştır. TS 802 ‘Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları’ standardına uygun bir reçete ile elde edilerek üretilen beton numuneleri TS 2824 EN 1338: 2005, ‘Zemin döşemesi için Beton Kaplama Blokları’ standardına uygunluğu açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca donma çözülme ve sülfat direnci deneyleri de yapılarak parke taşının çevresel etkenlere karşı direnci ortaya koyulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Mermer, atık, beton, parke taşı.

## ABSTRACT

Master Thesis

### INVESTIGATION OF STRENGTH PROPERTIES OF CONCRETE PAVING STONES PRODUCED FROM MARBLE WASTE

Melike YAMACI ÜNSAL

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

111+XV page

2022

Supervisor: Doç.Dr. Didem EREN SARICI

Thanks to its marble reserves, Turkey is able to meet the increasing demand for marble in the world. In our country, which has become a supplier in recent years, annual natural stone block production is 11.5 million tons, and also 6.5 million m<sup>2</sup> of slabs are produced in processing facilities. Due to the fact that the wastes in different gain sizes, which are formed during marble cutting in the quarry and factory, their usability in buildings in the construction sector, has been the subject of much research. Positive results were obtained in the studies on the usability of marble waste in paving stone production and it was seen that the data obtained met the TSE standards. Paving stones are directly affected by the atmospheric events due to their usage areas. These effects cause negativities in the physicommechanical properties of the stone over the years, and fractures and cracks may occur. In this study, in order to determine the aggregate properties of marble wastes, specific gavity, water absorption, sieve analysis, fragmentation resistance, flatness index and frost resistance tests with magnesium sulfate were carried out. Concrete samples produced by obtaining a recipe in accordance with the TS 802 'Concrete Mixture Design Calculation Principles' standard and were evaluated in terms of compliance with the TS 2824 EN 1338: 2005, 'Concrete Paving Blocks for Flooring' standard. In addition, freeze-thaw and sulphate resistance tests were carried out to reveal the resistance of the paving stone to environmental factors.

**Keywords:** Marble, waste, concrete, paving stone

## 1. GİRİŞ

Her ülke ekonomisinin kalkınmasında büyük rol oynayan madencilik sektörü şüphesiz ki Türkiye için de büyük önem arz etmektedir. Yer altı kaynaklarımız hem yurtiçi kullanımı hem de ihracatı bakımından ülkemize endüstriyel ve ekonomik anlamda ciddi getiriler sağlamaktadır. Ülkemizin büyük fayda sağlayabileceği bu milli kaynakları üretmek kaçınılmazdır.

Diğer tüm madencilik faaliyetleri gibi mermer üretimi de doğada eski haline getirilmesi mümkün olmayan değişimlere sebep olmaktadır. Bu değişimler çoğu zaman çevre halkının tepkisini çekmektedir. Gerek ocak safhasındaki üretimde gerekse fabrika üretiminde ortaya çıkan atıkların çokluğu, ciddi depolama problemlerine ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Her alanda uygulanmaya çalışılan ‘sıfır atık’ ile üretim projelerinin madencilik alanında da uygulanabilir olması biz mühendislerin çalışmalarıyla mümkündür.

Artan nüfus ve şehirleşme beraberinde yol ve altyapı çalışmalarını arttırmakta dolayısıyla zemin döşemede kullanılacak farklı ebatlarda beton bloklara ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde beton tesislerine hammadde sağlayan agega ocakları bu ihtiyacı karşılamaktadır. Atık depolama sahalarında biriken ve zaman zaman oldukça tepki çeken mermer atıkları düşünüldüğünde ise akla ilk gelen bu atıkların beton muhtevsındaki agega yerine kullanılabilirliği olmaktadır. Ocak üretimi sırasında ortaya çıkan mermer atıklarının parke taşı formunda geri dönüştürülmesi ile hem çevresel etkiler azaltılacak hem gelir elde edilecek hem de parke taşı üretimi için agega ocaklarından malzeme teminine gerek kalmayacak ve bir anlamda sürdürülebilir madencilige destek verilmiş olunacaktır.

### 1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, Malatya- Akçadağ ilçesi Hançerli Köyü’nde yaklaşık 20 yıldır faaliyet gösteren Netmer Madencilik firmasına ait olan mermer ocağının atıkları agega yerine kullanılarak parke taşı üretimi yapılmıştır. Elde edilen numunelerin, aşınma, çekme gerilmesi, donma çözülme, buz çözücü tuz ile donma çözülme ve sülfat etkisi olaylarına maruz bırakıldığında göstereceği direnç ve oluşabilecek bozulmalar, standartlarda belirtilen yöntemler yardımıyla ortaya koyulmuştur. Mermer atıklarının geri dönüştürülmesiyle elde edilecek malzemenin, standartlardaki şartları sağlaması durumunda ise hali hazırda depolanmakta olan yaklaşık 1 milyon m<sup>3</sup> mermer atığının, kurulabilecek bir geri dönüşüm tesisiyle birlikte uzun vadede ortadan kaldırılması söz konusu



olabilecektir. Bu konu, ocak ve fabrikalarda açığa çıkan mermer atıklarının, çevresel etkilerinin azaltılması ve sürdürülebilir madenciliğin desteklenmesi bakımından önemli görülmektedir.

## **1.2. Çalışmanın Özgünlüğü**

Yüzyıllardan beri yapı malzemesi olarak kullanılan mermerin, atıklarının da yine yapı sektöründe kullanılması akla ilk gelen olmuştur. Dolayısıyla bu konuyla ilgili bir çok çalışma yapılmış ve mermer atıklarının parke taşında kullanıma uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmanın özgünlüğü ise elde edilen zemin kaplama malzemesinin çevresel etkilere dayanıklılığının araştırılması olmuştur. Donma çözülme döngüleri, buz çözücü tuz etkisi ve aynı zamanda dış kaynaklı sülfat etkisine maruz kalabilecek olan parke taşlarında görülebilecek bozulmalar, bu etkilere yönelik yapılmış deneylerle ortaya koyulmuştur.

## **1.3. Çalışmanın Kapsamı**

Bu tez için yapılan çalışmalar, arazi ve laboratuvar olarak iki aşamada yürütülmüştür.

1) Arazi çalışmasında, mermer ocağındaki atık depolama sahası incelenmiş, kesim sırasında oluşan toz ve parça şeklinde atıklar temin edilmiştir.

2) Laboratuvar çalışmasında ise çeneli kırıcı ile boyut küçültme işlemi, agega özelliklerini belirlemek amacıyla elek analizi, yassılık endeksi, yoğunluk, su emme, dona dayanıklılık, parçalanma direnci, ve metilen mavisi deneyleri, beton numune üretimi ve sertleşmiş beton numuneleri üzerinde ise yoğunluk ve su emme tayini, tek eksenli basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, sertlik, donma çözülme, buz çözücü tuz ile donma çözülme, aşınma dayanımı, ultrases hızı geçirgenliği ve sülfat direnci deneyleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçların standartlarda verilen sınır değerleri sağlayıp sağlamadığı değerlendirilerek, malzemenin kullanıma uygunluğu belirlenmiştir.

## **1.4. Literatür Taraması**

Filiz, M., vd, (2010) atık mermer tozunu agega ile %0-10-20-30-40 oranlarında yer değiştirip iki farklı çimento (CEM II/B-M(P-LL) 32,5N ve CEM I 42,5R) ilavesiyle 14 ayrı reçete oluşturmuştur. 0,50 ve 0,55 su/çimento oranlarını kullandığı bu karışımlarla hazırlanan numuneler TS 2824 EN 1338 standardına göre değerlendirilip mermer tozunun

parke taşı imalatında kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır. Elde edilen sonuçlara göre mermer tozu kullanımı ile betonların mekanik ve fiziksel özellikleri şahit betona göre yükseltilebilmektedir (basınç dayanımını %32.3, yarmada çekme dayanımını % 13.5 ve elastisite modülü değerleri % 15.2 arttırılabilmekte, su emme %25.8, aşınma kaybını % 8.4 ve donma çözülme sonrası mukavemet kaybını % 87.7 azaltılabilmektedir). Üretilen numunelerin ilgili standartta belirtilen şartları sağladığı ve mermer tozunun parke üretiminde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.[1]

Ünal, O., (2001) mermer tozu atıklarının (havuz çökeltisi) beton karışımı içerisinde ince malzeme olarak kullanılması durumunda beton basınç dayanımına etkisini araştırmıştır. Deneysel çalışmada, üretilen beton karışımlarında kumun yanında hacimsel olarak % 0-10-15-20 oranlarında mermer tozu kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0,65 ve çimento dozajı ise 300 ve 350 kg/m<sup>3</sup> seçilerek 8 farklı set beton üretilmiştir. Sonuçlar normal beton değerleriyle karşılaştırılmış ve mermer tozunun belirli oranlarda karışıma katılmasının beton özelliklerine olumlu yönde etkileyeceği belirlenmiştir.[2]

Topçu ve Uygunoğlu, (2011) uçucu kül ve mermer ağısını birlikte kullanarak kilitli parke taşı imal etmişlerdir. Kırmataş ağısıyla benzer tane dağılımında ki mermer ağısı (0-6mm, 6-12mm) %30 oranında yer değiştirmiş ve bağlayıcı yerine ise %10-20 oranlarında uçucu kül kullanılarak seriler oluşturulmuştur. Kilitli parke taşı numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı, aşınma dayanımı ve su emme testlerinden elde edilen verilerin, ilgili standartta belirtilen değer sınırları içerisinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.[3]

Aydın, G., ve Karakurt, İ., (2020) yaptıkları araştırmada, mermerin çıkarılması ve işlenmesi sonucunda %70'e varan atığın meydana geldiğini ve inşaat sektöründe değerlendirilmesinin endüstriyel anlamda ciddi kazançlar sağlayacağına vurgu yapmıştır [4].

Şahbaz, A., (2010) yüksek lisans tezi kapsamında beton ve kilitli parke taşı üretiminde kullanılan dolomitik kireç taşı yerine bazalt ve andezit kullanarak 10 farklı beton karışımı hazırlamıştır. 0-4 mm, 4-12 mm ve 12-22 mm tane boyutuna getirilen ağısalar beton içerisinde %75 oranında kullanılmıştır. Sertleşmiş beton numuneler 3., 7. ve 28. günlerde teste tabi tutulmuş ve ilgili standarda göre değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda bazaltın kilitli parke taşı üretimine uygun olduğu ancak andezit ile üretilen numunelerin

geç dayanım sağlamaları ve dolayısıyla beton çatlakları oluşabileceği sebebiyle uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. [5]

Gencel vd., (2012) yaptıkları çalışmada %10-20-30-40 oranlarında mermer atığı kullanarak iki tür çimento ilavesiyle (CEM II 32,5R ve CEM II 42,5R) 8 farklı beton karışımı oluşturmuşlardır. Deney sonuçlarına göre betondaki mermer atık ikame oranının dayanım değerleri açısından önemli bir değişikliğe sebebiyet vermediği ancak dayanımlarda ki düşüşlerin kullanılan çimento tipi sebebiyle olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca Türkiye’de 1m<sup>3</sup> parke taşının maliyetinin 34USD olduğu ve mermer atığının %40 oranda kullanılmasıyla bu maliyetin 30USD’ye çekilebileceği belirtilmiştir.[6]

Khandve ve Rathi, (2015) ile birlikte kullanılan agega yerine %0-17-34-51-65-85-100 oranlarında mermer atığı kullanmışlardır. ½ - ¾ inch tane boyutunda ki mermer atıklarıyla ürettikleri parke taşlarına su emme, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı testleri uygulamışlar, sonucunda ise %100 mermer atığının kullanıldığı numunelerde basınç dayanımının mermer atığı içermeyenlerle aynı olduğu ancak su emme değerinin daha yüksek ve eğilme dayanımının ise daha düşük olduğu belirtilmiştir. Parke taşlarında kullanılabilir optimum mermer atığı oranının %70 olabileceği ön görülmüştür. [7]

Alyamaç ve Tuğrul, (2014) Elazığ ilinde ki mermer fabrika atıklarını değerlendirmek üzere yapmış oldukları çalışmada mermer atıklarını toz, 0-4 mm, 4-16 mm ve 16-31,5 mm ebatlarında ve farklı oranlarda kullanarak 8 farklı reçete oluşturmuşlardır. Su emme, basınç dayanımı ve eğilme dayanımları bakımından değerlendirilen sertleşmiş beton numunelerinden elde edilen sonuçlar mermer atıklarının agega yerine kullanılabilirliğini göstermektedir. [8]

Kishore ve Chowdary, (2015), mermer tozunu %0-10-15-20 oranlarında kullanarak ürettikleri beton numunelerini 7. gün ve 28. günlerde basınç dayanımı bakımından değerlendirmişler ve en yüksek dayanım değerine %15 mermer tozu içeren reçete ile ulaşmışlardır. %15 mermer tozu içeriğinin yapılarda da rahatlıkla kullanılabilirliğine değinmişlerdir. [9]

Tiwari (2019), kum, kırmataş agegası (10-20mm) ve mermer agegasıyla (10-20mm) oluşturduğu 7 farklı reçete ile parke taşları üretmiştir. Kum oranının sabit tutulduğu çalışmada kırmataş agegası ile mermer agegasını %0-10-20-30-40-50-60 oranlarda yer değiştirmiştir. 28 gün sonunda yapılan basınç dayanımı testlerinde farklı oranlar için

anlamalı bir fark görülmemiştir. Su emme ve eğilme dayanımı açısından da aynı sonuçlara ulaşılmıştır.[10]

Singh vd., susuzlandırılmış mermer çamurunu kum ile birlikte karışımda ağırlıkça %75-80-85-90 oranlarında kullanarak elde ettikleri beton numunelerine su emme ve basınç dayanımı testleri uygulamışlardır. Testleri ASTM ve IS standartlarına göre değerlendirmişler ve beton blok üretiminde mermer çamuru ilavesinin uygun olduğuna ve ayrıca maliyeti de düşürdüğü sonucuna varmışlardır. [11]

Arsoy vd., (2019), Afyonkarahisar organize sanayi bölgesinde ki mermer atıklarının TS 706 EN 12620 + A1 agega standardına göre uygunluğunu araştırmışlardır. Elde ettiklere sonuçlara göre mermer atıklarının agega haline getirilmesi durumunda, standartlarda istenilen özelliklere sahip olduğu ve dolayısıyla beton agegası olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. [12]

Tekmen, (2006), ‘Kireçtaşlarından Üretilen Kilitli Beton Parke Bloklarının Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi’ adlı yüksek lisans tezinde, beton karışım hesabındaki en önemli değerler olan su/çimento oranı, çimento dozajı ve agega tane boyutları için optimum değerlere ulaşmak amacıyla çalışmalar yapmıştır. Hazırlamış olduğu beton numunelerine basınç dayanımı, Brazilian, Schmidt çekici, Ultrasonik hız ve Böhme yüzey aşınma dayanımı deneyleri uygulamış ve sonucunda optimum s/ç oranı 0,32, çimento dozajı 300kg/m<sup>3</sup> ve agega tane boyut yüzdeleri ise %30 0-5mm, %30 5-10mm, %40 ise 10-20mm olarak belirlemiştir. [13]

Ceylan ve Mança (2013), mermer üretiminde ortaya çıkan atıklar ile TS 802: 2009 beton karışım standardına uygun olarak beton karışımları hazırlamışlardır. CEM I 42,5R Portland çimentosu ve 0-31,5mm tane boyutunda mermer agegası kullandıkları çalışmada 7. ve 28. gün basınç dayanımları belirlenmiş ayrıca su emme ve ultrasonik hız deneyleri yapılmıştır. Ulaşılan sonuçlar, kırmataş agegasıyla üretilen numune değerleriyle karşılaştırılmıştır. Mermer agegası kullanımı ile C25/30 dayanım değerine ulaşılmış ve endüstriyel kullanıma uygun olduğu sonucuna varılmıştır. [14]

Çiner vd., (2018), mermer atıklarının çevresel etkileri ve değerlendirilme olanaklarıyla ilgili yaptıkları çalışmada, ocak ve fabrika üretimi esnasında ortaya çıkan atıkları sınıflandırmış ve miktarlarına değinmiştir. Yapı malzemesi olarak kullanılan mermerin atıklarının en yüksek oranda yine yapı sektöründe kullanılabilceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca mermer atıklarının genel ‘atık’ kapsamında değil, tekrar değerlendirilebilen

endüstriyel hammadde olarak tanımlanmasının daha uygun bir yaklaşım olacağını belirtmiştir. [15]

Berberoğlu (2011), hazırlamış olduğu yüksek lisans tezinde, beton yollarda kullanılan buz çözücülerin ve su/çimento oranının etkisini araştırmıştır. Hazırlanan normal kırmataş ağırlıklı beton numunlerinde farklı su/çimento oranları denenmiş ve numuneler donma-çözünme döngülerine ve NaCl etkisine maruz bırakılmıştır. Betonun dona ve buz çözücülere dayanıklılık hususunda optimum s/ç oranının 0,4 olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca betonun iyi yerleşmesi ve sıkıştırılmasının önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. [16]

Hamza vd.,(2011), yaptıkları çalışmada kum ve ağırlığın yanında %10-20-30-40 oranlarında kullandıkları mermer ve granit çamuruyla 4 farklı beton reçetesi oluşturmuşlardır. Hazırlamış oldukları numunelere basınç, nem ve su emme testlerinin yanı sıra ısınma-soğuma, tuz çözeltisi döngüleri uygulamışlardır. Sonuçlar ASTM C 140 ve ASTM C 902-09 standartlarına göre değerlendirilmiştir. Mermer ve granit tozunun filler malzeme olarak beton içerisinde görev aldığı ve dayanıklılık açısından ilgili standartları karşıladığı sonucuna varılmıştır. [17]

Chang vd., (2016), %0-20-40-60-80-100 oranlarında mermer ağırlığı veya granit ağırlığını kum ile birlikte kullanarak beton numuneleri oluşturmuştur. Su/çimento oranını 0,4 ve ağırlık tane boyutunu 0-20 mm olarak belirledikleri bu çalışmada numuneler basınç dayanımı, ultrasonik hız ve klorür etkisi araştırılmıştır. Mermer ağırlığının kullanım oranı optimum %60 olarak belirlenmiş ve bu orana sahip karışımın en yüksek basınç dayanımı değerini verdiği ayrıca klorür etki derinliği açısından da iyi direnç gösterdiği sonucuna varılmıştır. [18]

Demir ve Elyamaç (2022), ‘Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Mermer Tozu Kullanımının Araştırılması’ adlı çalışmalarında, beton karışımında ince ağırlık ile mermer tozunu %0-8-12 ve 24 oranlarında yer değiştirerek farklı beton reçeteleri oluşturmuşlardır. Basınç dayanımı özelliklerinin incelendiği çalışmada %8 mermer tozu içeriğinin şahit betona göre daha yüksek dayanım sağladığı görülmüştür [19].

Kızıltepe ve Şahin (2021), traverten atıklarının beton ağırlığı olarak kullanılabilirliğini araştırdığı çalışmada, beton numunelerini mekanik ve geçirimsizlik özellikleri bakımından incelemiştir. Traverten atığı kullanarak yeterli dayanıma sahip betonların üretilbileceği sonucuna varmışlardır [20].

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Mermer Hakkında Genel Bilgiler

#### 2.1.1. Mermerin tanımı ve özellikleri

Mermer, bilimsel ve ticari olmak üzere iki şekilde tanımlanmaktadır. Bilimsel anlamda mermer; kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarının ısı ve basınç altında metamorfizmaya uğrayarak, tekrar kristalleşmesi sonucu yeni bir doku ve yapı kazanması ile oluşan kayalara denilmektedir. Petrografik olarak masif, kabaca tekdüze irilikte (geçirdiği metamorfizma derecesine göre) kalsit kristallerinin aralarında boşluk bırakmaksızın dizildiği yapıdır [21]. Ticari tanımda ise, mermer ticareti yapılabilir boyutlarda blok verebilen, yüzeyi cilalanabilen ve fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından standartların belirttiği değerleri sağlayan her türden kayaca ‘mermer’ adı verilmektedir. Bu tanıma göre granit, siyenit, serpantin, andezit, bazalt gibi magmatik; gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik; kalker, traverten, kumtaşı gibi tortul taşlar mermer kategorisine girmektedir [22].

Mermerlerin üretimi ve ticareti yapılırken malzeme özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bunlar; blok verme, sertlik, porozite, aşınma dayanımı, eğilme dayanımı, kimyasal içerik, renk, özgül ağırlık, su emme, asite karşı direnç, birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı gibi özelliklerdir.

Mermerler çok farklı renkte ve farklı yapısal özellikte bulunmaktadır. Kimyasal içerikleri ve yapısal özellikleri mermerin görünümünü ve dayanımını etkilemektedir. Bu özelliklerin bilinmesi kullanım yerinin (zemin döşemesi, duvar taşı vb...) belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır.

#### 2.1.2. Türkiye'nin mermer potansiyeli ve üretimi

Türkiye'nin Alp Himalaya Kuşağında yer alması sebebiyle oldukça zengin mermer rezervine sahip olduğu düşünülmektedir. MTA verilerine göre yaklaşık 5 milyar m<sup>3</sup> olduğu tahmin edilse de bu güne dek ülkemizde mermer rezervlerinin tam olarak tespiti amacıyla yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Şekil 2.1'de ki haritada görüldüğü gibi rezervler, Anadolu ve Trakya boyunca yayılmış ve yoğunlukla Afyon, Bilecik, Balıkesir, Denizli, Muğla, Amasya, Elazığ, Diyarbakır ve çevrelerindedir.

Sektör; yüksek ihracat potansiyeli, iç piyasa tüketimi, doğal taş makineleri üretimi ve ihracatı ve ayrıca sağladığı istihdam ile Türkiye ekonomisine önemli derecede katkıda bulunmaktadır. Özellikle son dönemde mermer üretiminde, klasik mermer üretim yöntemlerinin değişmeye başlaması, nitelikli iş gücü ve ileri teknolojiye dayanan modern üretim yöntemlerinin daha çok kullanılmaya başlanması, büyük firmaların yapmış oldukları yatırımlarla birlikte bütünleşmiş üretim yapan tesislerin de devreye girmesiyle katma değeri yüksek olan işlenmiş mermer üretiminde büyük artış kaydedilmiştir. Uygulanmaya başlanan modern ocak üretim yöntemleri ve son teknikler sayesinde rekabetin çok yoğun olduğu dünya doğal taş pazarına uygun üretim ve pazarlama yapabilecek ürünler hazırlayan tesis sayımız artmıştır [22]. Şekil 2.1.'de Türkiye'de hali hazırda faaliyet gösteren doğaltaş ocaklarını gösterir güncel harita verilmiştir (İMMİB).



Şekil 2.1. Türkiye'de faaliyette bulunan doğaltaş ocaklarını gösteren harita [23].

Dünya doğaltaş piyasasında tedarikçi konumuna yükselen Türkiye'de yıllık blok üretimi 11,5 milyon ton, plaka üretimi ise 16,5 milyon m<sup>2</sup>'dir. Yaklaşık 2100 doğaltaş ocağının, 1350 mermer fabrikasının ve 7500 kadar mermer işleme atölyesinin bulunduğu ülkemizde üretim ve ihracatta her yıl artan bir ivme görülmektedir.

Türkiye mermer sektörü; doğaltaşlarının renk açısından zenginliği, rezerv miktarları, ihracatta kara, deniz ve demir yolu taşımacılığı imkanlarının birarada bulunması ve hali hazırda dinamik bir sektör olması sebebiyle dünya piyasasında önemli bir yere sahiptir. Toplam maden-mineral ihracat rakamlarının %45-50 sini oluşturan doğaltaş sektöründe ki üretimin ileri ki yıllarda daha da artacağı öngörülmektedir. Dünya'nın mermer talebini karşılayan ülkeler arasında 3. olan Türkiye, bu talebi karşılayabilmek için üretimini arttırırken istihdama da daha fazla olanak sağlamaktadır.

## 2.2. Mermer Üretimi ve Oluşan Atıklar

Mermerin ocak ve fabrika üretimleri esnasında oldukça yüksek oranda kayıplar verilmektedir. Taşın mineralojik yapısı, süreksizlik ve çatlak sistemleri, ana kütleden kesim yapılırken büyük ebatlı parçaların kopmasına sebebiyet vermektedir. Fabrika üretiminde epoksi, polyester ve file gibi farklı malzeme ve kimyasallar kullanılarak kayıp en aza indirgenmeye çalışılmaktadır. Şekil 2.2.'de mermer ocağında ana kütleden ayrılan 100 birim kayanın işlenmesi sonucunda ortaya çıkan ürün ve atık miktarlarını gösteren şema verilmiştir.



**Şekil 2.2.** Blok eldesinden cilalanmış mermer elde edilene kadar atık oluşumu.

Ana kütleden ayrılan kayanın yaklaşık %60'ı atık olarak açığa çıkmaktadır. Fabrikaya gönderilen bloktan S/T veya katarak kesimi ile plaka eldesi sırasında ise testerenin temas ettiği hacim toza dönüşmekte olup, sırasıyla cilalama ve ebatlama ünitelerinde de kayıplar verilmektedir. Ana kütleden üretilen 100 birim mermerin ancak 20 birimi ticareti yapılabilir ürün özelliğine erişebilmektedir.

Mermerin ocak üretimi ve işlenmesinde ortaya çıkan atıklar, atık depolama sahası olarak belirlenmiş alanlarda depolanmakta ve 'inert atık' olarak kategorize edilmektedir. İnert atık şu şekilde tanımlanmaktadır; Fiziksel, kimyasal veya biyolojik olarak önemli derece herhangi bir değişime uğramayan, çözünmeyen, yanmayan, fiziksel veya kimyasal olarak reaksiyona girmeyen, biyolojik bozulmaya uğrayamayan, temas ettiği maddeleri çevreye ve insan hayatına zarar verecek şekilde etkilemeyen ve toplam sızıntı kabiliyeti ve ekotoksitesitesi önemsiz miktarda olan, özellikle yüzey ve yeraltı suyu kirliliği tehlikesi oluşturmayan atıklardır [24].

### 2.2.1. Ocak üretimi ve oluşan atıklar

Mermerin ocak üretimi genellikle açık ocak işletmesi şeklinde yapılmaktadır ancak Amerika ve İtalya'da bazı kapalı işletmelere de rastlanılmaktadır. Üretimde elmas tel kesme, dairesel testere veya zincirli kollu kesiciler kullanılmaktadır. Mermer üretiminde en büyük oranda kayıp, ocak safhasında verilmektedir. Ana kütleden sökülen kayadan, ticareti



yapılabilir özellikte blok elde edilirken, ortaya çıkan kayıp %50-70 arasında değişmektedir. Verimin böylesine düşük olması, formasyon özelliklerinin yanı sıra kesim yönü, uygun makine seçimi gibi faktörlerin sonucudur. ‘Mermer’ ticari tanımının altında değerlendirilen birçok kayacın farklı özellikleri olduğu düşünülürse uygulanacak üretim yöntemine bu özelliklere göre karar verilmesi gerekmektedir.

Elmas tel ile üretim yönteminde, tel kesme makinesi, elmas boncukların dizildiği çelik tel ve yardımcı ekipmanlar ile mermer kesimi yapılmaktadır. Aynı zamanda elmas tel ile kesme yöntemi ticareti yapılabilir ebatta ki blokların eldesi için yapılan sayalama işleminde de kullanılmaktadır.[21].

Kollu kesicilerle (testereler) üretimde ise üzerinde elmas segmentler bulunan ve raylar üzerinde hareketi sağlanan kesici alet ile blok eldesi sağlanmaktadır. Mermer üretim yöntemleri aşındırma prensibine dayandığı için kesim sırasında ortaya çıkan tozu bastırmak ve kesim sırasında ısınmayı önlemek ve kesimi kolaylaştırmak amacıyla su kullanılmaktadır.

Şekil 2.3’te mermer ocaklarında ki üretimde kullanılan kollu kesici ve Şekil 2.4’te elmas tel kesme makinelerine ait görüntüler verilmiştir.

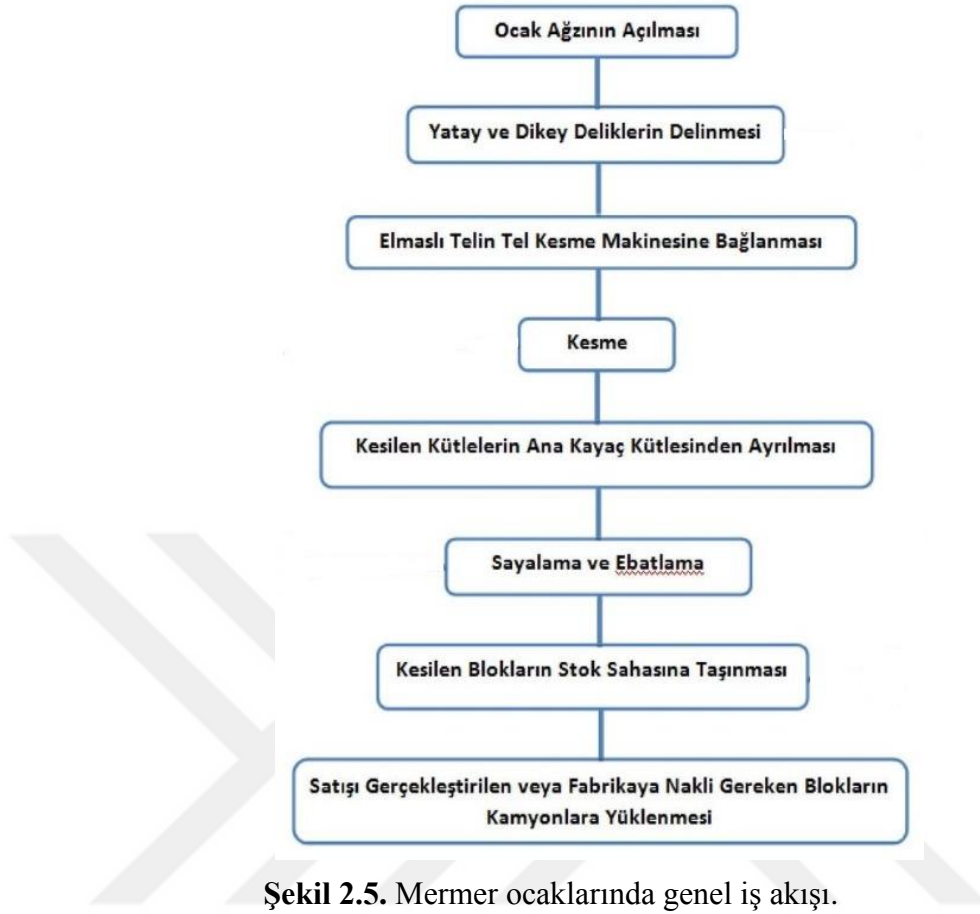


Şekil 2.3. Kollu kesici.

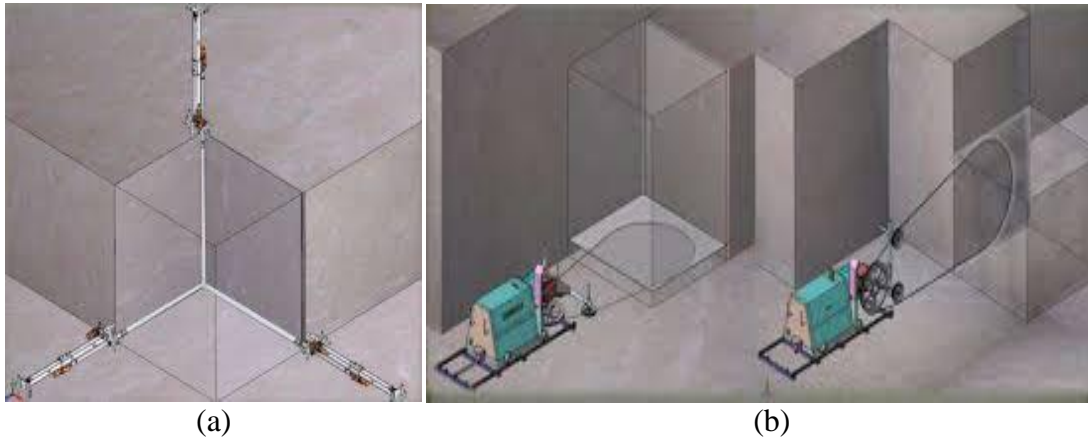


Şekil 2.4. Elmas tel makinesi.

Şekil 2.5.'te mermerin ocak üretiminde ki iş akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.6 (a-b).’de elmas tel kesme yöntemi ile üretimin temsili görüntüleri verilmiştir.

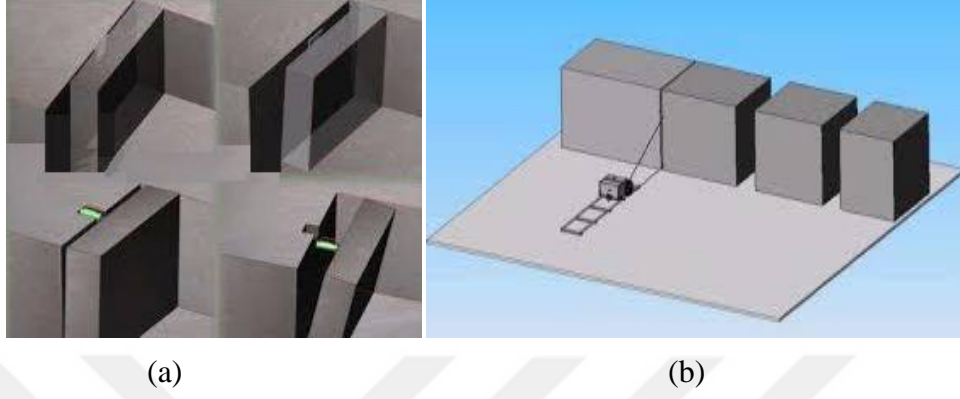


Şekil 2.6. Elmas tel kesme ile üretim (a: Elmas telin geçirilebilmesi için gerekli olan deliklerin delinmesi, b: Elmas tel kesme makinesi ile yatay ve düşey eksenlerde kesim).

Üretimde elmas tel kullanılıyor ise tellerin geçirilmesi için öncelikle telin geçireceği delikler açılmakta ve bu aşamada ince kırıklı parçalar meydana gelmektedir. Deliklerin açılması esnasında ortaya çıkan atık tane boyutu 0-10mm arasındadır. Elmas tel ile kesim işlemi sırasında telin temas ettiği hacim tamamen toza dönüşmekte olup ortalama 100-150

mikron tane boyutunda mermer tozu oluşmaktadır. Elmas tel veya kollu kesici ile üretimde kullanılan su, mermer tozu ile karışarak ‘mermer çamuru’ meydana getirmektedir.

Şekil 2.7 (a-b)’de mermer ocağında ana kütlede ayrılan kayanın devrilmesi ve ardından yapılan sayalama işlemine ait temsili görüntüler verilmiştir.



**Şekil 2.7.** a: Ana kütlede ayrılan kayanın devrilmesi, b: Sayalama işlemi.

Ana kütlede kesilerek ayrılan kaya, devrilerek sayalama işlemi ile blok eldesi sağlanmaktadır. Kalitesi veya rengi sebebiyle ticareti yapılamayacak olan kısımlar ise sayalama işlemi sırasında direkt olarak elenmekte ve atık sahasına gönderilmektedir. Sayalama kesimi sırasında süreksizlikler sebebiyle 1-2 metre gibi ölçülere sahip ve blok elde edilemeyecek özellikte büyük ebatlı parçalar kopmaktadır. Bir yüzeyleri düz olan bu parçalara ‘kapak’ adı verilmektedir. Diğer büyük ebatlı ve şekilsiz atıklara ise ‘moloz’denilmektedir.

Şekil 2.8 (a-b)’de sayalama makinesi ve bu makinede kullanılan elmas tel ait görüntüler verilmiştir.



**Şekil 2.8.** a: Sayalama makinesi, b: Elmas tel.

Ocak üretimi safhasında ortaya çıkan atıklar tane boyutu olarak 100 mikron ila 2 metre arasında oldukça geniş bir aralıktadır. Parça ve büyük ebatlı atıkların koordinatları

belirlenmiş ve tedbirleri alınmış atık depolama sahalarında muhafaza edilmesi gerekmektedir. Şekil 2.9.'da Muğla ilinde faaliyet gösteren bir mermer ocağının atık sahasının genel görünümü verilmiştir.



**Şekil 2.9.** Muğla ilinde faaliyet gösteren bir mermer ocağının atık yığını görüntüsü.

Şekil 2.10'da Netmer Madencilik firmasına ait olan mermer ocağının atık depolama sahasına ait görüntü verilmiştir.

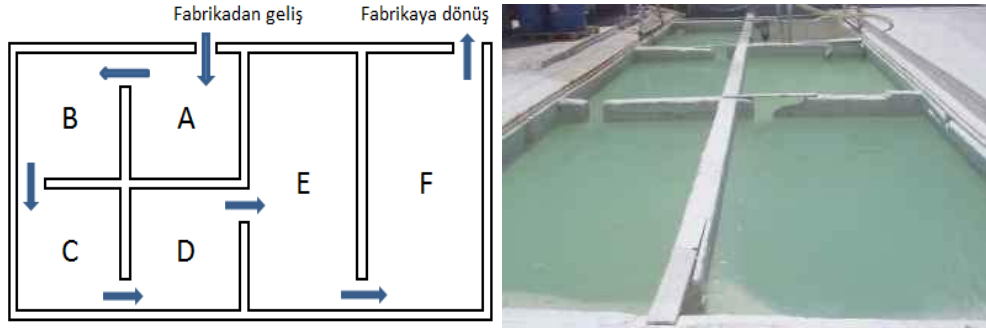


**Şekil 2.10.** Netmer Madencilik (Akçadağ)'e ait mermer ocağının atık sahası.

Mermer kesimi esnasında oluşan mermer çamurunun çöktürme havuzlarında veya atık su arıtma silolarında askıda katı madde giderimi sağlanmaktadır. Arıtılmış su, kesim sistemine geri dönerken susuzlandırılmış mermer kekinin ise atık yönetimi yönetmeliğine uygun şekilde kenarları ve tabanı beton olan depolama alanlarında muhafaza edilmesi gerekmektedir.

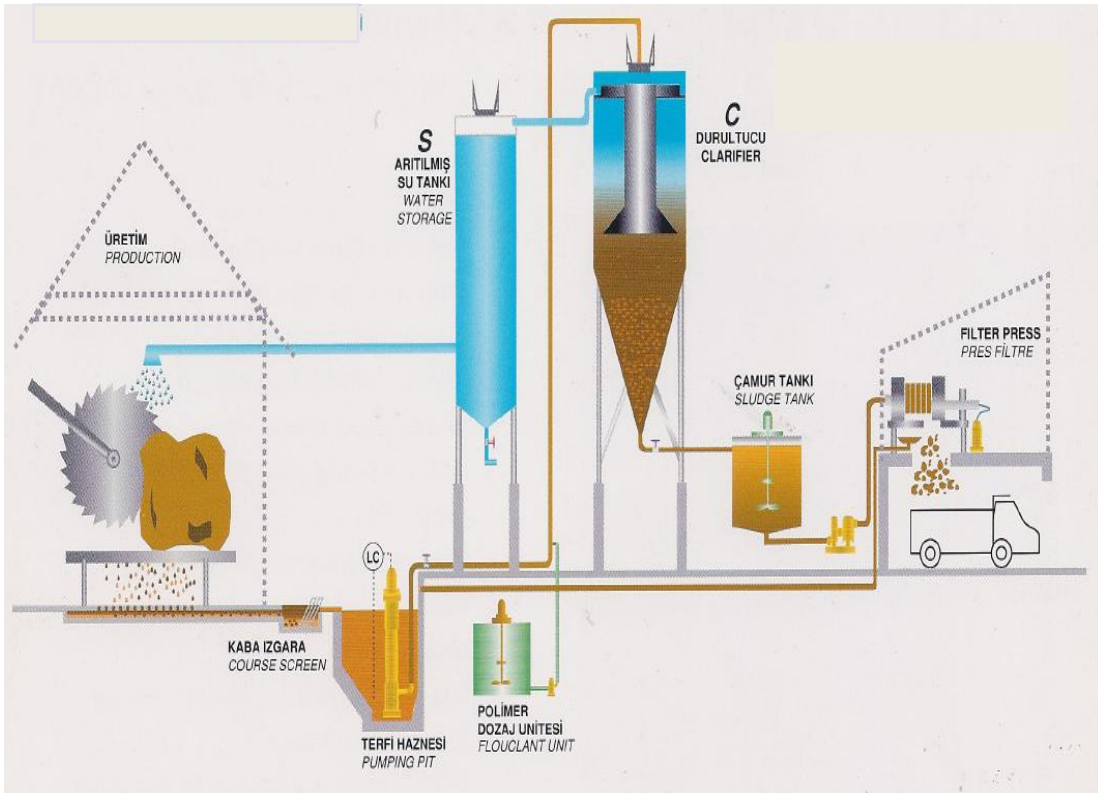
Şekil 2.11.'de mermer üretiminde oluşan mermer çamurunun arıtılmasında kullanılan ardışık havuz sisteminin plan ve uygulama görüntüleri verilmiştir.





Şekil 2.11. Ardışık havuz sistemi.

Şekil 2.12.'de mermer üretiminde oluşan mermer çamurunun arıtılmasında kullanılan silo ile arıtma sistemine ait plan görünümü verilmiştir.



Şekil 2.12. Silolarda atık su arıtımı şematik görünümü.

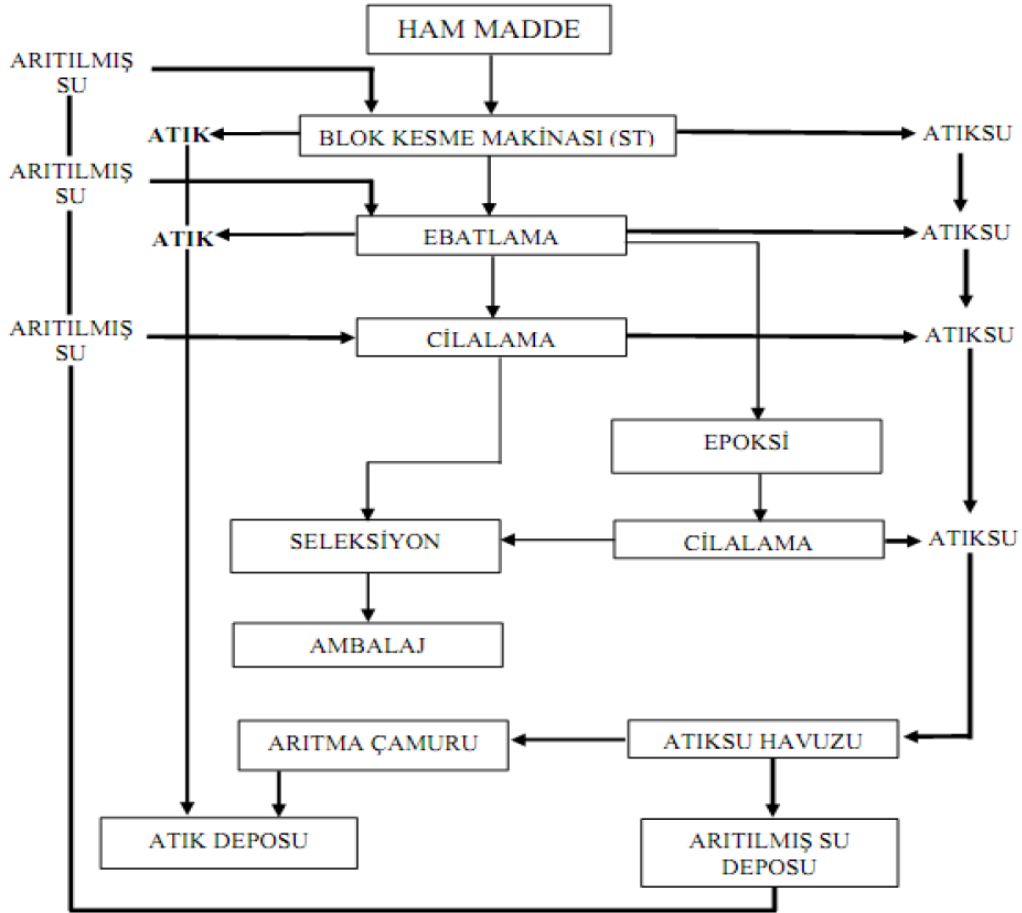
### 2.2.2. Mermer fabrika üretimi esnasında oluşan atıklar

Ocakta blok halinde elde edilen mermer, piyasanın talebine göre ebatlanması ve işlenmesi için öncelikler S/T ve katrik makineleriyle 1-3cm arasında değişen ebatlarda plaka kesimi yapılmaktadır ve ardından ihtiyaç duyulan boyutları elde edebilmek için ebatlama ünitesinde tekrar kesime alınmaktadır. Kalibrasyon ve cilalama ünitelerinden geçirilen mermerler kullanılabilir ürün haline gelmektedir.

Fabrika üretimine dair bahsettiğimiz bu basamakların her birinde ortaya çıkan atığın büyük bölümü toz formundadır ve kesim sırasında su kullanıldığı için mermer çamuru ortaya

çıkılmaktadır. Bu çamurun aynı ocak üretiminde olduğu gibi susuzlandırılması ve katı atığın ayrılarak atık sahasına gönderilmesi gerekmektedir. Fabrikalarda kesim sonucu ortaya çıkan mermer atık boyutları, 75 mikron ile 50 cm arasında değişmektedir.

Şekil 2.13.'de mermer işleme fabrikasındaki atık oluşum aşamaları ve iş akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.13. Mermer fabrikası genel üretim ve atık oluşum prosesi.

Şekil 2.14'de mermer fabrikasında S/T makinesiyle mermer kesimine ait görüntü verilmiştir. Şekil 2.15.'te ise katrik makinesiyle mermer blok kesimine ait görüntü verilmiştir.



**Şekil 2.14.** Mermer fabrikasında S/T ile mermer kesimi.



**Şekil 2.15.** Mermer fabrikasında katrik ile mermer kesimi.

Fabrikaya kesime giren mermer bloğunun, hacminin yaklaşık %30'u toz, %10-15'i ise boyutları iri parçalı (paledyen) atık olarak çıkmaktadır. Şekil 2.16 (a-b)'de mermer işleme fabrikasında oluşan paledyen ve toz atıkların görünüşleri verilmiştir.



(a)



(b)

**Şekil 2.16.** Fabrika üretimi sonucu oluşan atıklar (a: Paledyenler, b: Toz atıklar).



S/T ve ktrak makinelerinde her bir bıçağın aşındırarak toz haline getirdiği kalınlık 7-8mm'dir ve Ateş, K., [25] çalışmasında bu toz oluşumu kabaca şu şekilde hesaplamıştır;

1m x 1m x 1m ebatlarında yani 1 m<sup>3</sup> hacminde blok

Kesilen plaka kalınlığı = 2 cm

Toz olan dilimin kalınlığı = 0,8 cm

Toplam kalınlık = 2,8 cm

Blokta toz haline dönüşen dilim sayısı = 100 cm/2,8 = 36 adet

Kesilen dilimlerin toplam hacmi = 36 x 0,008 m x 1 m x 1 m = 0,288 m<sup>3</sup>

Plaka eldesinden sonra mermer, aşındırıcılar ile yüzey parlatma işlemine tabii tutulur. Bu işlem sırasında oluşan toz ise kesimden daha ince tane boyutlu olup -75 mikron boyutlu olduğu görülmektedir. Şekil 2.17.'de bir mermer işleme fabrikasına ait atık yığını görüntüsü verilmiştir.



**Şekil 2.17.** Bir mermer fabrikasında atık yığını görüntüsü.

Fabrikalarda oluşan atıklar yine inert atık kategorisindedir ancak mermer çamurunun susuzlandırılmasında kullanılan askıda katı madde giderimini hızlandıran kimyasallar (flokülanlar) sisteme dahil edilirse arıtma sonucu ortaya çıkan mermer keki ve arıtılmış su tehlikeli atık kategorisine girmektedir. Su arıtılmış olsa bile kanalizasyon sistemine deşarj edilememekte ancak fabrikada kesim için tekrar kullanımı sağlanmaktadır. Yine tehlikeli atık kategorisine giren mermer keki ise depolama şartlarına uygun olarak muhafaza edilmelidir.



### 2.2.3. Mermer atıklarının çevreye verdiği zararlar

Mermerin ocak ve fabrika üretimi safhasında açığa çıkan miktar, ticareti yapılandıran çok daha fazladır. Şöyle ki; ana kayadan sökülen 100 birim mermerin ancak 20 birimi cilalanmış ve ebatlanmış hale getirilebilmektedir. Oluşan yaklaşık %80 oranında atığın depolanması gerekmektedir.

Mermer atıkları, her ne kadar çevreye zarar vermeyen atıklar olarak değerlendirilmeye alınsa da yönetmeliğe uygun depolama şartları sağlanmadığı zaman toprak ve su kalitesini tehdit etmektedir. Ocak ve fabrika sahalarının çevresinde depolanan mermer atıkları halkın ve çevreci kuruluşların haklı endişe ve tepkilerine sebep olmaktadır. Mermer atıklarının çevreye verdiği zararlar, aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Mermer tozlarının toprağa deşarj edilmesi, toprağın su emme kapasitesini büyük ölçüde düşürebilir. Bunun sonucu olarak da toprak verimi düşer ve bölgedeki bitki varlığına büyük ölçüde zarar verir.
- Hava olayları sonucunda mermer tozu partikülleri havada uçarak hava kirliliği yaratır ve insan sağlığına zarar verir.
- Mermer çamuru arıtılmadan deşarj edilirse su kaynaklarına karışarak suyun kalitesini bozar ve suyun depolanmasını zorlaştırır.
- Mermer atıkları, toprakta uzun süre kaldığında, suyun akışını zorlaştırır ve yer altı su kaynaklarının beslenmesini engeller.
- Etraftaki atıklar görsel kirliliğe yol açar. Bu da bölgenin turizm ve endüstriyel kapasitesini olumsuz yönde etkiler [26].

Şekil 2.18.'de mermer tozlarının toprağa deşarj edilmesiyle oluşan duruma ait bir görüntü verilmiştir.



**Şekil 2.18.** Mermer toz atıklarının kontrolsüzce toprağa dökülmesi [4].

### 2.3. Mermer Atıklarının Kullanım Olanakları

Son yıllarda her sektörde yürütülmesi amaçlanan ve bazı sektörler de ise hayata geçirilen geri dönüşüm projeleri sayesinde atıkların kontrolü sağlanmaya çalışılmaktadır. Depolamanın artık bir çözüm değil, en son düşünülen seçenek olması amaçlanmaktadır.

Türkiye'nin mermer üretimi düşünüldüğünde yılda yaklaşık 30 milyon ton mermer atığı açığa çıkmaktadır. Bu kadar çok atığın söz konusu olduğu bir alanda, geri dönüşüm projelerinin planlanması kaçınılmazdır. Bu, dünyada birçok araştırmanın konusu haline gelmiş ve mermerin ocak ya da fabrikadan çıktığı haliyle veya ardışık işlemlerden geçirilerek farklı sektörlerde kullanımı sağlanmıştır. Değerlendirme imkanı bulunan sektörde ürüne göre ihtiyaç duyulan  $\text{CaCO}_3$  yüzdesi ve tane boyutu farklıdır. Örneğin; kağıt ve boya sektörlerinde 2 mikron tane boyutuna ihtiyaç duyulurken, plastik sektöründe %98  $\text{CaCO}_3$  içeriği istenmektedir.

Çizelge 2.1.'de Türkiye'de sektörlerin yıllık üretim raporlarından derlenmiş olan üretim miktarları ve kullanılan  $\text{CaCO}_3$  yüzdesel olarak ifade edilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Mermer tozlarının sanayide kullanım alanları ve oranları [26].

Kullanım Alanı	Kullanılan $\text{CaCO}_3$ %	Yıllık Üretim (ton)
Seramik	5-6	Tespit edilemedi
Plastik	30-45	10.000.000
Çimento	15-20	147.000.000
Gübre	50-60	6.000.000
K.Hayvan yemi	10-12,5	927.000
B.Hayvan yemi	5-7	1.450.000
Boya	25-35	800.000
Kağıt	2-35	3.800.000

Ekonomik ve çevresel açıdan oldukça önemli olan bu geri dönüşüm, günümüzde devlet teşvik ve kredileriyle desteklenmektedir.

#### 2.3.1. Kağıt Endüstrisi

Mermer tozları, kağıt sanayiinde dolgu ve kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kağıt üretiminde mermer tozunun tane boyutunun 2 mikronun altında olması ve %98 oranında  $\text{CaCO}_3$  bulundurması istenen özelliklerdir.  $\text{CaCO}_3$ , özellikle sigara kağıdı başta olmak üzere gazete kağıdı, kaliteli dergi kağıtları üretiminde kullanılmaktadır [25].

Mermer tozu yağ emme özelliğine sahiptir ve böylelikle matbaa mürekkebinin daha hızlı kurumasını sağlamaktadır. Aynı zamanda mermer tozu kullanımıyla sigara kağıtlarında daha düzgün bir yanma elde edilmektedir.

Mikronize kalsit, yazı kâğıtları, duvar kâğıtları ve kartonların üretiminde selüloza % 15–30 oranında katılarak kullanılmaktadır. Yüksek beyazlıkta olması, ucuzluğu ve kâğıda kazandırdığı özelliklerden dolayı son 10 yıl içerisinde Avrupa'dan başlayıp tüm dünyada kaolen'in yerini alarak kağıt sektörüne girmiştir. Mermer tozu kullanımı, kâğıt sektöründe daha az selüloz ve daha az optik beyazlatıcı tüketimi sağlayarak çevreye de katkıda bulunmaktadır [25].

### **2.3.2. Boya Sektörü**

Boya sektöründe, mermer tozuna göre daha saf ve renk bakımından da daha beyaz olan kalsit kullanılmaktadır. Kalsitin boya yapımında kullanılabilmesi için çok ince öğütülmesi gerekmektedir. Yapılarda kullanılan iç ve dış mekan boyalarında %25-30 oranında kalsit kullanılmaktadır.

Renk ve görünümde fazla hassasiyet gerektirmeyen boyaların imalatında, molozlardan veya fabrikada kesim sırasında elde edilecek olan mermer tozu kullanıma uygundur. Böylelikle pahalı pigmentlerin bir kısmının yerine kullanarak üretim maliyetini azaltmak, boyanın tek kat kullanımında daha kapatici özellikte olmasını sağlamak, suya ve kimyasal maddelere karşı dayanıklılığını arttırmak ve ayrıca daha mat bir görünüm sağlamak amacıyla kullanılmaktadır [22].

Boya sektöründe kullanılacak mermer tozu çok ince boyutta olmalıdır (0,77 ile 44 mikron arasında değişir). Türkiye'de boya sektöründe yılda ortalama 80.000 ton, dünyada ise 8 milyon ton kalsit kullanılmaktadır [25].

### **2.3.3. Cam Sanayii**

CaO cam imalinde kullanılan ana hammaddelerden birisidir. Mermer tozunun içeriğindeki CO<sub>2</sub> kalsinasyon işlemi ile uçurularak cam sanayinde değerlendirilmektedir. Bu işlemde Mg ve Ca bakımından zengin olan kireçtaşları tercih edilmektedir. Kalsiyum içeriği fazla olan mermer tozu normal cam üretiminde, magnezyum içeriği fazla olan mermer tozu ise özel amaçlı cam üretiminde kullanım imkanı bulmaktadır. Demir oksit içeriği %1'in altında olan mermer tozları renksiz, üzerinde olanlar ise renkli cam üretiminde kullanılabilir [4]. Camda kalsiyum karbonat CaCO<sub>3</sub> kullanımının bir diğer amacı

ise, camın çözünürlüğünü azaltmak, camın kimyasallara karşı dirençli hale gelmesini sağlamak, camın mekanik direncini ve parlaklığını arttırmaktır [26].

#### **2.3.4. Tarım ve hayvancılık sektörü**

Mermer tozlarının tarım ve hayvancılık sektörlerinde de değerlendirilme imkanı vardır. Asidik özellikte olan topraklarda ürün verimliliğini sağlamak için toprağın kalsiyum içeriğinin artırılması gerekmektedir [25]. Bunun için kalsiyum karbonat, kalsiyum oksit, hidroksil veya dolomit gibi kalsiyumlu maddeler kullanılır. Bu maddeler ise mermer tozu ile karşılanabilmektedir. Bu amaçla kullanılacak mermer tozunun  $\text{CaCO}_3$  içeriği TSE standardında %80 olarak belirlenmiştir. Ayrıca mermer tozunun mermer kesim tesislerinde kullanılan kimyasalları içermemesi gerekmektedir.

Mermer toz atığı %92,5  $\text{CaCO}_3$  içerdiği takdirde TS 860'a göre hayvan yemi üretiminde kullanılabilir. Hayvan yalama taşlarında kullanıldığı gibi yumurta çiftliklerinde kullanılan yumurta yeminde olması gereken kalsiyum karbonat ihtiyacını karşılayabilmektedir.

#### **2.3.5. Plastik Sektörü**

Dünyada plastik ihtiyacının artmasıyla birlikte üreticiler, maliyeti azaltmak amacıyla farklı yollar denemiş ve plastik üretiminde dolgu maddesi olarak mineral kullanımının uygun olacağını görmüşlerdir. Bu minerallerden biri de  $\text{CaCO}_3$ 'tür. Mermer tozu atıklarının bu bağlamda kullanılabilmesi için %97 oranında  $\text{CaCO}_3$  içermesi gerekmektedir. İnce tane boyutunda olması ve içeriğinde ağır metallerin olmamasının yanı sıra kimyasal saflığa da ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla kullanım öncesinde bir prosesten geçirilmesi gerekmektedir.

Plastik üretiminde, dolgu malzemesi olarak %45 oranında  $\text{CaCO}_3$  kullanılmaktadır. Plastik maddelerde, sertlik, elastiklik, büzülme, iç gerilme ve yüksek sıcaklıkta dayanım özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir [25].

#### **2.3.6. Seramik Endüstrisi**

Mermer tozu, genellikle ince seramiklerin bünyelerinde kullanılmaktadır. Bundan dolayı kullanılan mermer atığının, yapısal anlamda mümkün olduğunca ince olması, içerisinde mermer tozuna renk verecek bir mineralin bulunmaması istenmektedir. Bu sebeple, kullanılacak mermer tozunun yüksek oranda kalsit içermesi istenir. Mermer, feldspatla beraber ısıtıldığında, erime noktasının düşürülmesini sağlayarak sıra maddesini

oluşturmaktadır. Bu özelliğinden ötürü mermer atıkları sır üretiminde kullanılabilir. [26]

Seramik çamurlarının bünyesinde %5 ila %20 oranında kalsit kullanılmaktadır. Kalsit, çok ince bir biçimde işlendikten sonra seramik hamurunun içine eklenebilmektedir. Kalsitin taneciklerinin büyük olması, seramiğin bünyesinde düzensizliklere sebep olmaktadır. Seramiğin hammaddesi olan kalsit ve kalsitin türevleri, seramik çamurlarında sıcaklığın artışının beraberinde meydana gelen gözenekleri doldurarak kusurların azaltılmasını sağlamaktadır [26].

### **2.3.7. İnşaat Sektörü**

Yüzyıllar öncesinden beri ana yapı malzemesi olarak kullanılan mermerin atıkları da yine inşaat sektöründe en geniş kullanım imkanı bulmaktadır. Çimento üretimi, beton katkı maddesi üretimi, seramik üretimi, kireç üretimi, tuğla üretimi, gazbeton üretimi, suni mermer üretimi, boya üretimi, derz dolgu malzemesi üretimi, parke taşı üretiminde ve yol yapım çalışmalarında doğrudan kullanımı sağlanabilmektedir.

Toz halindeki atıklar tuğla, kireç, çimento ve gaz beton üretiminde önemli ölçüde kullanılırken, ince (0-4mm) ve iri (4-31,5mm) parçalar ise agega olarak beton ihtivasında kullanılabilir. [26].

Mermer atıklarının kireç üretiminde kullanılabilmesi için, kalsit mineralinin kalsinasyon adı verilen kimyasal bir işleme tabi tutulması gerekmektedir. Bu işlem, kısaca kalsit mineralinin 900-1000 °C sıcaklık altında kalsiyum oksit (CaO) ve karbondioksite (CO<sub>2</sub>) ayrıştırılmasıdır. Bu işlem sonrasında kirecin hammaddesi olan kalsiyum oksit elde edilmektedir [26].

Tuğla üretiminde %10 oranında ganit tozu kullanımı, su emme, piroplastik deformasyon indeksi ve eğilme dayanımı açısından daha iyi özellikler sunmaktadır.

Yol yapımında kullanılan malzemenin yaklaşık %95'i agegalardan oluşmaktadır. Parça ve toz halinde ki mermer atıkları, sürtünme tabakasında veya binder tabakasında kullanılırken, ince malzeme de bağlayıcı katkı olarak kullanılmaktadır [22]. Asfalt yollarda kullanılacak mermer atıklarının sürtünme olayına karşı dirençli olması istenmektedir. Kullanımdan önce sürtünmeye karşı direncinin tespit edilmesi ve cilalanma direncinin 45 ten büyük olması gerekmektedir.

Beton içerdiği malzemeler bakımından kum, çimento, aģega ve sudan oluşmaktadır. Geri donüştürülebilir mermer atıkları boyutlarına göre çimento ve aģega üretiminde kullanılabilir. Bununla birlikte, mermer atıkları betonun dayanımını artırıcı katkı maddesi olarak da kullanılabilir. Bu sebepten dolayı mermer atıkları bu malzemelerin yerine geçerek mevcut mermer zayıatı farklı bir alanda değerlendirilebilmekte; hem de daha ekonomik bir beton imal edilebilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda mermer tozunun daha kaliteli çimento üretimine katkı sağladığı; mermer parça atıklarının ise optimum oranda beton aģegası olarak kullanıldığında, betonun dayanımını artırdığı sonucuna varılmıştır [26].

#### 2.4. Beton

Beton, düşük maliyetli, yüksek dayanımlı, yangına dirençli ve hammaddeleri doğada çokça bulunan bir yapı elemanıdır. Beton üretiminin diğer yapı elemanlarına nispeten daha kolay ve daha az enerji ile yapılıyor olması betonu aynı zamanda çevre dostu bir malzeme haline getirmektedir. Dayanıklılığı sayesinde kullanıldığı yapılarda estetik görünümün yanı sıra uzun bir yapı ömrü de sağlamaktadır [27].

şekil 2.19’de betonun dayanım sınıfı tanımı verilmiştir.



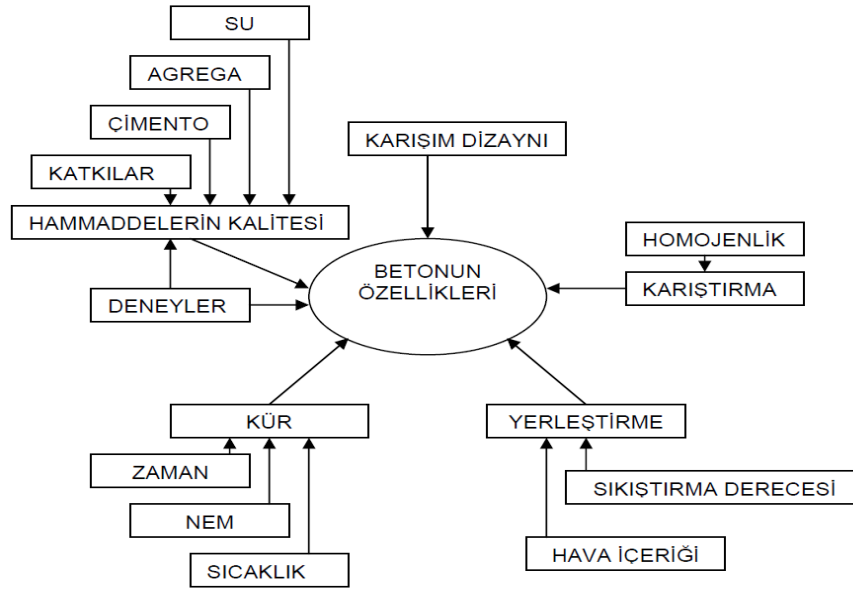
**şekil 2.19.** Beton sınıfı tanımı

Beton; aģega, su, çimento ve gerekiyorsa katkı maddelerinin bileşiminden oluşmaktadır. Tasarıma bağlı olarak betonda hacmin yaklaşık %70’ini aģega, %10’unu çimento geri kalan %20 lik hacmi ise su oluşturmaktadır. Kullanılan katkı maddeleri ise, çimento miktarının %5’ini geçmemek kaydıyla ilave edilmektedir. Beton tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır;

- Kullanılan çimento özellikleri,
- Karışım suyu özellikleri,
- Yerleştirme,
- Dış etkiler- kür koşulları,

- Arega özellikleridir.

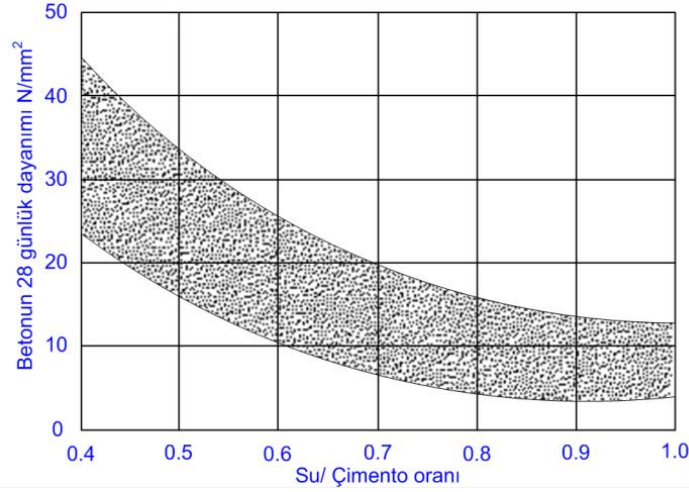
Şekil 2.20.'da betonun özelliklerini etkileyen faktörler özetlenmiştir.



Şekil 2.20. Betonun dayanımına etki eden faktörler [27].

Beton karışım tasarımı yapılmadan önce betonun kullanılacağı yer, maruz kalacağı çevresel etkiler, yapının özellikleri ve betondan istenilen özellikler belirtilmeli ve tasarım parametreleri bu özelliklere göre seçilmelidir. Örneğin; dona maruz kalacak bir yapının donma çözülmeye dirençli bir beton ile üretilmesi gerekmekte ve bu duruma uygun yöntemlerle deneye tabii tutulmalıdır [28]. Özelliklerin belirlenmesiyle birlikte arazi veya laboratuvar verilerinin de yardımıyla nihai tasarıma yapılabilmektedir. Üretilen betondan beklenen özellikler doğrudan çimento pastasının özellikleriyle ilgilidir. Seçilen su/çimento oranı, beton karışım tasarımının ilk aşamasını oluşturmakla birlikte geçirimsizlik, dayanıklılık ve mukavemetini belirleyen önemli faktörlerden biridir [28]. Dolayısıyla su/çimento oranı seçimi titizlikle yapılmalıdır.

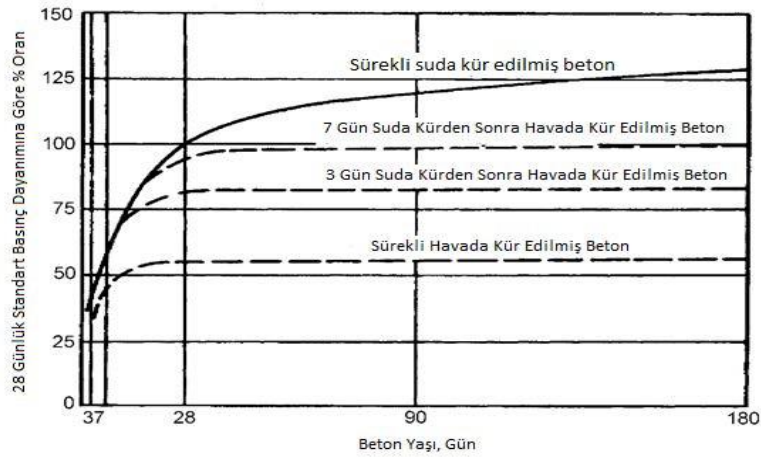
Betonda su/çimento ve malzeme oranı, beton dayanımı ve dayanıklılığı üzerinde etkili en önemli parametredir. Dayanım (basınç veya eğilme), beton kalitesi için evrensel olarak kullanılan genel bir ölçüdür. Yapılarda betonun mukavemet değeri her ne kadar ön planda tutulsada, aşınmaya, donma çözülme olayına ve sülfata karşı gösterdiği direnç de büyük önem arz etmektedir [28]. Betonun bu etkilere karşı gösterdiği direnç aynı zamanda betonun ömrü hakkında bilgi vermektedir. Şekil 2.21'de tasarımda seçilen su/çimento oranının beton dayanımına etkisini gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 2.21. Su/çimento oranı-basınç dayanımı ilişkisi [29].

Beton içindeki çimento pastasının dayanımı, su ve çimentonun özelliklerine bağlı olmakla birlikte hidrasyon olayının derecesiyle de ilgilidir. Betonda yeteri kadar rutubet ve gerekli sıcaklık sağlanıldığı takdirde istenilen dayanım özelliklerine ulaşmak mümkündür. Bu sebeple, betonun üretiminden sonra gerekli kür şartlarının sağlanması önemlidir. Beton yaşına göre dayanımda ki değişme, hidrasyon derecesinin fonksiyonudur. [28].

Şekil 2.22.'de betonun kür şartları ve yaşına göre değişen beton basınç dayanımını gösterir grafik verilmiştir.



Şekil 2.22. Beton yaşı ve kür şartları arasındaki ilişki [28].

Beton, hizmet ömrü süresince donma-çözülme, ıslanma-kuruma, ısınma-soğuma, zararlı kimyasal etkiler, vb. şartlara maruz kalabilir. Böyle durumlar söz konusu olduğunda çeşitli önlemler almak gerekir. TS 802: 2009 standardında bu önlemler şöyle belirtilmiştir;

- Alkali-agega reaksiyonunun önlenmesi veya etkilerinin azaltılması için düşük alkalili çimento, puzolanik katkı veya reaktif olmayan agega kullanılmalıdır.



- Deniz suları, sülfatlı sular veya sülfatlı zeminlerin betonla teması söz konusu olduğunda, sülfata dayanıklı çimento, cürufu çimento veya puzolanik katkıları kullanılabilir. Betonun geçirimsizliğini azaltmak için su/çimento oranı azaltılmalıdır.

- Donma-çözülme etkisini azaltmak için hava sürükleyici katkı kullanılmalıdır [28].

Sonuç olarak, tüm parametrelerin değerlendirilmesiyle birlikte beton tasarımı, TS 802: 2009 'Beton Karışım Hesap Esasları' standardının işaret ettiği oranlarda düzenlenmeli ve denemeler sonucunda nihai tasarım yapılmalıdır.

#### **2.4.1. Agega**

Farklı tane boyutları içeren mineral malzemeye agega denilmektedir. Agega, çimento pastasında dolgu malzemesi olarak görev alarak sağlam, boşluksuz, ekonomik ve planlanan ebatlarda bir beton kütlesi elde edilmesini sağlamaktadır.

Agegalarda istenilen özellikler şöyledir; [30].

- a) Yeterli basınç dayanımı,
- b) Atmosferik etkilerle bozulmama,
- c) Donma-çözülme olayına dirençli,
- d) Islanma-kuruma olayında hacim değişimine uğramama,
- e) Sülfat ve Klor iyonlarını taşıyamama,
- f) Alkali-silika reaksiyonu göstermeme[30].

Agega betonda hacimce % 70 oranında bulunmaktadır. Tane boyutuna bağlı olarak iri ve ince olarak isimlendirilmektedir. İri agegalar genellikle taş ocaklarında üretilen malzemenin boyut küçültme işlemine tabii tutulmasıyla elde edilmekte olup doğal olarak şekillenmiş olarak da bulunabilir. Temin edilen agegada önemli olan husus zararlı madde içermemesidir. Bu zararlı maddeler; yumuşak taneler, kil, çözünebilir tuzlar ve organik maddeler olabilir. İnce agegalar, silikat içerikli olabildiği gibi kalkerin kırılıp öğütülmesiyle de elde edilebilmektedir. Dere kumu gibi doğal şekillenmiş malzemeler ince agegalardır [28].

Agegadan beklenen özellikler, TS 706 EN 12620 standardında belirtilmiş olup özelliklerin belirlenmesinde kullanılacak deney metodları ve ilgili standartlar aşağıdaki gibidir;

Agegaların geometrik özellikleri için deneyler:

- Eleme metodu ile tane büyüklüğü dağılımı tayini (TS EN 933-1 )
- Tane şekli tayini-yassılık endeksi (TS EN 933-3)
- İri agegalarda kavkı içeriğinin tayini-kavkı yüzdesi (TS EN 933-7)
- İnce tanelerin tayini-metilen mavisi deneyi (TS EN 933-9)

Agegaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler:

- Agegaların tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini (TS EN 1097-6)
- Parçalanma direncinin tayini (TS EN 1097-2)
- Aşınmaya karşı direncin tayini (Micro-Deval) (TS EN 1097-1)
- Çivili lastiklerden kaynaklanan aşınmaya karşı direncin tayini –Nordik deneyi (TS EN 1097-9)

Agegaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler:

- Donmaya ve çözülmeye karşı direncin tayini (TS EN 1367-1)
- Magnezyum sülfat deneyi (TS EN 1367-2)
- Kuruma çekmesi tayini (TS EN 1367-4)
- Alkali-Silika reaksiyonu deneyi (CANADA CSA 23.2 – 25A)

Agegaların kimyasal deneyleri:

- Organik madde tayini deneyi (TS EN 1744-1)
- Harç metoduyla organik kirleticilerin tayini (TS EN 1744-1)

Yukarıdaki deneyler sonucu belirlenen özellikler beton tasarımında önemli bir adımdır. Örneğin ; ince (0-4 mm) ve kalın (4-31,5 mm) agegaların kullanım oranları, tane şekli, yoğunluğu ve su emme değerleri, betonda kullanılacak agega hacmini ve su miktarlarını dolayısıyla çimento miktarını ve su/çimento oranını doğrudan etkilemektedir. Ageganın donma çözülmeye karşı direncine göre ise su/çimento oranı ve çimento dozajı seçilebilmektedir. Ayrıca üretilecek betonun kullanılması düşünülen yerde ki çevresel şartlara uygun olup olmadığı değerlendirilebilir.

Çizelge 2.2.'de agegaların özelliklerine göre sınıflandırılması verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Agegaların sınıflandırılması [28].

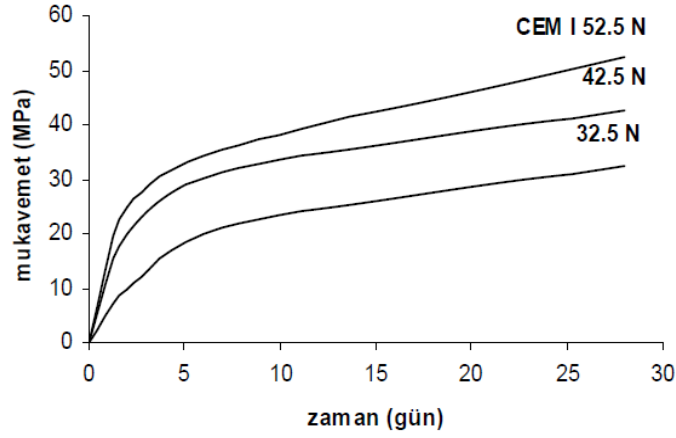
Agega	Özellik - Kategori
Kaynağına göre	Doğal: dere yataklarından elde edilir ve çoğunlukla silikat içerir. Kırmataş: kaya bloklarının konkasörle kırılmasından elde edilir ve çoğunlukla karbonat içerir. Yapay: bir endüstri kolundan yan ürün olarak elde edilir.
Özgül ağırlıklarına göre	Hafif: yoğunluğu 2,4 g/cm <sup>3</sup> 'den küçük Normal: yoğunluğu 2,4-2,8 g/cm <sup>3</sup> aralığında Ağır: yoğunluğu 2,8 g/cm <sup>3</sup> 'den büyük
Tane büyüklüklerine göre	İnce (kum) : çapı 4 mm den küçük İri: çapı 4 mm den büyük Yuvarlak: doğal agegalar bu tiptedir.
Tane şekline göre	Köşeli: kırmataş (mıcır) Yassı: deniz kumu gibi Uzun Düzgün Pürüzlü
Yüzey dokusuna göre	Ganüler Kristalli Petekli Volkanik
Jeolojik kökenine göre	Tortul Metamorfik Silis mineralli
Mineralojik yapısına göre	Karbonat mineralli Mikalı vb.

#### 2.4.2. Çimento

19.yy'ın ilk yarısında keşfedilen çimento, su ile birleştiğinde katılaşır ve sertleşebilen hidrolik bir bağlayıcı malzemedir. Günümüzde oldukça çeşitli çimento türleri bulunmasına karşılık, bunların arasında dünya çimento üretiminin % 75 inin teşkil eden ve beton üretiminde bir ayrıcalığı olan Portland çimentoları en yaygın olanıdır.

Portland çimentosunun hammaddeleri kil, kalker ve az miktarda demir oksit içeren topraklardır. Kil, silis (SiO<sub>2</sub>) ve alümin (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) içeren bir maddedir. Kalker ise kalsiyum karbonattır (CaCO<sub>3</sub>). 1400°C de ve özel fırınlarda pişirilen hammadde karışımı kısmen ergir ve SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oksitleri, ilk durumlarından farklı bir biçimde (karmaoksitler) birleşerek, çimentonun esasını teşkil eden klinkeri meydana getirirler. Ceviz iriliğinde, koyu gri renkli klinkere %2-3 oranında alçıtaşı katılarak öğütme yapılır ve çimento elde edilir [30]. Portland çimentolarında klinker oranı yaklaşık %95 civarındadır.

Şekil 2.23'te çimentolarda zamana bağlı mukavemet değişimini gösteren grafik verilmiştir.



**Şekil 2.23.** Çimentolarda zamana bağlı mukavemet değişimi [30]

### 2.4.3. Su

Su, beton tasarımında oldukça önemli bir parametredir. Taze betonda kullanılan karışım suyunun görevleri;

- Kuru malzemeleri ıslatarak işlenebilir hale getirmek,
- Çimento ile reaksiyona girerek, betonun sertleşmesini sağlamaktır [27].

Su, sülfat ve klor gibi betona zarar verebilecek maddeler içermemelidir. Genellikle içilebilir özellikte ki su, beton karışımında kullanılması açısından uygun olarak görülmektedir.

Kullanılacak su, asit reaksiyonu göstermemeli ( $\text{pH} \geq 7$ ), agesif karbonik asit, mangan bileşikleri, amonyum tuzları, serbes klor, organik maddeler ve endüstri artıkları bulunmamalıdır. Litresinde en çok çözülmüş halde 15 g. ve yüzer halde 2 g. madeni tuz, yine litresinde en çok 2 g  $\text{SO}_3$  bulunabilir [29].

Karışımında fazla su kullanımı dayanımı düşürmekte dolayısıyla kullanılacak optimum su miktarının belirlenmesi TS 802 standardında hedef dayanım sınıfına göre belirlenmiş miktarlarda olmalıdır. Su miktarının artışı ve mukavemet arasında ki ilişkiyi şu şekilde özetleyebiliriz;

<u>Su Miktarı</u>	<u>Mukavemet</u>
%20 fazla olması,	%30 azalmaya
%30 fazla olması,	%50 azalmaya
%100 fazla olması,	%80 azalmaya neden olmaktadır.

#### 2.4.4. Katkı Maddesi

Betonda, su, çimento ve aģeganın dışında katkı maddeleri de kullanılmaktadır. Kullanılan katkı maddeleri ile betonun işlenilebilirliği, dayanıklılığı ve mukavemti arttırılabilmekte olup aynı zamanda sertleşmeyi hızlandırmak veya yavaşlatmak da mümkündür. Bunun yanında betonun ısıl genleşme ve geçirgenliği de beton katkı maddeleriyle kontrol edilmektedir. Hava sürükleyici katkı maddeleriyle birlikte betonun içinde mikroskobik hava boşlukları sağlanarak donma çözülme olayına dirençli bir beton elde edilmesi de mümkündür. Akışkanlaştırıcı katkı maddeleri ise imento taneciklerini birbirinden uzaklaştırarak karışımın daha akıcı hale gelmesine sebep olmaktadır. Bu sayede daha homojen bir karışım elde edilirken aynı zamanda karışım suyu miktarı da azaltılmaktadır.

Çizelge 2.3.'te beton karışımında kullanılan katkı maddesi tipleri ifade edilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Betonda kullanılan katkı maddesi tipleri [30]

Beton zelliği	Katkı tipi	Katkı türü
İşlenebilme	Karışım suyu azaltıcı	Kimyasal
	Hava sürükleyici	Kimyasal
	Atıl, toz halindeki katkılar	Mineral
Priz süresi	Puzolanlar	Mineral
	Hızlandırıcı katkılar	Kimyasal
	Geciktirici katkılar	Kimyasal
	Karışım suyu azaltıcılar	Kimyasal
Dayanım	Puzolanlar	Mineral
	Polimer lateksler	Diğer
	Geciktirici katkılar	Kimyasal
	Hızlandırıcı katkılar	Kimyasal
	Hava sürükleyici katkılar	Kimyasal
Durabilite	Puzolanlar	Mineral
	Karışım suyu azaltıcılar	Kimyasal
	Korozyon inhibitörleri	Kimyasal
	Su itici katkılar	Diğer
	Polimer lateksler	Diğer
	Crflar	Mineral
Özel betonlar	Genleştirici katkılar	Diğer
	Renk katkıları	Diğer
	Gaz kabarcıkları oluşturan katkılar	Diğer

#### 2.5. Beton Parke Taşları

Beton kilit parke taşları imento, aģega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılması ve beton parke makinesi vasıtasıyla üretilen yapı elamanıdır. Beton parke elemanları farklı tip ve ebatlarda fabrikasyon olarak üretilmekte ve son yıllarda hızla yaygınlaşan beton zemin kaplamalarında kullanılmaktadır. Kent içi yollarda (ağır taşıt trafiğinin yoğun olmadığı cadde ve sokaklarda) kaldırımlarda, yaya yollarında rekreasyon alanlarında, site içi bağlantı yollarında vb. kullanılmaktadır [19].

Teknik şartnamelerde istenildiği üzere, kullanım yerine göre 6, 8 ve 10cm kalınlıklarda üretilen parke taşları küp, yaprak, S, I, baklava, çimtaşı gibi farklı şekillerde üretilmektedir. En yaygın olarak kullanılan ise I şeklinde olan kilitli parke taşıdır. Şekil 2.24.'te kilitli parke taşına ait görüntü verilmiştir.



Şekil 2.24. Kilitli parke taşı.

### 2.5.1. Beton parke taşı üretimi

Parke taşlarında kullanılan beton kıvam bakımından kuru ya da yarı kuru betondur yani su miktarı oldukça düşüktür. Üretim makinesinin uyguladığı baskı ve vibrasyonla kalıplara mümkün olduğunca iyi yerleşmesi sağlanmaktadır. Su miktarının düşük olması, parke taşına yüksek dayanım ve durabilite özellikleri vererek uzun ömürlü bir kaplama malzemesi elde etmeye imkan sağlamaktadır.

Beton parke taşı üretimi için hazırlanan aģe, su ve çimento karışırma tankına gönderilmekte ve bu tankta homojen hale gelene kadar karıştırılmaktadır. Karışım, kalıpların bulunduğu kısma aktarılarak 6-10 saniye arası titreşim ve baskı ile kalıplara yerleşirme sağlanmaktadır. Parke taşları, çıkış kısmından paletlerle alınarak stok alanında yağmurlama yöntemi ile kürlenmeye bırakılmaktadır [13].

Şekil 2.25'te parke taşı üretim makinesine ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 2.25. Parke taşı üretim makinesi.

### 2.5.2. Beton parke taşı avantaj ve dezavantajları

Ülkemizde çimento ve hazır beton sanayisi oldukça gelişmiştir. Yapılarda kullanımının yanısıra fabrikalarda beton zemin kaplama elemanları üretimi de yapılmaktadır. Kapalı alanda üretim yapıldığından sadece yaz aylarında değil kış aylarında da üretim devam edebilmektedir [31].

Açıkgöz, Y., çalışmasında parke taşlarının avantajlarını aşağıdaki gibi belirtmiştir.

- Fabrikada üretildiği için dayanımı yüksek bir kaplama elde etmek mümkün olmaktadır.
- Yol, kaplamanın hemen ardından bekletilmeden trafiğe açılabilir.
- Kaplamanın yapımı meteorolojik koşullardan etkilenmemektedir.
- Parkelerin yan yana getirilmesinde birbirine uyum sağlayan girinti ve çıkıntılar taşıtların frenlemesinden veya hızlanmasından doğan yatay kayma gerilmelerini, kolayca aktarabilmektedir. Böylelikle zemin kaplamanın kırılma ihtimali düşüktür.
- Alt yapı çalışmalarının, malzeme kaybı olmadan kolaylıkla yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bozulan yüzeyin, kaldırılan malzeme ile tekrar onarılması mümkündür ve kolaylıkla yapılabilir.
- Çeşitli renk ve değişik geometrik şekillerde üretilebilir. Bu nedenle mekanların çeşitli renk ve desenlerde kaplanması, mekan sınırlarının çizilmesi, trafik işaretlerinin belirlenmesi, çevreye estetik yönden uyum sağlaması, ayrıca kendi başına estetik durması, önemli bir avantaj ve üstünlük olarak sayılmaktadır.
- Beton yollarda derzlerin kontrolü ve derz dolguları değişiminin 4-5 yılda bir yapılması gerekir. Asfalt yollarda ise ortaya çıkabilecek çatlama, çukurlaşma veya ayrışmalardan ileri gelen bozuklukların onarımının daha kısa periyotlarda yapılması gerekmektedir. Oysa kilitli beton parke kaplamanın, yapım sonrasında itibaren 25 yıl bakım gerektirmediği saptanmıştır [31].
- Gevşek zemin döşemelerinde yüzey drenajı için uygun koşullar sağlamaktadır.

Bu avantajlarının yanında, beton parke taşları ile zemin kaplamaları yapımı için bu işte kalifiye bir ekibe gereksinim duyulmaktadır. İlerleme hızının da yine bu ekibin çalışma hızına bağlı olmakta ve herhangi bir alt yapı onarımı sonrasında veya üst yapı onarımında yine kalifiye bir ekibe gereksinim duyulmaktadır. Şehir içi yollar için son derece uygun bir kaplama türü olmasına karşılık çok daha uzun olan şehirler arası yollarda, yapım hızı

sebebi ile pratik ve ekonomik olmaması gibi faktörler bu kaplama tipinin zayıf taraflarını oluşturmaktadır [31].

### **2.5.3. Beton parke taşlarında istenilen özellikler**

TS 2824 EN 1338 ‘Zemin döşemesi için Beton Kaplama Blokları- Beton Parkeler- Gerekli Şartlar ve Deney Metodları’ standardında belirtildiği üzere, beton parke taşlarından şu özellikler beklenmektedir;

*Yarmada çekme dayanımı:* En düşük 3.6 MPa olmalıdır, tek numunede ise 2.9 MPa dan az olmamalıdır.

*Su emme oranı:* Ortalama %6 ‘ya eşit veya küçük olmalıdır.

*Don dayanımı:* Kütle kaybı en fazla 1kg/m<sup>2</sup> olmalıdır.

*Görünüş:* Beton parke taşının yüzeyinde çatlak, boşluk ve pürüzler olmamalıdır.

### **2.5.4. Beton parke taşlarında görülen bozulmalar**

Parke taşları cadde, sokak, otopark alanları ve yürüyüş yolları gibi alanlarda kullanıldığından meteorolojik olaylardan direkt olarak etkilenmektedir. Sıcak, soğuk, don ve yağmur gibi durumlarda ıslanma, kuruma ve donma olaylarına maruz kalarak zamanla yüzeylerinde bozulmalar, kırık ve çatlaklar meydana gelebilmektedir. Özellikle klorür ve sülfat etkisinde ki betonların dayanım özellikleri yıllar içerisinde kayba uğramaktadır.

#### **2.5.4.1. Buz çözücü tuz ve donma çözülme etkileri**

Zeminde ki beton döşeme elemanları ıslanmaya ve dona maruz kaldığında bünyesinde ki boşluklarda hidrolik basınç meydana gelmektedir. Zemindeki kar veya buzu çözmek için kullanılan kaya tuzu ve kalsiyum klorür gibi kimyasal maddeler betonun doygunluk derecesi arttırmakta ve betonda daha fazla tahribata sebep olmaktadır. Doymunluk derecesi (D), Sa/Sb oranı olarak tanımlanır. Sa atmosfer basıncı altındaki, Sb ise yüksek basınç altındaki su emme değerleridir. D>0,80 ise taşın don etkisine dayanamayacağı varsayılır. 0,80 değeri istatistik çalışmalar sonunda belirlenen bir kritik sınırdır [16].

Tuzlu su, boşluklara daha kolay nüfuz ettiği için betonun doygunluk derecesi artmakta ve kritik sınırın üstüne çıkabilmektedir. Kritik limit aşıldığından betonda don hasarı etkisi olasıdır. Çimento pastasındaki daha büyük boşluklardaki tuz kristallerinin büyümesi, katı fazda basınç meydana gelmesine neden olmaktadır. Hasarın şiddeti betonun kalitesine, tuz konsantrasyonuna, kuruma ve ıslanmanın gerçekleşme sıklığına bağlıdır. Bozulmanın diğer



bir nedeni kuruma sırasında boşluklardaki tuzun kristalleşmesi ve genişmesidir. %2'lik NaCl çözeltisi bile betonda kütle kaybı, kırılma ve dayanım kaybı şeklinde ciddi tahribatlara sebep olmaktadır [16]. Şekil 2.26.'te beton parke taşlarında buz çözücü ile donma çözülmenin etkisine ait bir görüntü verilmiştir.



**Şekil 2.26.** Betonda buz çözücü tuz ile donma çözülme etkisi.

Betonun dona ve buz çözücü tuz etkisine karşı direncini yükseltebilmek için düşük su/çimento oranı ve hava sürükleyici katkı maddeleri önerilmektedir. Düşük su/çimento oranıyla betonda geçirimsizliğin sağlanması, tekrarlanan donma çözülme olaylarına karşı bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı zamanda betonun iyi yerleştirilmesi ve sıkıştırılması da, boşlukların önlenmesi ve geçirimsizlik açısından önem arz etmektedir. Betonun iyi yerleşmesi bakımından, kuru ve yarı-kuru özellikteki betonlar için akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin kullanılması tavsiye edilmektedir. Hava sürükleyici katkıları kullanıldığında ise betonda meydana gelen, birbirinden bağımsız hava kabarcıkları içsel gerilmelere karşı bir tür yastık vazifesi görmektedir [31].

Betonun, donma ve buz çözücü tuzun birlikte etkisine karşı direncinin, yalnız dona karşı direncinden daha az olduğu gözlenmiştir [16].

Şekil 2.27.'de bir beton kaplama elemanında donma çözülmenin etkisine ait bir görüntü verilmiştir.



**Şekil 2.27.** Betonda donma çözülme etkisi.

#### **2.5.4.2. Sülfat etkisi**

Beton dayanıklılığının en büyük problemlerinden biri de sülfat etkisidir. Çimento hamuru sülfat ortamında, hacim genişmesi, pullanma, kütle ve dayanım kaybına uğramaktadır.

Sülfat, çimentonun bazı bileşenleri ile reaksiyona girerek betonun zamanla bozulmasına neden olmaktadır. Sülfat saldırısına uğramış betonun karakteristik görünümü, özellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm kütleyle yayılan beyaz lekeler, çatlaklar ve dökülmelerdir. Beton, kolayca ufalanır ve yumuşar. Sülfat iyonları topraktan yada zemin suyundan beton içine girebilir. Çalılık dışında bitki ağaç yetiştirmeyen, yüzeylerde beyaz lekeler, tuz birikintileri görülen çorak topraklarda sülfat etkisinden söz edilebilir. Başlıca önlemler; beton üretiminde sülfata dayanıklı çimento kullanılması, bağlayıcı özellikte mineral katkı kullanılması, kimyasal katkı kullanılması, betonun geçirimsizliğinin sağlanması, beton karışım tasarımında çimento dozajının en az 360 kg/m<sup>2</sup> olarak seçilmesi, su/çimento oranının en yüksek 0,45 olmasının sağlanması, gerektiğinde yapının bohçalanarak zeminden tamamen korunması olarak sıralanabilir [32].

Betonda kimyasal ve fiziksel bozulmalara neden olan sülfat, kaynağına göre de iç kaynaklı ve dış kaynaklı olarak iki guba ayrılmaktadır. Betonda dış kaynaklı sülfat atacağına neden olan başlıca kaynaklar yeraltı suyu, deniz suyu ve sülfatlı zeminlerdir. İç kaynaklı sülfat atacağına ise beton üretiminde kullanılan çimento, aģeģa, su ve katkılarda bulunan sülfat neden olmaktadır. İç ve dış kaynaklı sülfat, betonda çimento hidrasyon ürünleriyle kimyasal reaksiyonlar neticesinde alçı taşı, etrenjit ve tomasit gibi bağlayıcılık özelliği bulunmayan yeni ürünler oluşturmaktadır. Oluşan yeni ürünler betonda hacim artışı meydana getirmekte ve sertleşmiş betonda çatlamlara yol açmaktadır. Betonda oluşan çatlaklar betonun geçirimliliğini artırarak daha fazla maddenin beton içerisine girmesine sebep olmaktadır. Hem betondaki bağlayıcılık özelliği gösteren maddelerin başka ürünlere

dönüşmesi hem de beton içerisine yeni madde girişinin hızlanması betonun servis ömrünü azaltmaktadır [33].

Şekil 2.28.'de betonda deniz suyunda ki sülfat ve klorun etkisiyle oluşan bozulmaya ait görüntü verilmiştir.



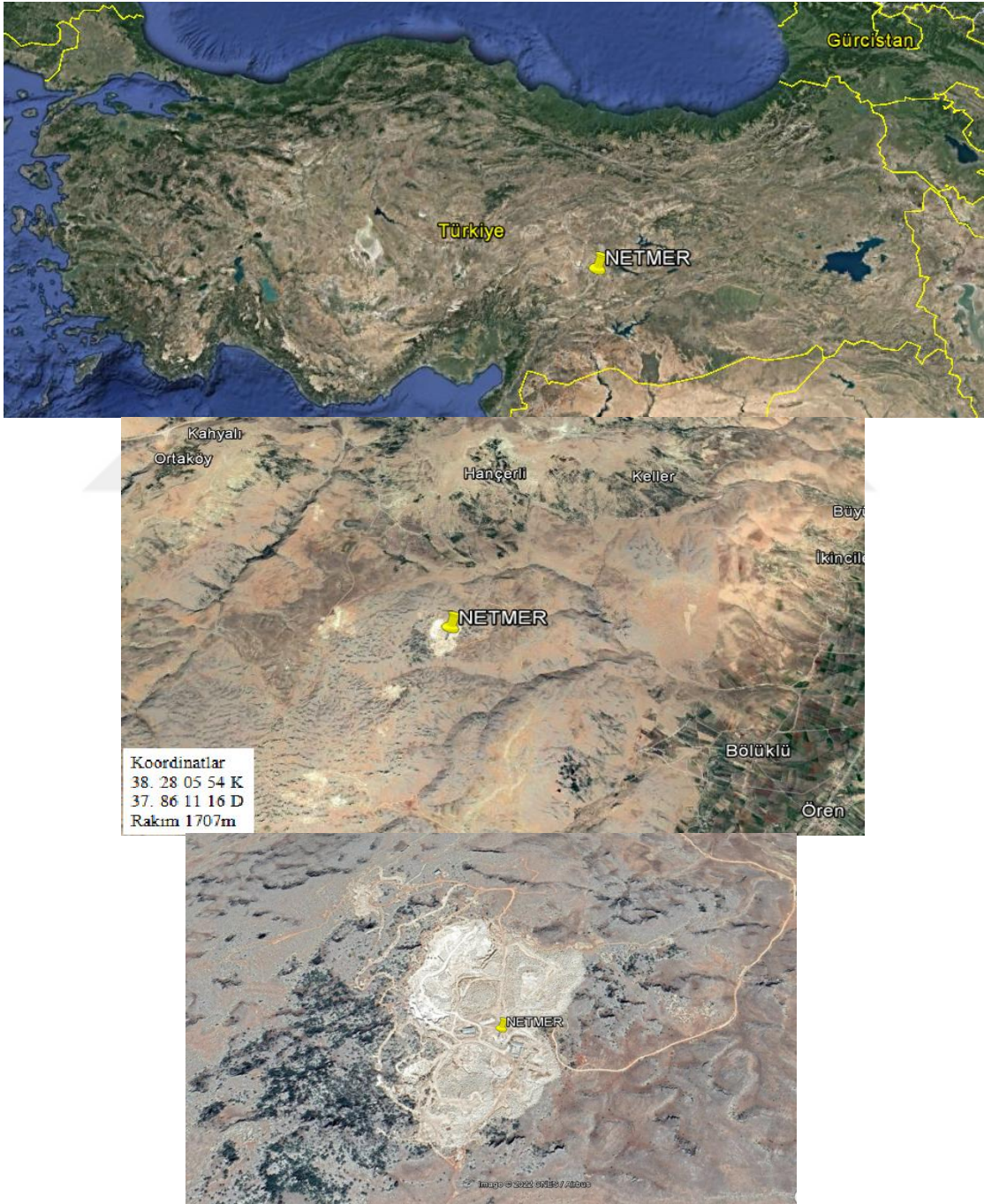
**Şekil 2.28.** Betonda deniz suyu etkisi



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Çalışma Sahası

Bu çalışmada , Malatya ili Akçadağ ilçesi Hançerli köyü mevkiinde Orta-Geç Eosen yaşlı Gedik Formasyonu içinde açılan mermer ocağının atıkları kullanılmıştır. Şekil 3.1.'de çalışma yapılan Netmer Madencilik firmasına ait mermer ocağının uydu görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma sahasının haritada ki yeri ve uydu görüntüleri.

### 3.1.1. Sahada depolanan atıkların özellikleri

Netmer Madencilik firmasının işletmesinde olan mermer ocağı 2002 yılından beri faaliyet göstermekte olup faaliyet alanına en yakın yerleşim yerleri; kuzey istikametinde yaklaşık 3600 m mesafede yer alan Hançerli Köyü ile doğu istikametinde yaklaşık 5200 m mesafede yer alan Bölüklü Mahallesi'dir.

Ocakta tel kesme yöntemi ile üretim yapılmaktadır. Üretim sırasında delik delme ve tel kesme işlemi sırasında 0-10 mm parça boyutlu atıklar ve kayanın devrilmesi ve sayalama işlemleri sırasında ise boyutları 1,5 metreyi bulan, blok eldesi sağlanamayacak özellikte olan kapak ve moloz adı verilen atıklar oluşmaktadır. Büyük ebatlı atıkların oluşma sebebi genel yapıdaki süreksizlikler sebebiyle oluşan kopmalar ve ticareti yapılamayacak özellikte (renk, damar yapısı vb...) parçaların ayrılması gereğidir.

Blok mermer üretim çalışmaları, mevsim koşullarına göre yapılmakta ve mevcut durumda sahada yaklaşık toplam 1.000.000 m<sup>3</sup> atık bulunmaktadır. Atıklar 88.000 m<sup>2</sup> ve 29.000 m<sup>2</sup> alana sahip iki farklı depolama alanında depolanmakta olup atıkların %90 oranında büyük ebatlı atıklar olduğu görülmektedir. Şekil 3.2.'de Netmer Madencilik firmasına ait mermer ocağından genel bir görüntü verilmiştir. Şekil 3.3.'te aynı ocağın atık yığına ait görüntü, Şekil 3.4.'te ise küçük ebatlı atıklardan oluşan atık yığına ait görüntü verilmiştir.



**Şekil 3.2.** Netmer Madencilik firmasına ait mermer ocağından bir görünüm.





**Şekil 3.3.** Sahada ki atık yığınının görünüm.



**Şekil 3.4.** Küçük ebatlı atıklardan oluşan yığın.

Atık yığnında tedbir amaçlı olarak mevsim şartlarına bağılı olarak oluşabilecek tozuma sebebiyle nemlendirme çalışmaları yapılmaktadır. Gerek üretim esnasında herhangi bir kimyasal madde kullanılmaması gerekse mermerin fiziksel - kimyasal özellikleri ve atıklarının büyük parçalardan oluşması nedeniyle, taşınım yolu ile çevre üzerinde kirletici etkisi olmayacağı öngörülmüştür.

Kesim sırasında açığa çıkan mermer çamuru ardışık havuz sistemine pompalanarak askıda katı madde giderimi sağlanmakta, arıtımı yapılmış olan su ise depoda toplanarak kesim işleminde tekrar kullanılmaktadır. Mermer tozlarının çöktürülmesinde kimyasal madde (flokülant) kullanılmamaktadır.

Mermer atıklarının depolandığı alanın yerleşim yerlerine uzaklığı, yakın çevresinde korunan alanların bulunmaması, inert atık özelliğinde olması, depolanması sırasında atık

malzemesin kaymasını önleyecek tedbirlerin alınması nedeniyle söz konusu tesis, Atık Yönetimi Yönetmeliği'ne göre Kategori B olarak sınıflandırılmıştır.

### 3.1.3. Mermer atığının fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

Eren Sarıcı, D. (2011)'nin 'Akçadağ (Malatya) Batısındaki Eosen Yaşlı Mermerlerin Optimum İşleme Koşullarının Belirlenmesi' adlı doktora tezinde, çalışma sahasında üretilen mermerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini detaylı şekilde incelenmiş olup, çalışmadan derlenen özellikler, Çizelge 3.1. ve 3.2.'de verilmiştir. Çalışma yapılan sahada üretilen mermer Şekil 3.5.'da görülmektedir.



Şekil 3.5. Sahada üretilen mermerin görünümü (Rozalya).

#### 3.1.3.1. Çalışılan mermerin fiziksel özellikleri

Bu çalışmada, atıkları değerlendirilen mermerin fiziksel özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Birim hacim ağırlık değerleri ve özgül ağırlık değerleri TS EN 1467 : 2005'te, su emme değeri TS EN 1469 : 2006'da, doluluk oranı değeri TS EN 1468 : 2006'da ki sınır değerleri karşılamaktadır. Mohs sertlik değeri ise çalışılan mermerin yumuşak mermerler sınıfında olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan mermere ait fiziksel özellikler [21].

Mermerin fiziksel özellikleri	
Kuru birim hacim ağırlık kN/m <sup>3</sup>	2,68*9,81
Doygun birim hacim ağırlık kN/m <sup>3</sup>	2,69*9,81
Özgül ağırlık g/cm <sup>3</sup>	2,71
Ağırlıkça su emme %	0,196
Hacimce su emme %	0,525
Doluluk oranı %	98,8
Görünür porozite	0,525
Hakiki porozite	1,2
Sertlik Mohs	4
Schmidt sertlik	59,89

### 3.1.3.2. Çalışılan mermerin mekanik özellikleri

Bu çalışmada atıkları değerlendirilen mermerin mekanik özellikleri Çizelge 3.2.'te verilmiştir. Basma dayanımı verilerine göre düşük dayanımlı mermer grubuna giren Rozalya mermerinin darbe dayanımı değeri ise TS EN 1468 : 2006 ve TS EN 1467 : 2005 standartlarına uygundur. Böhme deney metoduyla aşınmaya karşı direnç değeri ise TS 1910, TS 2513, TS 10449 ve TS 11137 standartlarına göre duvar kaplamacılığına uygun olarak değerlendirilmektedir.

**Çizelge 3.2.** Çalışılan mermere ait mekanik özellikler [21].

Mermerin mekanik özellikleri	
Basma dayanımı MPa	47,39
Böhme ile aşınma kaybı cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup>	21,85
Darbe dayanımı MPa	6
Nokta yükü dayanım indeksi	4,26

### 3.1.3.3. Çalışılan mermerin XRF analizi

Çalışılan mermerin, İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknik Araştırma Laboratuvarında yapılan XRF analiz verileri Çizelge 3.3.'te verilmiştir.

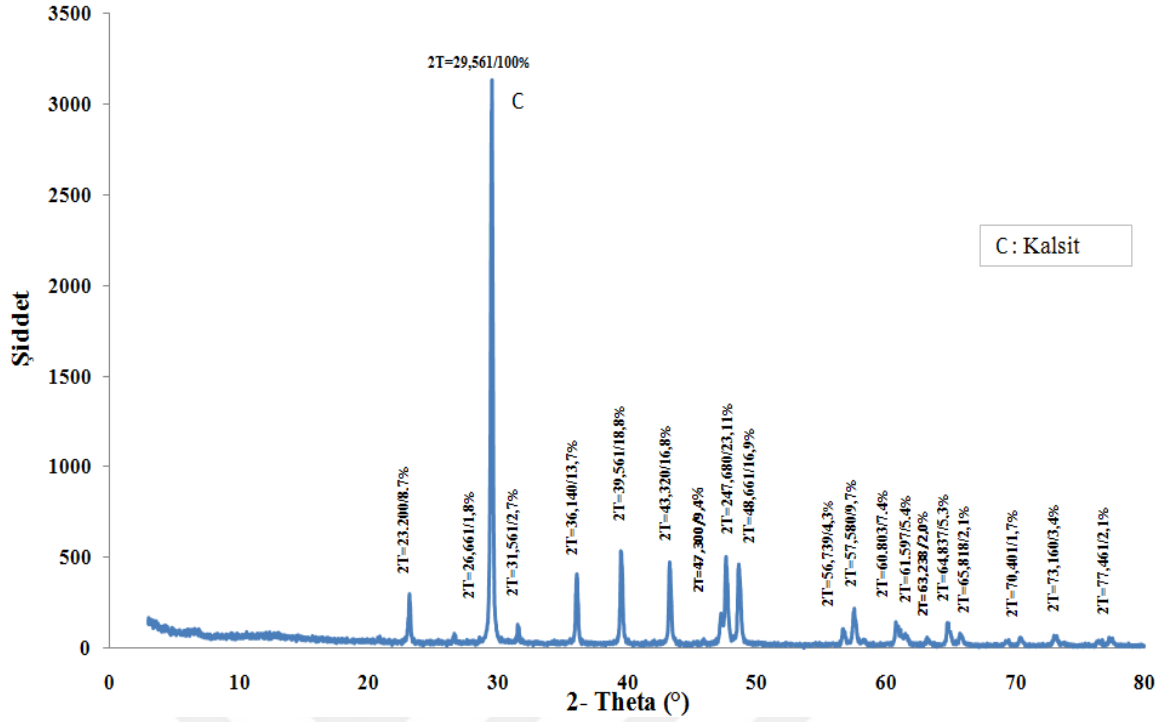
**Çizelge 3.3.** Çalışılan mermerin XRF analizi

Oksit	%
F	0,1041
Na <sub>2</sub> O	0,0245
MgO	0,5869
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,6318
SiO <sub>2</sub>	2,0701
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0221
SO <sub>3</sub>	0,0603
K <sub>2</sub> O	0,0584
CaO	52,6824
TiO <sub>2</sub>	0,0362
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0165
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5042
CuO	0,0173
SrO	0,0408
Kızdırma kaybı	43,1445

### 3.1.3.4. Çalışılan mermerin XRD analizi

Çalışılan mermerin İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknik Araştırma Laboratuvarında yapılan XRD analizi verileri Şekil 3.6'daki grafik üzerinde gösterilmiştir. Buna göre çalışılan mermerin ana bileşenin kalsit minerali olduğu görülmektedir.





Şekil 3.6. Çalışılan mermerin XRD analizi

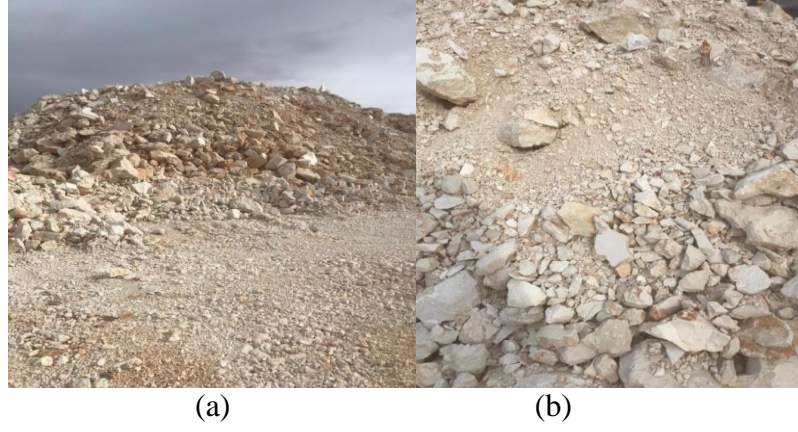
## 3.2. Deneysel Yöntem

### 3.2.1. Beton parke taşı üretiminde kullanılacak malzemeler

Beton parke taşı üretiminde agega yerine uygun tane boyutunda mermer atığı, su, portland çimentosu ve parke taşlarında kullanıma uygun akışkanlaştırıcı özellikte katkı maddesi kullanılmıştır.

#### 3.2.1.1. Agega

Mermer ocaklarında depolama alanlarındaki atıklar genellikle büyük boyutludur. Kesim sırasında -150 mikron toz, sondaj deliklerinin delinmesi sırasında 0-10 mm tane boyutunda, sayalama sırasında ise boyutu 1-2 metre boyutuna kadar çıkabilen büyük ebatlı atıklar depolanmaktadır. Laboratuvar ortamında boyut küçültme yapılabilmesi amacıyla, sahadan sondaj atıkları ve boyutları 7-10 cm arasında değişen parça atıklar temin edilmiştir. Aynı zamanda çöktürme havuzundan susuzlandırılmış mermer tozu temin edilmiştir. Şekil 3.7 (a-b)'de çalışma sahasındaki atık yığınının bir bölümü ve numune olarak alınan atıklar gösterilmiştir.



**Şekil 3.7.** Numune alınan bölge ve atıklar (a: Çalışma sahasında ki atık yığını, b: Numune olarak alınan atıklar).

120 kg kadar numune sahada su ile yıkanarak toprak gibi kirlilikler uzaklaştırılmış, ardından Mikrotest marka, mst120 model etüvde 105°C sıcaklıkta 24 saat süreyle kurutulmuştur. Şekil 3.8’de sahadan temin edilen atıkların kurutulduğu etüve ait görüntü verilmiştir.



**Şekil 3.8.** Numunelerin boyut küçültme işleminden önce etüvde kurutulması.

Numuneler kurutulduktan sonra Çağlayan Makine markasına ait çeneli kırıcı ile boyut küçültme işlemi yapılmıştır. Boyut küçültme sonucunda tüvenan malzeme elde edilmiş ve tüm malzeme, Çelik Test markasına ait eleme cihazı ve eleklerde elenerek 0-2 mm, 2-4,75 mm, 4,75-9,50 mm, 9,5-11,2 mm, 11,2-14 mm boyutlarında sınıflandırılmıştır. Şekil 3.9’da boyut küçültme işleminde kullanılan çeneli kırıcıya ait görüntü verilmiştir. Şekil 3.10’da eleme işlemine ait görüntü ve 3.11’de eleme işlemi sonucunda elde edilen tane boyut sınıflarını gösteren görüntüler verilmiştir.



**Şekil 3.9.** Çeneli kırıcı ile boyut küçültme.



**Şekil 3.10.** Numunelerin elenmesi ve boyutlarına göre sınıflandırılması.



**Şekil 3.11.** Sırasıyla 0-2 mm, 2-4,75 mm, 4,75-9,5 mm, 9,5-11,2 mm, 11,2-14 mm boyutları arasında sınıflandırılmış numunelerin görünümü.

### 3.2.1.2. Çimento

Bu çalışmada, en yaygın kullanılan CEM I 42,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Portland çimentosuna ait değer aralıkları Çizelge 3.4’te verilmiştir. Çimentonun özgül ağırlığı  $3,11 \text{ g/cm}^3$ ’tür.

**Çizelge 3.4.** Kullanılan Portland çimentosunun özellikleri.

CEM I 42,5 R Portland Çimentosu	
	%
SiO <sub>2</sub>	18,5-19,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,5-5,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,3-3,9
MgO	<1,6
CaO	62-64,8
Na <sub>2</sub> O	<0,40
K <sub>2</sub> O	<0,80
SO <sub>3</sub>	3,10-3,20
45µ	<5,3
Blaine	>3850
Rutubet	<0,50

### 3.2.1.3. Su

Beton karışım suyu olarak Malatya şebeke suyu kullanılmıştır. İçilebilir özellikte olması sebebiyle analiz yapılmamıştır.

### 3.2.1.4. Katkı Maddesi

Bu çalışmada, taze betonun kalıplara homojen olarak yerleşmesini sağlamak amacıyla akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. İyi bir yerleştirme sağlamak dayanımı arttıracığından sadece parke taşlarında kullanıma uygun olan SikaPaver HC-1 marka akışkanlaştırıcı katkı maddesi tercih edilmiştir.. Yüzey aktif madde özelliğinde olan katkı maddesinin yoğunluğu 1 kg/dm<sup>3</sup> ve tavsiye edilen kullanım miktarı ise çimento miktarının % 0,1-0,6'dır.

### 3.2.2. Mermer atığının agega özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler

Mermerin ticari tanımı altında bir çok farklı renk ve özellikte doğaltaş bulunmaktadır. Beton tasarımında rol oynayan bu özelliklerin agega açısından değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında temin edilen atıkların agega özelliklerini belirlemek amacıyla standartların belirttiği kriterler ve deney metodları dikkate alınarak elek analizi ve ganülometri (TS EN 933-1: 2012), yoğunluk ve su emme (TS EN 1097-6: 2013), parçalanma direnci (Los Angeles) (TS EN 1097-2: 2010), metilen mavisi ile organik kirlilik (TS EN 933-9: 2010), magnezyum sülfat ile dona dayanıklılık (ASTM C-88) ve yassılık indeksi (TS EN 933-3: 2012) özellikleri belirlenmiştir.

### 3.2.2.1. Eleme metodu ile tane büyüklüğü dağılımı tayini

Ageganın ganülometri tayini TS EN 933-1: 2012 standardında tanımlanan yöntemlere göre yapılmıştır. Agega yığını içerisindeki tanelerin büyüklüklerine göre dağılımına, ganülometri denilmektedir. Ganülometrinin saptanmasında, agega numunesinin içerisindeki taneler, tane boyutlarına göre guplanmaktadır. Her tane boyutu sınıfında ki agegaların genel yığın içerisinde hangi oranda yer aldığı belirlenmelidir. Uygun ganülometri ile üretilmiş homojen betonlar daha ekonomik olmakla birlikte daha yüksek dayanım değerine sahip olmaktadır.

Ganülometri tayini deneyi, malzemenin bir seri eleme işlemi yardımıyla azalan büyüklüğe sahip farklı tane boyutları halinde bölünmesi ve ayrılmasından oluşmaktadır. Elek göz açıklıklarının büyüklüğü ve eleklerin sayısı, talep edilen hassasiyet derecesine ve numunenin cinsine uygun olarak seçilerek eleme yapılmaktadır. Farklı elekler üzerinde kalan tanelerin kütlesi, malzemenin ilk kütlesi ile ilişkili olup her bir elekten geçen kümülatif yüzdeler sayısal formda ve istendiğinde grafik olarak rapor edilmektedir [34].

Çalışmada, sınıflandırılmış her gup için ayrı ayrı elek analizi yapılmıştır. Bu analizlerde TS EN 933-1 : 2012 standardına uygun olarak 0,063-0,125-0,250-0,5-1-2-4-5,6-8-11,2-16-22,4 cm serisi elekler kullanılmıştır. Her sınıf numuneden 1000'er gram kullanılarak deney gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.12.'de ganülometri deneyi için kullanılan Çelik Test Makine firmasına ait agega elek seti gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Ganülometri deneyi için kullanılan elekler.

### 3.2.1.2. Agegaların tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini

Agegaların tane yoğunluğu ve su emme oranları TS EN 1097-6: 2013 standardında belirtilen yöntemlerle belirlenmiştir. Tane yoğunluğunun tayini kütlenin, hacme olan oranından belirlenmektedir. Kütle ise deney numunesinin, doygun-kuru yüzey halinde ve etüvde kurutulmuş halde tartılmasıyla tayin edilmektedir. Hacim ise, tel sepet metodundaki kütle indirilmesi veya piknometre metodundaki tartımlar yoluyla, yer değiştiren suyun külesinden tayin edilmektedir [35].

Bu çalışmada ince agegaların tane yoğunluğu standardında detayı verilen piknometre metodu ile, iri agegaların ise tel sepet metodu ile yoğunluk ve su emme tayinleri yapılmıştır.

İnce ve iri agega gubu olmak üzere iki farklı grup numune üzerinde yoğunluk ve su emme değerlerinin tayini yapılmıştır. Her gruptan 2 adet 1000'er gram numune 24 saat boyunca su içerisinde bekletilerek suya doygun hale getirilmiştir. 24 saat sonunda sudan çıkarılan numuneler, doygun-kuru yüzey özelliği kazandırılmak için kuru bir bez üzerine konularak yüzeylerinde serbest su kalmayana dek kurulanmış ve doygun-kuru yüzey ağırlığı ( $M_1$ ) Radwag marka hassas terazide ölçülmüştür.

İnce agegalarda kullanılan piknometrenin, içerisinde hava kalmayacak şekilde doldurulmuş su dolu ağırlığı ( $M_3$ ) ve içinde numune varken su dolu ağırlıkları ( $M_2$ ) hassas terazide tartılarak kaydedilmiştir. Numune, hiç kayıp olmayacak şekilde bir tepsiye boşaltıldıktan sonra 105°C etüvde 24 saat bekletilerek kurutulmuş ve sonrasında da numunenin kuru ağırlığı ( $M_4$ ) ölçülmüştür.

İri agegada kullanılan tel sepet yönteminde ise, tel sepetin su içerisindeki ağırlığı ( $M_3$ ) ve yine su içerisinde numune ve sepetin ağırlığı ( $M_2$ ) tartılarak kaydedilmiştir.

Sepetten çıkarılan numuneler, hiç kayıp olmayacak şekilde bir tepsiye boşaltılarak 105°C etüvde kurutulmuş ve böylelikle kuru ağırlıkları ( $M_4$ ) kaydedilmiştir.

Numunelerin kuru yoğunlukları Eşitlik 3.1, görünür yoğunlukları Eşitlik 3.2, doygun kuru yüzey yoğunlukları ise Eşitlik 3.3 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\rho_a = \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \quad (3.1)$$

$$\rho_{rd} = \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (3.2)$$

$$\rho_{ssd} = \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (3.3)$$



Burada;

$M_1$ : Doygun-kuru yüzey haldeki ageganın kütlesi, g

$M_2$ : Doygun agega numunesini içeren piknometre yada sepetin kütlesi, g

$M_3$ : Su dolu piknometrenin kütlesi veya tel sepetin su içindeki kütlesi, g

$M_4$ : Kuru haldeki deney numunesinin kütlesi, g' dir.

Agegaların su emme değerleri ise 24 saatlik daldırmadan sonra, kuru kütlelerin yüzdesi ( $WA_{24}$ ) olarak Eşitlik 3.4 ile hesaplanmıştır.

$$WA_{24} = \frac{100*(M_1-M_4)}{M_4} \quad (3.4)$$

Elde edilen yoğunluk ve su emme değerleri beton tasarımında temel parametreleri oluşturmaktadır.

### 3.2.1.3. Metilen mavisi deneyi

Metilen mavisi deneyi, ageganın kil içeriğinin belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. TS EN 933-9:2010 standardında belirtilen yöntem kullanılarak yapılan deney sonucunda ageganın kirlilik oranı belirlenmiştir.

Deneyde, metilen mavisi çözeltisi, su içerisindeki deney numunesi kısmından oluşan süspansiyonuna arka arkaya ilâve edilmiştir. Boya çözeltisinin deney numunesi kısmı tarafından adsorpsiyonu, çözeltinin her ilâvesinden sonra süzgeç kâğıdında bir leke oluşturularak serbest boyanın varlığının belirlenmesi suretiyle kontrol edilmektedir. Serbest boyanın varlığı teyit edildiğinde, metilen mavisi değeri (MB) hesaplanmıştır ve deneye tâbi tutulan ageganın beher kilogramı başına adsorplanan boya, gram cinsinden ifade edilmiştir [36].

0-2mm tane büyüklüğüne sahip agegadan alınan deney örneği (en az 200 g) etüv kurusu haline getirilip tartılmış ve  $M_1$  olarak kaydedilmiştir. 500 ml'lik saf su behere koyulmuş ve kurutulmuş deney örneği spatül ile iyice karıştırılarak behere ilave edilmiştir. 10 g/l'lik metilen mavisi çözeltisi çalkalanarak ve iyice karıştırılmıştır. İçerisinde deney örneği olan beher karıştırıcı ile 600 dakika/devir hızla 5 dakika süreyle karıştırmadan sonra behere 5 ml metilen mavisi çözeltisi ilave edilerek beherdeki malzeme 400 devir/dakika hızla en az 1 dakika karıştırılmıştır. Süzgeç kâğıdı üzerine karışımdan 1 damla damlatılarak leke oluşumu gözlemlenmiştir. 5 ml'lik bu ilk boya çözeltisi ilavesinden sonra hâre belirmediğinden 5 ml daha boya çözeltisi ilave edilerek 1 dakika süreyle karıştırmaya

devam edilmiştir ve bir leke deneyi daha yapılmıştır. Hârenin yine görülmemesi sebebiyle, görülünceye kadar karıştırmaya, boya ilavesi ve aynı şekilde leke deneyleri yapılmasına devam edilmiştir [35].

Hare görülünceye kadar eklenen çözeltinin toplam hacmi  $V_1$  olarak kaydedilmiştir. Ageganın metilen mavisi değeri, elde edilen  $M_1$  ve  $V_1$  değerleriyle Eşitlik 3.5 yardımıyla hesaplanarak tespit edilmiştir.

$$MB = \left(\frac{V_1}{M_1}\right) * 10 \quad (3.5)$$

Burada;

$M_1$ : Etüvde kurutulmuş numunenin kütlesi, g

$V_1$ : İlave edilen boya çözeltisinin toplam hacmi, mL

Şekil 3.13’de metilen mavisi deneyinin yapılmasına ait görüntü verilmiştir.



**Şekil 3.13.** Metilen mavisi deneyinin yapılması

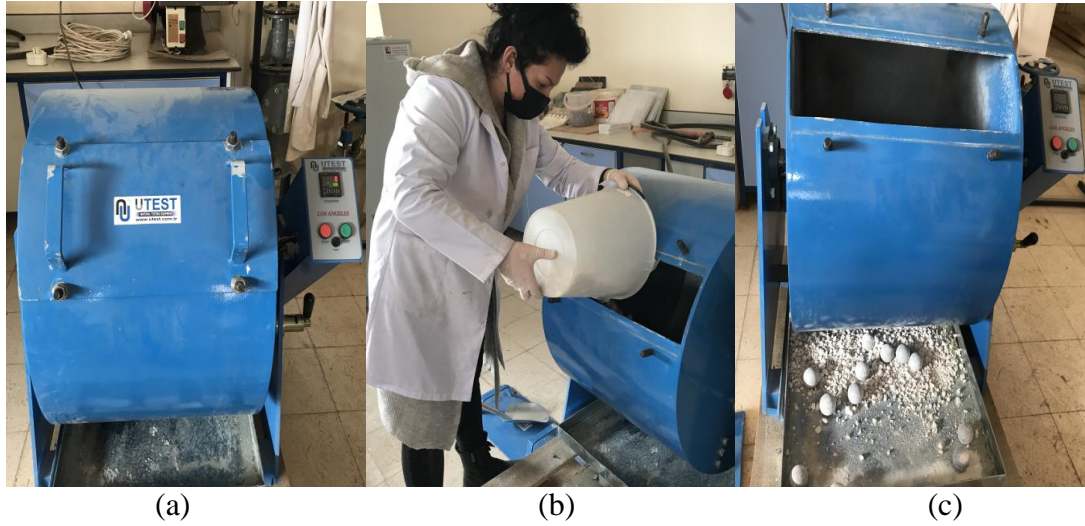
#### **3.2.1.4. Ageganın parçalanma direncinin tayini (Los Angeles deneyi)**

Bu deney, ageganın darbeli aşınmaya karşı direncini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Özellikle havaalanı pistleri, karayolu kaplamaları, kaldırım örtü ve bina içi parkeleri gibi dinamik zorlamalı ortamlarda agegalar betonun aşınması açısından büyük önem taşımaktadır. Beton yüzeyinin darbeye maruz kalacağı durumlarda kullanılacak betonların, dayanıklı agegalarla yapılmış olması istenmektedir. Agegaların dayanımı belirlemek amacıyla yaygın ismiyle “Los Angeles Deneyi “ uygulanmaktadır. Los Angeles deneyi, iri



agegaların tamburda çelik bilyeler ile dönmesi sonucu, 1,6 mm açıklıklı elekte kalan malzemenin yüzde miktarını belirlemek için kullanılan bir yöntemdir [37].

Bu çalışmada, mermer atıklarından elde edilen 10-14 mm tane boyutunda malzeme yıkanarak 105°C etüvde 24 saat bekletilmiştir. TS EN 1097-2:2010 standardında belirtildiği üzere 10-11,2 mm arası 2000 g ve 11,2-14 mm arası 3000 g olmak üzere toplamda 5000 g 3 farklı numune hazırlanmıştır. Her bir numune gubu, U Test markasına ait Los Angeles deney cihazına yüklenerek 12 adet bilye ile birlikte 33 devir/dak hızında 500 devir yapacak şekilde işleme tabi tutulmuştur. Deney sonucunda tamburun içindeki malzeme, hemen altında ki tavaya dökülerek tambur boşaltılmıştır. Los Angeles deneyinin uygulanışına ait görüntüler Şekil 3.14 (a-c)'te verilmiştir.



**Şekil 3.14.** Los Angeles deney cihazı ve deneyin yapılışı (a: Los Angeles aşınma dayanımı test cihazı, b: Örneklerin cihaza beslenmesi, c: Deney sonucunda alınan örnek)

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 bu değer 'm' değeri olarak kaydedilmiştir. Örneklerin Los Angeles parçalanma direnci değerleri Eşitlik 3.6 ile hesaplanmıştır.

$$LA = \frac{5000 - m}{50} \quad (3.6)$$

Burada;

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

Agegaların, TS 706 EN 12620+A1 :2009 standardında belirtilen Los Angeles Aşınma değerleri kategorileri Çizelge 3.5.'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar bu kategorilere göre değerlendirilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Los Angeles deneyi kategorileri [38].

Los Angeles Katsayısı	Kategori LA
≤15	LA <sub>15</sub>
≤20	LA <sub>20</sub>
≤25	LA <sub>25</sub>
≤30	LA <sub>30</sub>
≤35	LA <sub>35</sub>
≤40	LA <sub>40</sub>
≤50	LA <sub>50</sub>
≥50	LA <sub>beyan</sub>
Serbest	LA <sub>NR</sub>

### 3.2.1.5. Tane şekli tayini- Yassılık Endeksi

Betonda bulunan yassı agega taneleri, çimento ile bağ kurabilmekte ancak bu bağ kolay aşınabilmektedir. Yassı agega taneleri, karışım içerisinde köprü oluşturarak boşluklu bir yapının elde edilmesine sebep olmakta ve bu da betonda dayanım özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Beton içerisinde yassı tanelerin fazlaca bulunması, betonun çimento ihtiyacını arttırmaktadır.[36].

Yassılık endeksi deneyi TS EN 933-3:2012 standardında tanımlanan yöntemle yapılmıştır. Deney için 10-14 mm arası tane boyutuna sahip yaklaşık 1000'er g 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  $M_2$  değeri olarak kaydedilmiştir. Örneklerin yassılık endeksi değeri Eşitlik 3.7 ile hesaplanmıştır.

$$FI = \frac{M_2}{M_1} * 100 \quad (3.7)$$

Burada;

$M_1$ : Deneye tabi tutulan numunenin kütlesi, g

$M_2$ : Elek altına geçen malzemenin kütlesi, g'dır.

Agegaların, TS 706 EN 12620+A1: 2009 standardında belirtilen yassılık endeksi kategorileri Çizelge 3.6.'da verilmiştir. Deney sonuçları, Çizelge 3.6.'ya göre kategorize edilmiş ve değerlendirilmiştir.

**Çizelge 3.6.** Yassılık indeksi kategorileri [38].

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

### 3.2.1.6. Magnezyum sülfat ile ageganın donma çözülme direnci tayini

Örneklerin MgSO<sub>4</sub> ile donma çözülme direnci tayini ASTM C-88 standardına göre yapılmıştır. Ageganın don olayı karşısında gösterdiği davranış, beton tasarımında ki önemli parametrelerden birisidir. Özellikle tekrarlı ıslanma donma-çözölmeye maruz kalan betonlarda ciddi kütle kaybı ve dayanım kaybı ortaya çıkmakta dolayısıyla betonun yaklaşık %70'ini oluşturan malzemenin donma çözölmeye özelliklerinin bilinmesi önem arz etmektedir.

Magnezyum sülfat deneyi, apegaların periyodik olarak doygun MgSO<sub>4</sub> çözeltisine daldırılması ve ardından etüvde kurutulularak, sülfatın agega üzerindeki zararlı etkilerini ve donma çözölmeye olayında gösterdiği davranışı belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

10-14 mm tane boyutunda ki apegalardan oluşturulan deney numunesi, doygun magnezyum sülfat çözeltisine daldırılmış ve ardından 105°C 'de etüvde kurutulmuştur. Bu işlem 5 kez tekrar edilmiştir. Magnezyum sülfatın agega numunesinde tekrarlanan kristalizasyonu ile agega boşluklarında zararlı etkiler ortaya çıkmakta ve apegada ufalanma meydana gelmektedir [39].

Bu çalışmada, ilgili standart olan ASTM C-88 'de belirtildiği üzere 10-14 mm arası tane boyutuna sahip malzeme yıkanıp tozlar ve yabancı maddelerden arındırılmış ve etüvde 24 saat boyunca 105°C'de kurutulmuştur. Ardından tartılarak iki adet yaklaşık 430'ar gram deney numunesi oluşturulmuştur ve tartım sonuçları ilk ağırlık (M<sub>1</sub>) olarak kaydedilmiştir. 1000 g saf su içerisinde 1230 g magnezyum sülfat heptahidrat (MgSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O) çözödürölerek doygun bir çözelti elde edilmiştir. Bu çözelti her iki numune için de ayrı ayrı hazırlanmıştır. Numuneler uygun bir kap içerisine alınarak çözeltiye daldırılmış ve 16-18 saat arası bekletilmiştir. Örnekler çözelti içinden çıkartılıp suyu süzöldükten sonra 4 saat 105°C etüvde kurutulup oda sıcaklığına kadar soğuduğunda tekrar çözelti içine daldırılmıştır. Döngü 5 kez tekrar edilmiştir.

5 döngü sonucunda etüvde kurutulmuş olan malzeme şebeke suyu ile çözültiden tamamen arınana kadar yıkanmış ve tekrar etüve koyularak 24 saat bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan numuneler 10 mm göz açıklığı olan elekten elenerek, elek üstünde kalan malzeme tartılmış ve  $M_2$  değeri olarak kaydedilmiştir. Malzemenin magnezyum sülfat ile donma çözölmeye karşı direnci Eşitlik 3.8 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$MS = \frac{M_1 - M_2}{M_1} * 100 \quad (3.8)$$

Burada;

$M_1$ : Numunenin deney öncesindeki kütlesi,g

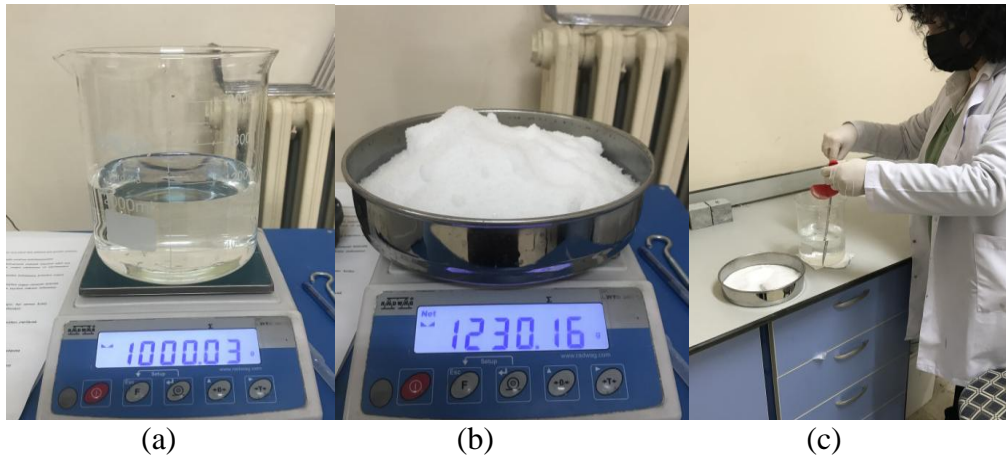
$M_2$ : Deney sonunda elek üstünde kalan malzemenin kütlesi, g'dır.

Ageğaların, TS 706 EN 12620+A1 :2009 standardında belirtilen magnezyum sülfat ile donma çözölmeye dirençlerine göre sınıflandırılmalar Çizelge 3.7.'de verilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Magnezyum sülfat deneyi için kategoriler [38].

Magnezyum Sülfat Değeri (Kütleye yüzde kaybı)	Kategori MS
$\leq 18$	MS <sub>15</sub>
$\leq 25$	MS <sub>20</sub>
$\leq 35$	MS <sub>35</sub>
$> 35$	MS <sub>beyan</sub>
Serbest	MS <sub>NR</sub>

Şekil 3.15 (a-c)'de Magnezyum Sülfat ile donma çözölmeye direnci deneyinin yapılışına ait görüntüler verilmiştir.



**Şekil 3.15.** Magnezyum Sülfat çözöltisinin hazırlanması (a: Çözöltide kullanılan saf suyun tartılması, b: Çözöltide kullanılacak Magnezyum Sülfat'ın tartılması, c: Çözöltinin hazırlanması).

### 3.2.3. Parke taşı üretimi için beton karışım tasarımı

Beton karışım hesabı yapmadan önce betonun temel prensiplerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu prensipler, beton tasarım parametreleri kadar önem teşkil etmektedir. Aşağıda belirtilen beton özellikleri ancak malzeme ve karışım parametrelerinin bu prensipler doğrultusunda belirlenmesiyle elde edilebilmektedir [28].

- Taze betonun işlenilebilirliği,
- Sertleşmiş betonun yeterli dayanıklılık, dayanım ve homojen bir görünüme sahip olması,
- Ekonomik olması [28].

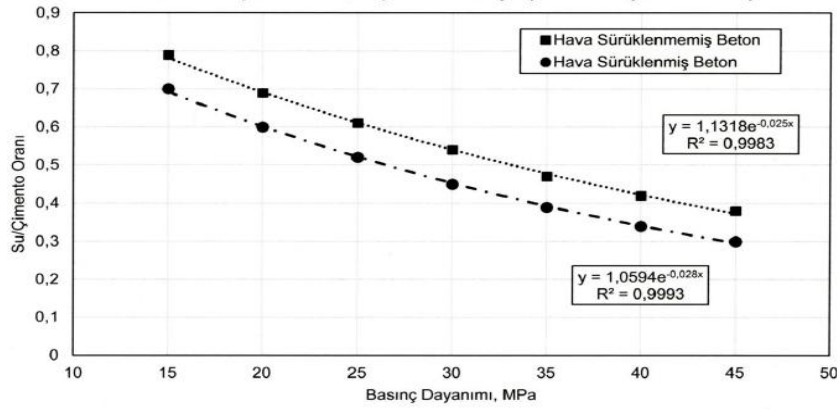
Beton tasarımı, ilk aşamada TS 802 :2009 standardında belirtilen çevresel etki sınıfına göre seçilecek olan su/çimento oranının belirlenmesiyle başlamaktadır. Standartta, betonun kullanılacağı yere ve maruz kalabileceği etkiler sınıflandırılmış ve bunlara göre izin verilen en yüksek su/çimento oranları ve en düşük çimento dozajları belirtilmiştir [28]. Su/çimento oranının belirlenmesinden sonra hedeflenen beton dayanımı sınıfına göre 1 m<sup>3</sup> beton için kullanılacak karışım suyu miktarı TS 802 standardında ki grafikler yardımıyla seçilebilmektedir. Çimento dozajının hesaplanmasının ardından istenilen işlenilebilirlik özelliklerine göre kullanımı uygun görülen katkı maddesinin seçimi yapılmaktadır. Tasarım, karışım suyu miktarında aģeganın nem içeriği ve katkı maddesinin miktarına göre düzeltme yapılarak sonlandırılmaktadır. Deneme dökümlerinde hedef dayanım ve kıvam özelliklerinin sağlanıp sağlanmadığı tecrübe edilerek beton tasarımı revize edilebilmekte ve nihai tasarıma ulaşılmaktadır.

Bu çalışmaya konu olan beton parke taşlarının üretimine uygun bir beton karışım tasarımı hazırlamak için TS 802: 2009 'Beton Karışım Hesap Esasları' standardından ve yapılmış olan diğer çalışmalardan yararlanılmıştır. Beton parke taşlarında taze beton kıvamı kuru ya da yarı kuru olarak hazırlanmakta, parke taşı makinesinde baskı ve titreşimle birlikte kalıplara yerleştirilmektedir. Ancak tesiste uygulanan reçetenin, laboratuvar ortamında uygulanması mümkün olmamıştır. Dolayısıyla bu konuda yapılmış olan akademik çalışmalardan yola çıkılarak ilgili standart yardımıyla optimum oranlar belirlenmiş ve laboratuvar koşullarında uygulanabilecek bir beton reçetesi oluşturulmuştur.

#### 3.2.3.1. Su/çimento oranının belirlenmesi

Beton karışım tasarımı yapılırken öncelikle betonun kullanılacağı yer ve maruz kalacağı çevresel etkilere göre belirlenecek olan su/çimento oranı seçilmesi gerekir. Tasarımda

su/çimento oranının belirlenmesiyle, hedef beton dayanım sınıfı da belirlenmiş olmaktadır. Şekil 3.16’te hava sürüklenmiş ve hava sürüklenmemiş betonlarda su/çimento oranı ile basınç dayanımı arasında ki ilişkiyi gösterir grafik verilmiştir.



Şekil 3.16. Betonda su/çimento oranı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki [28].

Çizelge 3.8’de TS 802: 2009 standardında belirtilen betonun maruz kalabileceği çevresel etkilere göre müsaade edilen su/çimento oranları, kullanılacak en az çimento miktarı ve hedeflenmesi gereken en küçük dayanım sınıfları gösterilmiştir.

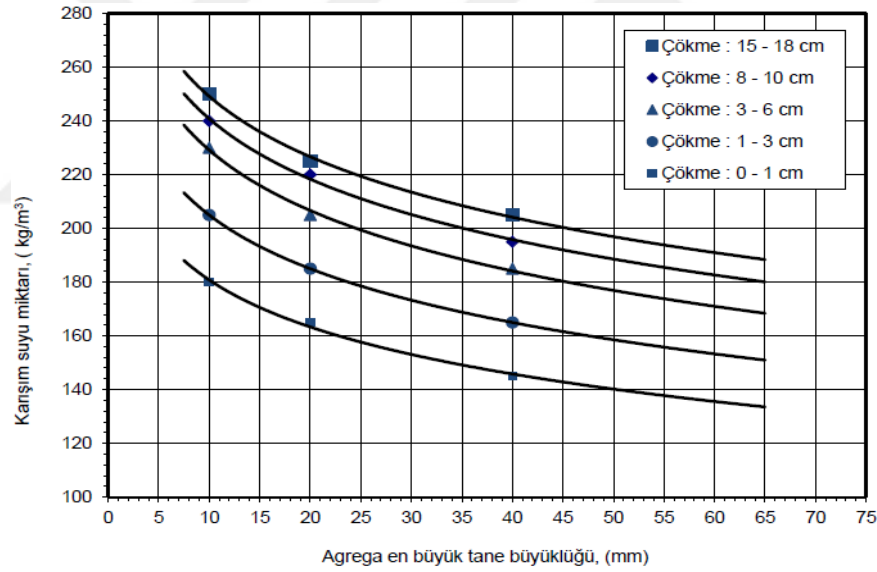
Çizelge 3.8. Çevre etkilerine göre beton tasarımında müsaade edilen su/çimento oranı ve çimento dozajları [28].

Etki sınıfı	Etkinin tipi	En büyük su/çimento oranı	En küçük dayanım sınıfı	En az çimento miktarı kg/m <sup>3</sup>
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

Tasarımın ilk aşamasında, TS 802: 2009 standardında belirtilen çevresel etki sınıfları için tavsiye edilen en yüksek su/çimento oranları ve en az çimento dozajları dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada, parke taşının çevresel etkenlere dayanıklılığı araştırılacağından, tekrarlı donma çözülme ve buz çözücü tuz ile donma çözülme etkisi için XF ve XD çevresel etki sınıflarında belirtilen değerler dikkate alınmıştır.

### 3.2.3.2. Su miktarı ve çimento dozajının belirlenmesi

Betonda yüksek dayanım elde edilmesi kullanılacak su miktarı ile ters orantılıdır. Karışımda ki su miktarı arttıkça dayanım düşmektedir. Aynı zamanda betonun yerleşebilmesi açısından kullanılacak su miktarının dikkatle seçilmesi gerekmektedir. Şekil 3.17’de kullanılacak kırmataş agradesi en büyük tane boyutu ve hedeflenen çökme değerine göre tavsiye edilen karışım suyu miktarları gösterilmiştir. Ancak agradesinin su emme değerinin de hesaba katılması gerekmektedir. Dolayısıyla istenilen şartları sağlayabilecek su miktarı, denemeler sonucu belirlenmelidir.

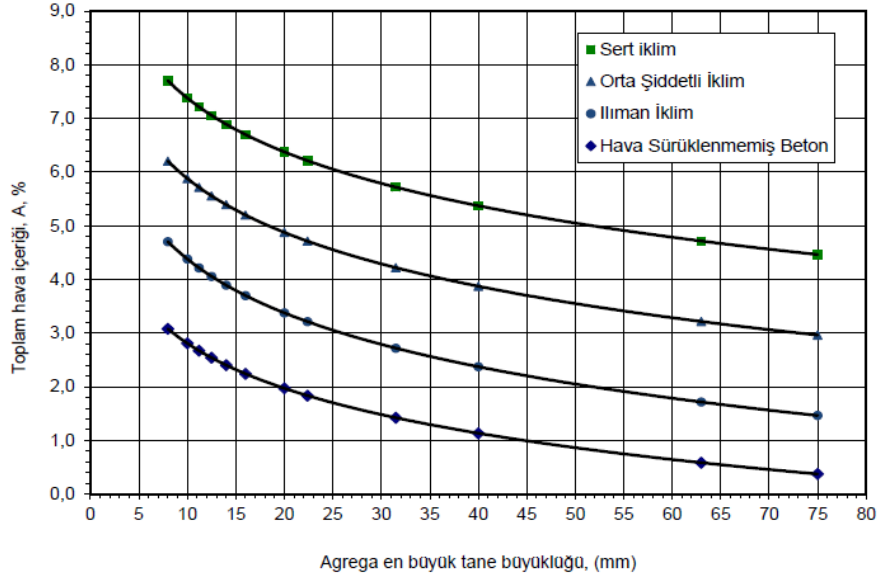


**Şekil 3.17.** Kırmataş agradesi kullanılan farklı en büyük agradesi tane büyüklüğü ve farklı çökme değerlerine sahip için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmemiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarları [28].

İlk aşamada belirlenmiş olan su/çimento oranı yardımıyla, çimento dozajının belirlenmesi mümkündür.

### 3.2.3.3. Hava miktarının seçilmesi

Betonun toplam hava içeriği, iklim şartlarına ve agradesi en büyük tane büyüklüğüne uygun olarak seçilmelidir. Şekil 3.18’de iklim şartları ve agradesi tane büyüklüğüne göre beton tasarımında hesaba katılması gereken hava içeriğini gösterir grafik verilmiştir.



**Şekil 3.18.** Agebra en büyük tane büyüklüğüne ve iklim şartlarına bağlı olarak beton karışım hesabında kullanılacak toplam hava içerikleri [28].

### 3.2.3.4. Agebra hacim ve ağırlığının belirlenmesi

Karışımında kullanılması gereken ageganın hacmi, TS 802: 2009 standardında verilen eşitlik (Eşitlik 3.9) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\frac{c}{\rho_c} + \frac{p}{\rho_p} + \frac{k}{\rho_k} + w + \frac{W_a}{\rho_a} + 10 * A = 1000 \text{ dm}^3 \quad (3.9)$$

Burada;

$c$  : Karışımına girecek çimentonun kütlesi (kg) ,

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

$k$  : Karışımında kullanılacak kimyasal katkı miktarı (kg) ,

$\rho_c$  : Çimentonun yoğunluğu (  $\text{kg}/\text{dm}^3$  ) ,

$\rho_p$  : Mineral katkı (puzolan) malzemenin yoğunluğu (  $\text{kg}/\text{dm}^3$  ) ,

$\rho_k$  : Kimyasal katkının yoğunluğu (  $\text{kg}/\text{dm}^3$  ) ,

$w$  : Karışımına girecek suyun hacmi (  $\text{dm}^3$  ) ,

$W_a$  : Karışımına girecek ageganın miktarı (kg) ,

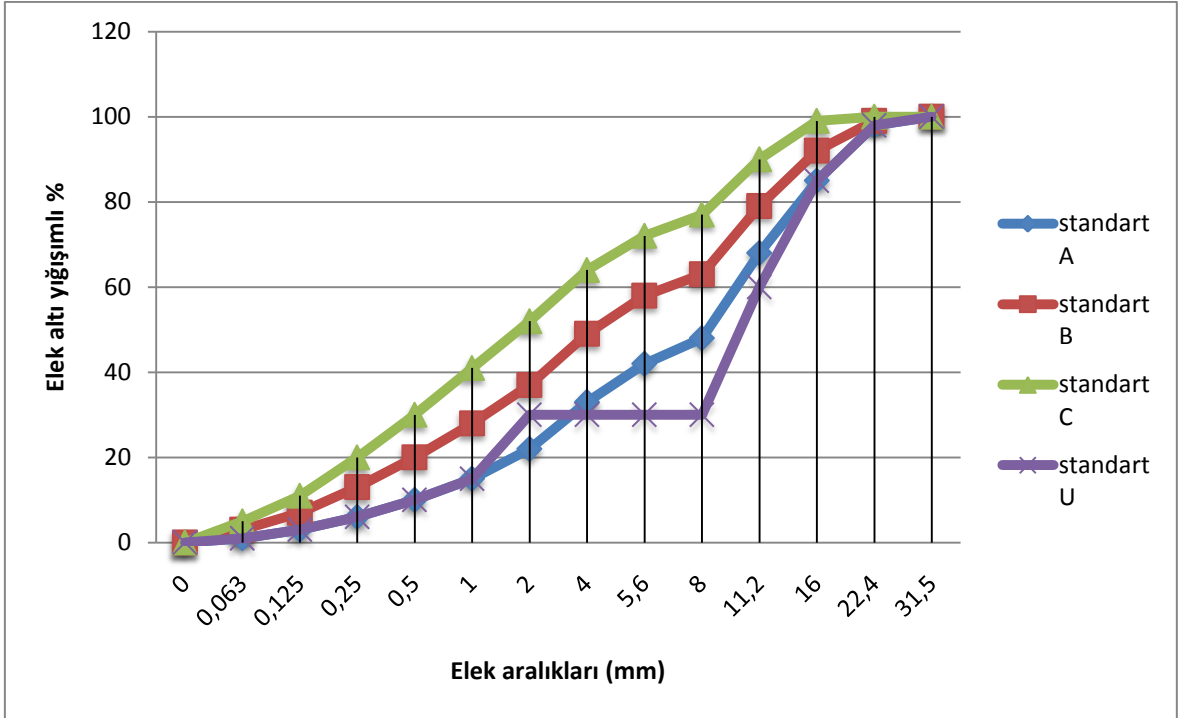
$\rho_a$  : Ageganın ortalama özgül kütlesi (  $\text{g}/\text{cm}^3$  ) veya (  $\text{kg}/\text{dm}^3$  ) ,

$A$  : Betondaki toplam hava miktarı (%) ‘dır.



### 3.2.3.5. Ganülometri

Beton tasarımında ganülometrinin doğru seçilmesi, taze betonun kalıplara yerleşmesi, su ihtiyacının belirlenmesi ve dolayısıyla hedeflenen dayanımın elde edilmesi bakımından önemlidir. İnce agega oranı arttıkça karışımın su ihtiyacı artmakta, iri agega oranı arttıkça da yerleşme sağlanamamaktadır. Şekil 3.19. de en büyük tane boyutu 16 mm olan agega için kullanılması gereken ganülometri gafığı verilmiştir. Gafikte standart A ve B eğrileri arasında kalan alan, optimum bölge olarak belirlenmiştir. Ancak B ve C eğrileri arasında kalan bölge de kullanılabilir olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.19. Agega en büyük tane büyüklüğü 16,0 mm olan beton için belirlenen agega tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar [28].

### 3.2.3.6. Katkı maddesinin belirlenmesi

Parke taşı üretiminde kuru ya da yarı kuru kıvamda beton karışımı hazırlanmaktadır. Laboratuvar ortamında deneylerin uygulanabilmesi için 7 cm ve 10 cm lik kübik kalıplar kullanılması planlanmış ancak kuru kıvamdaki betonun yerleştirilmesi mümkün olmamıştır. Bu sebeple beton parke taşlarında kullanıma uygun olan SikaPaver HC-1 marka akışkanlaştırıcı katkı maddesinin kullanımına karar verilmiş olup çimento dozajının %0,6'sı kadar beton karışımına ilave edilmesi öngörülmüştür.

### 3.2.3.7. Diğer parametreler

Taze beton karışımı için öngörülen su miktarında, ageganın su emme değeri ve kullanılacak katkı maddesinin miktarına bağlı olarak düzeltme yapılması gerekmektedir. Ageganın ağırlıkça emebileceği su kadar ilave yapılmalı ve katkı maddesinin ağırlığının yarısı kadar su eksiltilmelidir.

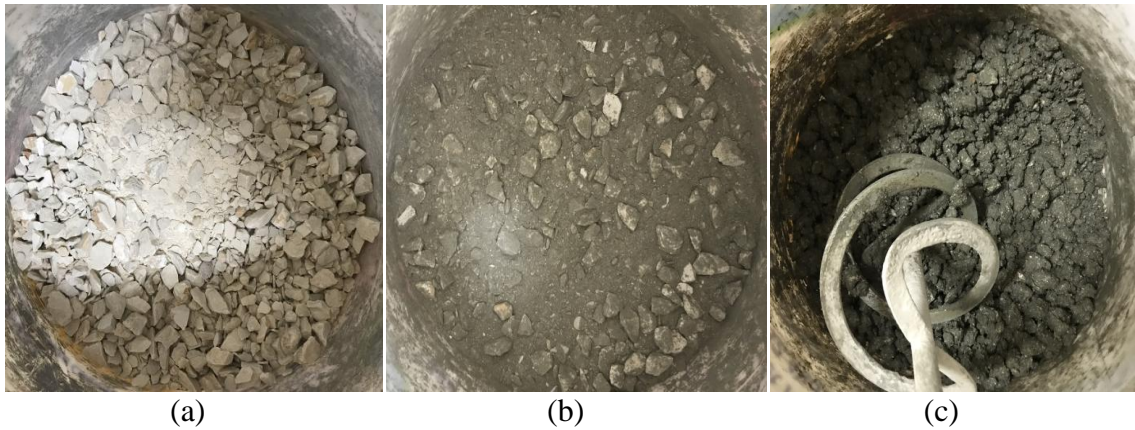
Tasarımda ki tüm bu verilere bağlı olarak laboratuvarında karışım denemeleri yapılmış ve nihai reçeteye ulaşılmıştır.

### 3.2.4. Numunelerin üretilmesi

Sertleşmiş betona uygulanacak olan deneyler göz önünde bulundurularak yarmada çekme dayanımı deneyi için 10 cm çapında 20 cm boyunda silindirik, böhme yüzey aşınma deneyi için 7\*7\*7 cm<sup>3</sup>'lük kübik, basınç dayanımı, ultrases hızı, donma çözülme ve sülfat direnci deneyleri için ise 10\*10\*10 cm<sup>3</sup>'lük kübik numuneler üretilmiştir.

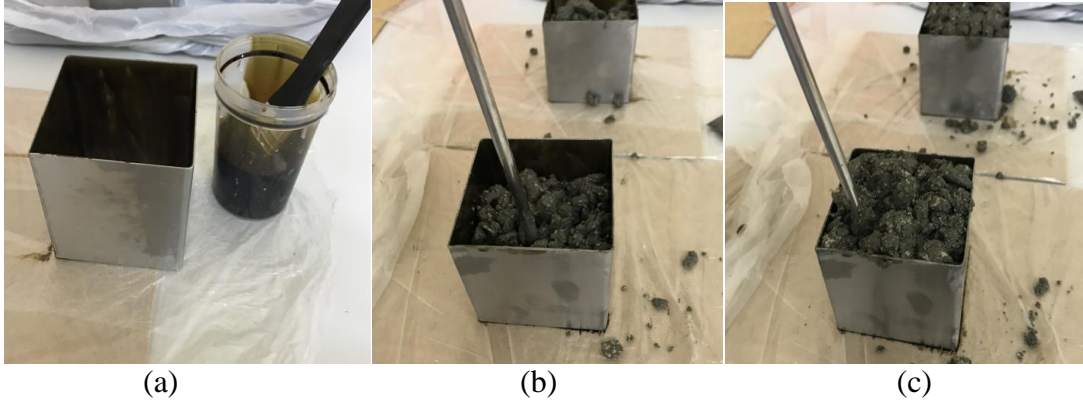
Karışımı hazırlamak için öncelikle agega reçetede ki oranlara göre bir kova içerisine koyulmuş ardından çimento ilave edilerek karıştırılmış, su ve akışkanlaştırıcı katkı ise aynı anda ilave edilerek homojen bir karışım elde edilene dek karıştırıcı ile karıştırılmıştır.

Şekil 3.20 (a-c)'de taze betonun hazırlanma aşamalarına ait görüntüler verilmiştir.



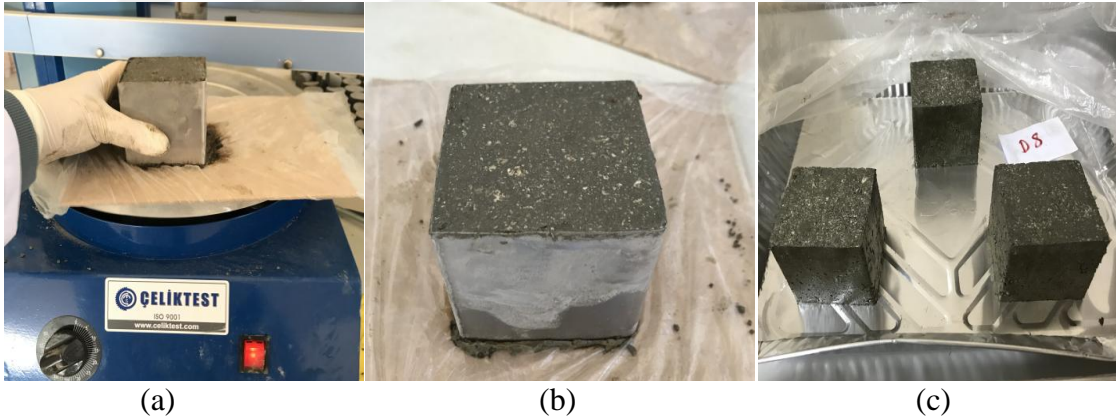
**Şekil 3.20.** Beton karışımının hazırlanması (a: Ageganın karıştırma kabına aktarılması b: Çimentonun karışım kabına ilave edilmesi ve kuru malzemelerin karıştırılması, c: Su ilavesiyle birlikte karışımın hazırlanması) .

Numune üretiminde çelik kalıplar kullanılmış olup, kalıp ayırıcı olarak motor yağı kalıpların iç cidarına sürülmüştür. Taze beton, kalıplara yerleştirilirken öncelikle yarısı dökülerek 25 defa şişlenmiş ardından diğer yarısı dökülerek tekrar şişlenip karışımın kalıba mümkün olduğunca yerleşmesi sağlanmıştır. Şekil 3.21 (a-c)'de taze betonun kalıplara yerleştirilmesine ait görüntüler verilmiştir.



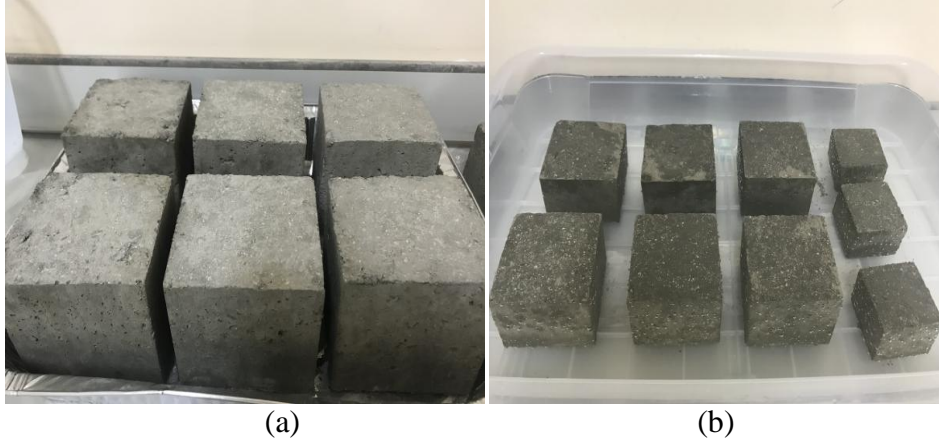
**Şekil 3.21.** Taze betonun kalıplara yerleştirilmesi (a: Motor yağının kalıpların iç cidarına uygulanması, b: Taze betonun kalıbın yarı seviyesine kadar yerleştirilmesi, c: Taze betonun tüm kalıba yerleştirilmesi)

Ardından vibrasyon etkisi yaratması için Çelik Test marka titreşimli elek makinesi üzerinde 20 saniye kadar bekletilerek malzemenin kalıba tamamen yerleşmesi sağlanmıştır. Çökme değerinin 0'a yakın olması ve parke taşı üretiminde kalıpların dökümden hemen sonra çıkartılması göz önünde bulundurularak numuneler kalıplardan çıkarılmış ve üzerleri naylon örtü ile örtülerek 24 saat bekletilmiştir. Priz süresi sonunda numuneler şebeke suyu ile dolu kaplarda 28 günlük küre tabii tutulmuştur. Şekil 3.22 (a-c)'de taze betonunun titreşim ile kalıplara yerleştirilmesine ait görüntüler verilmiştir.



**Şekil 3.22.** Titreşim ile malzemenin kalıplara yerleştirilmesi ve kalıptan çıkarılan numuneler (a: Numunelerin titreşim ile kalıplara yerleştirilmesi, b: Kalıba yerleştirilmesi sağlanmış beton, c: Kalıptan çıkarılmış olan numuneler).

Şekil 3.23 (a-b)'de beton numunelerinin priz süresi sonunda su içerisinde 28 günlük kürlenmeye bırakılmasına ait görüntüler verilmiştir.



**Şekil 3.23.** Numunelerin priz süresinin ardından kürlenmesi (a: Numunelerin 24 saatlik priz süresi sonunda ki görünüşleri, b: Numunelerin su havuzunda kürlenmeye bırakılması).

28 gün boyunca şebeke suyu içerisinde kür edilen numuneler, kür süresinin bitiminde tek eksenli basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrasonik hız geçirgenliği tayini, yoğunluk ve su emme tayini, aşınma dayanımı, donma çözülme, buz çözücü tuz etkisinde donma çözülme ve sülfat direnci deneylerine tabi tutulmuştur.

### 3.2.5. Sertleşmiş beton deneyleri

#### 3.2.5.1. Betonun yoğunluğunun ve su emme oranının tayini deneyleri

TS EN 12390-7: 2010 standardına göre uygulanan bu deney, sertleşmiş betonun yoğunluğunun tespiti için yapılmıştır. Sertleşmiş beton numunesinin kütlesi ve hacmi tayin edilerek yoğunluğu hesaplanmıştır [40].

Numunenin su ile yer değiştirmesi metoduyla yapılan bu deneyde  $10*10*10 \text{ cm}^3$ 'lük kübik numuneler kullanılmıştır. Numunelerin deney öncesi 72 saat suda bekletilerek suya doymun hale getirilmiştir. Doymun kuru yüzey halde tartımı alınan numunelerin ağırlığı  $m_a$  olarak kaydedilmiştir. Standartta belirtildiği üzere kullanılan kefenin sudaki ağırlığı  $m_{st}$  olarak, numunenin kefe üzerinde su içerisindeki ağırlığı ise  $m_w$  olarak kaydedilerek Eşitlik 3.10 ile numunenin hacmi hesaplanmıştır.

$$V = \frac{m_a - [(m_{st} + m_w) - m_{st}]}{\rho_w} \quad (3.10)$$

Burada;

V: Numunenin hacmi,  $\text{m}^3$

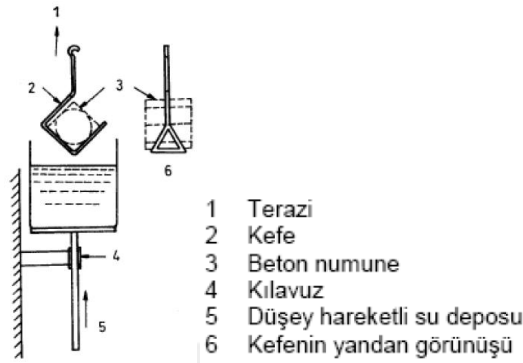
$m_a$ : Numunenin havadaki kütlesi, kg

$m_{st}$ : Kefenin su içerisindeki kütlesi, kg

$m_w$ : Numunenin su içerisindeki görünür kütlesi, kg

$\rho_w$ : Suyun 20°C sıcaklıktaki yoğunluğu, 998kg/m<sup>3</sup>

Şekil 3.24’da beton yoğunluğunu belirlemede kullanılan deney düzeneğine ait plan çizimi verilmiştir.



**Şekil 3.24.** Beton yoğunluğu ölçümü için kullanılan deney düzeneği [40].

Hacmi ölçülen numuneler 105°C sıcaklıktaki etüvde 24 saatte bir tartım yapılarak sabit kütleye gelene dek kurutulmuş, kuru haldeki numunenin ağırlığı kaydedilmiştir.

Hacmi, doymun kuru yüzey ve kuru ağırlığı belirlenmiş olan numunelerin özgül ağırlıkları Eşitlik 3.11 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$D = \frac{m}{V} \quad (3.11)$$

Burada;

D: Numunenin yoğunluğu, kg/m<sup>3</sup>

m: Numunenin kütlesi, kg

V: Numunenin hacmi, m<sup>3</sup>’dir.

Numunelerin su emme oranları ise TS 2824 EN 1338 standardında belirtilen, numunenin doymun kuru yüzey ağırlığı ( $M_1$ ) ve kuru ağırlığı ( $M_2$ ) verileri kullanılarak Eşitlik 3.12 ile hesaplanmıştır.

$$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \% \quad (3.12)$$

Burada;

$M_1$ : deney numunesinin ilk kütlesi, g

$M_2$ : deney numunesinin son kütlesi, g’dir.



### 3.2.5.2. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Bu deney, numunelerin basınç dayanımı değerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. TS EN 12390-3: 2010 standardına göre numunenin taşıyabildiği en büyük yük belirlenerek basınç dayanımı değeri hesaplanmıştır.

Deney için 10\*10\*10 cm<sup>3</sup>'lük kübik 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 3.13 ile hesaplanarak MPa cinsinden ifade edilmiştir.

$$f_c = F/A \quad (3.13)$$

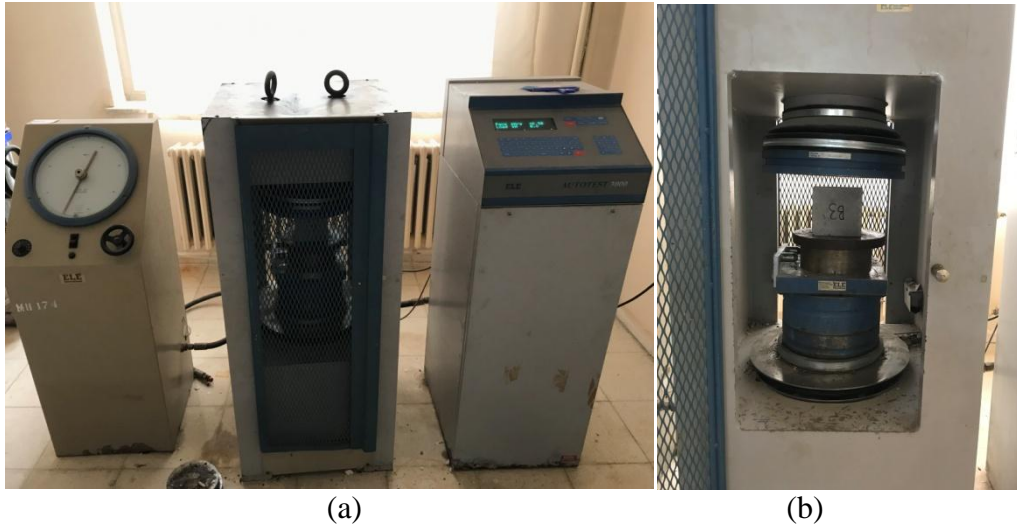
Burada;

$f_c$ : Basınç dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>)

F: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N

A: Üzerine basınç uygulanan alan, mm<sup>2</sup>'dir.

Şekil 3.25 (a-b)'de tek eksenli basınç dayanımı deneyinin uygulanmasına ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 3.25. a: Tek eksenli basınç dayanımı deney cihazı, b: Deneyin yapılışı.

### 3.2.5.3. Ultrases geçirgenlik hızı deneyi

Bu deney kaya, beton, asfalt vb. yerlerden elde edilen karot örneklerinin basınç ve makaslama sismik hızlarının ölçülerek, mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde

kullanılmaktadır. Bu yöntem diğer deney yöntemlerine göre daha kolay, daha kısa zamanda, daha ucuz ve numunelerde deformasyon yaratmadan uygulanmaktadır.

Ultrasonik hız tekniği, betonun mukavemetinin, homojenliğinin, elastisite modülünün, döküm özelliklerinin ve çatlakların varlığının belirlenmesinde kullanılabilir [16].

Bu deneyde, TS EN 12504-4: 2021 standardında belirtilen şart ve metodlar kullanılmıştır. Deneyde kullanılan cihaz, Proceq markasına aittir.

Etüvde kurutulmuş olan beton numuneleri her eksenenden milimetre hassasiyetinde ölçülerek mesafe değerleri (L) metre cinsinden kaydedilmiştir. Transdüserlere ultrasonik jel sürülerek 3 farklı eksen üzerinde birbirlerini karşılayacak şekilde tutulmuş ve cihaz monitöründen ses hızı değerleri (T) okunmuştur. Ultrases geçirgenlik hızı değeri, Eşitlik 3.13 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V = L/T \quad (3.13)$$

Burada;

V: Ultrases geçirgenlik hızı, km/s

L: Mesafe, mm

T: Transdüserler arası ölçülen iletim süresi,  $\mu$ s'dir.

#### **3.2.5.4. Schmidt sertlik tayini**

Deney, ISRM 1978 standardında önerilen yönteme göre uygulanmış olup  $7*7*7\text{cm}^3$ 'lük kübik numuneler üzerinde uygulanmıştır. Deney numunelerinin yüzeylerinin düzgün ve pürüzsüz olmasına dikkat edilmiştir. Çekiç, numune yüzeyiyle dik açı oluşturacak şekilde yüzeye bastırılmış ve çekicinin içindeki yaydan geri tepme sesi geldiği anda, sabitleme tuşuna basılarak göstergeden sertlik değeri okunmuştur. Birinci okumadan sonra deney örneği üzerinde birbirinden uzaklığı en az çekicinin uç çapına eşit olan, 20 değişik noktada ölçüm tekrarlanmış ve değerler kaydedilmiştir. Deney sırasında numunede herhangi bir çatlak yada kırık oluşumu gözlemlendiğinde deney iptal edilmiştir. Deneyde okunan sertlik değerlerinin en büyük %50'si değerlendirmeye alınmıştır. Değerlendirilen en yüksek 10 okumanın aritmetik ortalaması alınarak Schmidt sertlik değeri hesaplanmıştır [21].

### 3.2.5.5. Yarmada çekme dayanımı deneyi

Beton numunelerde yarmada çekme dayanımı deneyi TS 2824 EN 1338: 2005 standardında belirtilen şekilde yapılmıştır. Deneyin amacı, dolaylı olarak çekme gerilmesine maruz bırakılan betonun dayanımının ölçülmesidir.

Deneyin uygulandığı numunelerin kırılma düzlemi (S) Eşitlik 3.14 kullanılarak hesaplanır.

$$S=l \times t \quad (3.14)$$

Burada;

S: Kırılma alanı, mm<sup>2</sup>

l: Numunenin üst ve altında yapılan iki ölçmenin ortalaması olarak kırılma kesitinin uzunluğu, mm

t: Numunenin, biri ortadan, diğer ikisi kenarlardan yapılan üç ölçmenin ortalaması olarak kırılma düzlemindeki kalınlığı, mm 'dır.

U test markasına ait tek eksenli basınç dayanımı deney cihazında yapılan deneyde, 3 adet 100 mm (t) çapında ve 200 mm (l) boyunda silindirik numuneler kullanılmıştır. Numune, alt ve üst kısmına kauçuk başlık yerleştirilerek yatay şekilde cihaza yerleştirilmiş ve yükleme hızı 0,05 MPa/sn olacak şekilde ayarlanmıştır. Yarma olayı gerçekleştiğinde cihazın ekranından okunan değer kaydedilmiş ve Eşitlik 3.15 ile hesaplanmıştır.

$$T = 0,637 \times k \times P/S \quad (3.15)$$

Burada;

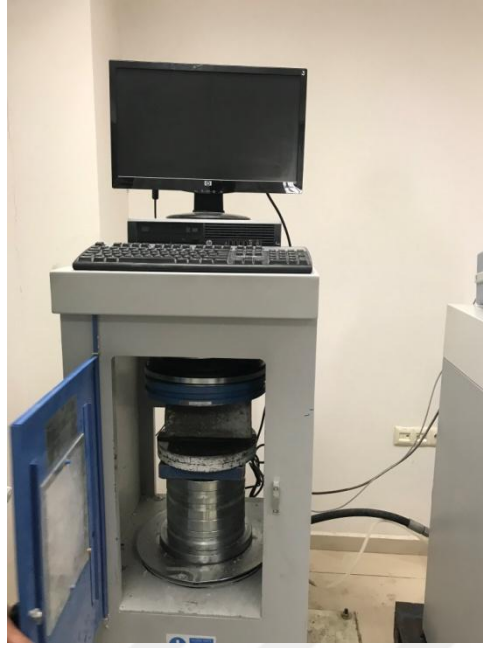
T: Dayanım, MPa

P: Kırılma yükü, N

k: Numunenin kalınlığı için düzeltme katsayısıdır.

Numune kalınlığı (t) bu deneyde 100 mm olduğundan TS 2824 EN 1338 standardı metninde verilen çizelgeden k değeri 1,1 olarak okunmuştur. Şekil 3.26'de yarmada çekme dayanımı deneyinin yapılışına ait görüntüler verilmiştir.





**Şekil 3.26.** Yarmada çekme dayanımı deneyinin yapılışı.

### **3.2.5.6. Böhme ile aşınma dayanımı deneyi**

Kayaç ve beton yüzeylerinin aşındırıcı maddelerle sürtünmesiyle oluşan azalmaya aşınma kaybı denir. Aşınma yavaş tempoda olan fiziksel ve mekanik bir olaydır. Parke taşı yüzeyine sürtünme veya çarpma şeklinde gelen kuvvetler yüzeyin aşınmasına yol açmaktadır. Bu nedenle aşınma kaybı parke taşlarının kullanımları için son derece önemlidir [13].

Bu çalışmada, TS 2824 EN 1338: 2005 standardında aşınma dayanımının belirlenmesi için alternatif deney metodu olarak belirtilen Böhme deneyi kullanılmıştır. Deney, Armatest markasına ait Böhme deney cihazı ile gerçekleştirilmiştir. 30 devir/dk.  $\pm$  1 devir/dk hızla dönmelerini sağlayan yaklaşık 750 mm çapında yatay olarak yerleştirilmiş döner bir aşındırma diski bulunan cihaz, dönen disk üzerinde belirli bir kuvvet uygulayan donanıma sahiptir. Ayrıca disk her 22 devirde cihazı otomatik olarak durduracak tertibata ve devir sayısını gösteren bir numaratóre sahiptir. Bu deney için 3 adet  $7*7*7\text{cm}^3$  lük kübik numune hazırlanmıştır ve aşındırıcı olarak alüminyum oksit kullanılmıştır. Deney öncesinde, numunelerin hacimleri ve yoğunlukları belirlenmiş, etüvde kurutulduktan sonra tartılarak kuru ağırlıkları kaydedilmiştir.

Deneylerde 20 g alüminyum oksit sürtünme şeridi üzerine serpilmiş ve çelik manivela aracılığı ile  $294 \pm 3$  N ile yüklenmiştir. 22 devir sonunda otomatik olarak duran disk üzerinden zımpara tozu ve numune atıkları temizlenmiştir. Yeniden 20 g alüminyum oksit

sürtünme şeridi üzerine serpilerek numune düşey eksen etrafında 90° çevrilmiştir. Her numune için 22 devirden meydana gelen deney, numuneye 16 defa uygulanmıştır [5].

Deney sonucunda numuneler tekrar tartılarak, Eşitlik 3.16 ile kütle kayıpları hesaplanmıştır.

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho_r} \quad (3.16)$$

Burada;

$\Delta V$ : hacim kaybı, mm<sup>3</sup>

$\Delta m$ : kütle kaybı, g

$\rho_r$ : numunenin yoğunluğu, g/mm<sup>3</sup>

Şekil 3.27’de Böhme deney cihazı görüntüsü, 3.28’de Böhme deneyinin yapılışına ait görüntü verilmiştir.



Şekil 3.27. Böhme deney cihazı.



Şekil 3.28. Böhme deneyinin yapılışı.

### 3.2.5.7. Buz çözücü tuz ile donma çözülme deneyi

Bu deneyin amacı, parke taşlarının maruz kalacağı buz çözücü tuz etkisindeki donma çözülme olayı sonucunda oluşan kütle kaybını tespit etmektir. TS 2824 EN 1338: 2005

standardında detayları verildiği üzere numune, ön şartlandırmaya tâbi tutulduktan sonra 28 gün süreyle, yüzeyi %3'lük NaCl çözeltisi ile kaplanmış şekilde, donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılmaktadır. Donma-çözülme etkisiyle pullanma sonucu numuneden ayrılan parçalar tartılarak sonuç, numunenin metrekaresi başına kilogram cinsinden gösterilmektedir [41].

Deneyde, sadece tek bir yüzey üzerinden kalkan malzeme  $\text{kg/m}^2$  cinsinden ifade edileceği için diğer tüm yüzeylerin ısı ve su yalıtımı yapılması gerekmektedir. Bu amaçla numune çevresine hava boşluklu naylon sarıların numuneler, boyutlarıyla uyumlu olan polietilen kutulara yerleştirilmiştir. Deneye maruz bırakılacak yüzeyin kenar kısımlarına su sızdırmazlık sağlanması amacıyla silikon uygulanmıştır. Sızdırmazlığından emin olunan düzeneğe, yüzeyin 5 mm kadar üzerine çıkacak şekilde %3'lük NaCl çözeltisi ilave edilmiştir. Bu şekilde donma çözülme çevrimlerine başlanmış, 7. ve 14. gün çözeltinin azaldığı gözlenmiş ve tekrar aynı seviyeyi sağlayacak şekilde çözelti ilave edilerek çevrimlere devam edilmiştir.

Donma çözülme olayı için ön görülen ısı değişim alt ve üst sınırları dikkate alınarak yapılan çevrimlerde en düşük sıcaklık  $-20^\circ\text{C}$ , en yüksek sıcaklık ise  $20^\circ\text{C}$  olarak ayarlanmıştır. 1 çevrim 24 saat içinde tamamlanmıştır. Deney,  $10*10*10\text{cm}^3$ 'lük kübik numuneler üzerinde yapılmış olup, deneyde Microtest markasına ait donma çözülme kabini kullanılmıştır.

Deney sonucunda, yüzeyden kalkan malzeme, bir kapta toplanarak tuzdan arındırılmış ve  $105^\circ\text{C}$ 'lik etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur. Tartılan malzeme, kütle kaybı (M) olarak  $\text{kg}$  cinsinden kaydedilmiştir. Eşitlik 3.17 yardımıyla beton numunelerinin, buz çözücü tuz ile birlikte donma çözülme olayındaki kütle kaybı  $\text{kg/m}^2$  cinsinden hesaplanmıştır.

$$L=M/A \quad (3.17)$$

Burada;

L: Deney sonucu oluşan kütle kaybı,  $\text{kg/m}^2$

M: Deney sonucunda yüzeyden kalkan malzeme miktarı,  $\text{kg}$

A: Deneye maruz bırakılan yüzey alanı,  $\text{m}^2$  'dir.

Deney sonucunda numunelerin, tek bir yüzeyden malzeme kaybının yanısıra hacimsel kayıpları (her yüzeyden kayıpları) Eşitlik 3.16 yardımıyla hesaplanmıştır. 28 kez donma çözülme çevrimi uygulanan numunelere ultrases geçirgenlik hızı deneyi tekrar uygulanmış

olup böylelikle olası içsel hasarın varlığının tespiti amaçlanmıştır. Şekil 3.29'te buz çözücü tuz ile donma çözülme çevrimleri için hazırlanmış numunelere ait görüntü verilmiştir.



**Şekil 3.29.** Buz çözücü tuz ile donma çözülme deneyi için hazırlanmış numunelerin görünümü.

### **3.2.5.8. Donma çözülme deneyi**

Otopark alanları veya park içi yürüyüş yollarına döşenmiş olan beton parke taşları genellikle buz çözücü tuz etkisine maruz kalmamaktadır. Ancak kış şartlarına bağlı olarak yine donma çözülme olayından direkt olarak etkilenmektedir. Beton parke taşlarıyla ilgili standart olan TS 2824 EN 1338: 2005' de donma çözülme olayının kaplama üzerindeki etkisiyle ilgili deney, buz çözücü tuz ile tarif edilmiştir. Bu deneyde, standartta belirtilen düzenek aynen uygulanmış ancak NaCl ilavesi olmadan donma çözülme çevrimleri uygulanmıştır. Deneye maruz bırakılan yüzeyden kalkan malzeme ile kütle kaybı Eşitlik 3.17 ile hesaplanmıştır. Aynı zamanda hacimsel kayıpları da hesaplanan beton numuneleri, tekrar ultrases geçirgenlik hızı deneyine tabii tutulmuştur.

### **3.2.5.9. Sülfat etkisi deneyi**

Bu çalışmada, betondaki sülfat etkisini belirlemek amacıyla ASTM C1012 standardından yararlanılmıştır. İlgili çalışmalarda, sülfatın beton üzerinde ki etkisi, boy değişimi, hacim genişmesi ve dayanım kayıpları bakımından değerlendirilmiştir.

Deneyde,  $10*10*10\text{ cm}^3$  lük kübik numunelerin 28 günlük kür süresinin sonunda doygun-kuru yüzey ve kuru halde ki kütleleri kaydedilmiş aynı zamanda su emme oranları da tespit edilmiştir. Ardından örnekler, %5'lik  $\text{MgSO}_4$  çözeltisi içerisine bırakılarak 16 hafta bekletilmiştir. Süre sonunda numuneler, doygun-kuru yüzey ve kuru halde tekrar tartılarak kütleleri kaydedilmiş ve su emme oranları hesaplanmıştır. Deney sonrasında ki ağırlık ve su emme değerleri karşılaştırılmıştır. Deney sonrası, kuru haldeki numunelere TS EN 12504-4: 2021 standardına göre ultrases geçirgenlik hızı deneyi uygulanarak sülfata maruziyeti sonrasında meydana gelebilecek olası hasarların varlığı tespit edilmiştir.

Böylelikle beton parke taşı numunelerinin sülfata karşı dirençleri belirlenmiştir. Ayrıca SEM analizleri yapılarak sülfat maruziyeti sonrası beton içerisinde ki yeni oluşumlar tespit edilmiştir.



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Mermer Atıklarının Agega Özelliklerinin Belirlenmesi Amacıyla Yapılan Deneylerin Sonuçları

#### 4.1.1. Elek analizi bulguları

Ön çalışmada yapılan boyut küçültme işlemi ile elde edilen tüvenan agega, eleme işlemi ile 0-2 mm, 2-4,75 mm, 4,75-9,50 mm, 9,50-11,2 mm, 11,2-14,0 mm tane boyut aralıklarında sınıflandırılmıştır. Her boyut sınıfından 1000'er gram numune, 0,063-0,125-0,250-0,5-1-2-4-5,6-8-11,2-16-22,4 cm açıklıklı elekler ile eleme işlemine tabii tutularak analiz verileri, standartta belirtilen gafikler üzerinde ifade edilmiştir. Toz formunda ki mermer atığı ise 0,063-0,125-0,250 mm açıklıktaki elekler ile analize tabi tutulmuş olup sonucunda filler malzeme özelliğinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Elek analizi verileri toz, 0-2 mm ve 2-4,75 mm boyutlarındaki örnekler için Çizelge 4.1.'de, 4,75-9,50 mm, 9,50-11,2 mm ve 11,2-14,0 mm boyutlarında ki numuneler için ise Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Mermer tozu, 0-2 mm ve 2-4,75 mm sınıfları için elek analizi sonuçları.

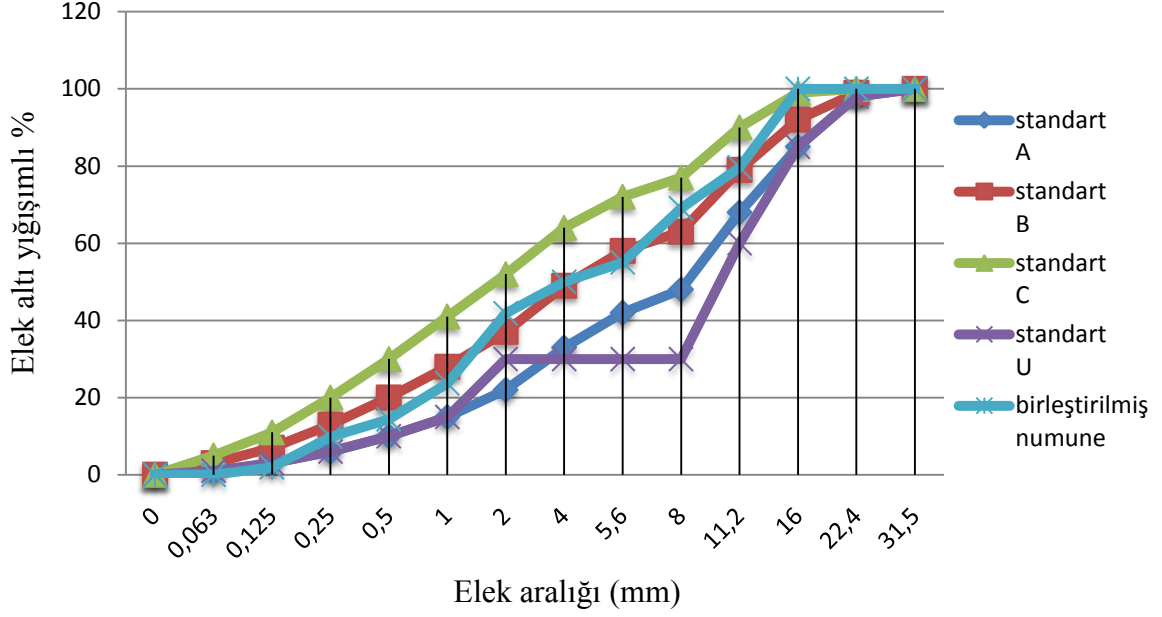
elek serisi mm	mermer tozu				0-2 mm				2-4,75 mm			
	elek üstü			elek altı	elek üstü			elek altı	elek üstü			elek altı
	g	yığ. g	yığ. %	yığ. %	g	yığ. g	yığ. %	yığ. %	g	yığ. g	yığ. %	yığ. %
22,40	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
16	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0	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	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	0,00	0,00	0,00	100,0
5,6	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
4	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0	124,2	124,2	12,42	87,58
2	0,00	0,00	0,00	100,0	80,00	80,00	8,00	92,00	853,9	978,1	97,81	2,19
1	0,00	0,00	0,00	100,0	401,00	481,0	48,10	51,90	14,50	992,6	99,26	0,74
0,50	0,00	0,00	0,00	100,0	199,70	680,7	68,07	31,93	7,40	1000	100,0	0,00
0,250	0,00	0,00	0,00	100,0	101,40	782,1	78,21	21,79	0,00	1000	100,0	0,00
0,125	478,8	478,8	47,88	52,12	174,60	956,7	95,67	4,33	0,00	1000	100,0	0,00
0,063	264,6	743,4	74,34	25,66	43,30	1000	100,0	0,00	0,00	1000	100,0	0,00
0	256,6	1000	100	0,00	0,00	1000	100,0	0,00	0,00	1000	100,0	0,00

**Çizelge 4.2.** 4,75-9,50 mm, 9,50-11,2 mm, 11,2-14,0 mm sınıfları için elek analizi sonuçları.

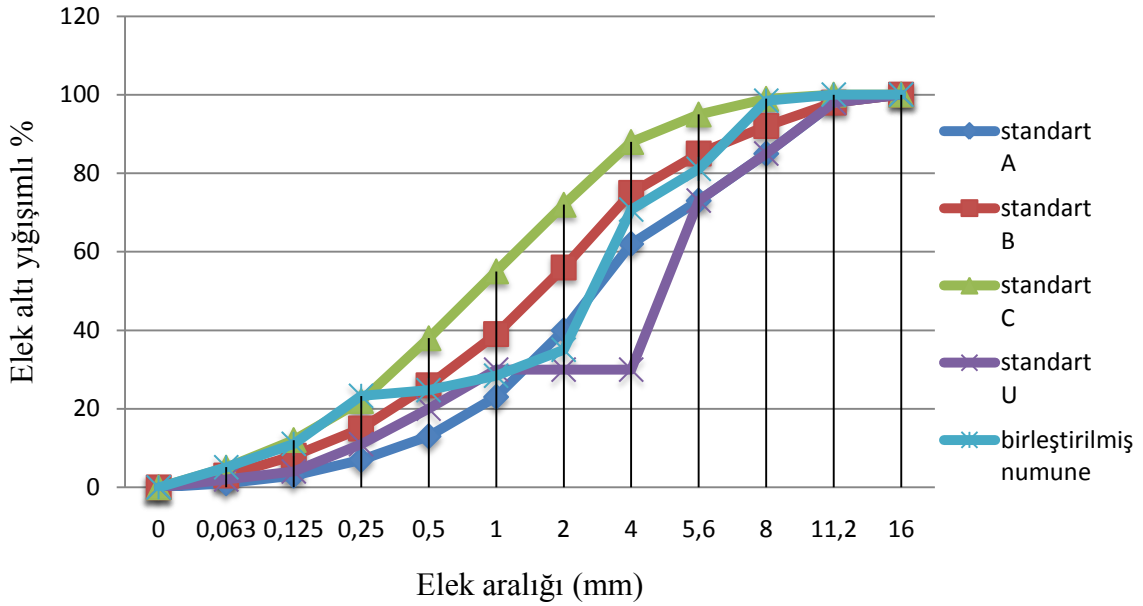
elek serisi mm	4,75-9,50 mm				9,50-11,2 mm				11,2-14,0 mm			
	elek üstü			elek altı	elek üstü			elek altı	elek üstü			elek altı
	g	yığ. g	yığ. %	yığ. %	g	yığ. g	yığ. %	yığ. %	g	yığ. g	yığ. %	yığ. %
22,40	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
16	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
11,2	0,00	0,00	0,00	100,0	365,60	365,6	36,56	63,44	988,7	988,7	98,87	1,13
8	60,00	60,00	6,00	94,00	623,90	989,5	98,95	1,05	6,70	995,4	99,54	0,46
5,6	694,6	754,6	75,40	24,54	4,90	994,4	99,44	0,56	4,60	1000	100,0	0,00
4	216,3	970,9	97,09	2,91	5,60	1000	100,0	0,00	0,00	1000	100,0	0,00
2	14,50	985,4	98,50	1,46	0,00	1000	100,0	0,00	0,00	1000	100,0	0,00
1	1,40	986,8	98,68	1,32	0,00	1000	100,0	0,00	0,00	1000	100,0	0,00
0,50	13,20	1000	100,0	0,00	0,00	1000	100,0	0,00	0,00	1000	100,0	0,00
0,250	0,00	1000	100,0	0,00	0,00	1000	100,0	0,00	0,00	1000	100,0	0,00
0,125	0,00	1000	100,0	0,00	0,00	1000	100,0	0,00	0,00	1000	100,0	0,00
0,063	0,00	1000	100,0	0,00	0,00	1000	100,0	0,00	0,00	1000	100,0	0,00
0	0,00	1000	100,0	0,00	0,00	1000	100,0	0,00	0,00	1000	100,0	0,00

Elek analizi verileri ile beton tasarımında hesaplanan agega ağırlığına göre hangi sınıftan ne kadar agega kullanılması gerektiği belirlenmiştir. TS 802: 2009 standardında agega en büyük tane boyutunun 8 mm ve 16 mm olarak belirlenmesi durumunda uygulanması gereken ganülometri özellikleri belirtilmiştir. Bu çalışmada, en büyük tane boyutu 9,5 mm ve 14 mm olan iki farklı beton parke taşı reçetesi hazırlanmıştır. Şekil 4.1.'de agega en büyük tane boyutu 14 mm olan 1. beton parke taşı reçetesinin ganülometri eğrisi ile standartta belirtilen eğrilerin aynı grafik üzerinde gösterimi verilmiştir. Şekil 4.2.'de agega en büyük tane boyutu 9,5 mm olan 2. beton parke taşı reçetesinin ganülometri eğrisi ile standartta belirtilen eğrilerin aynı grafik üzerinde gösterimi verilmiştir.





**Şekil 4.1.** Agreganın en büyük tane boyutu 14 mm olan 1. beton parke taşı reçetesine ait ganülometri eğrisi



**Şekil 4.2.** Agreganın en büyük tane boyutu 9,5 mm olan 2. beton parke taşı reçetesine ait ganülometri eğrisi

Elek analizi sonuçları ve ganülometriye göre değerlendirilme yapıldığında en büyük tane boyutunun 14 mm olduğu 1. beton parke taşı reçetesinde, 0-2 mm malzemeden %45, 2-4,75 mm malzemeden %5, 4,75-9,5 mm malzemeden %20, 9,5-11,2 mm malzemeden %15 ve 11,2-14mm malzemeden %15 oranında kullanıldığında ortaya çıkan eğrinin, TS 802 standardında kullanılması önerilen bölgeler dahilinde olduğu sonucuna varılmıştır. En büyük tane boyutunun 9,5 mm olduğu 2. beton parke taşı reçetesinde ise toz boyutundaki

malzemeden %20, 0-2 mm malzemeden %15, 2-4,75 mm malzemeden %40 ve 4,75-9,5 mm malzemeden %25 oranında kullanıldığında ortaya çıkan eğrinin TS 802 standardında kullanılması önerilen bölgeler dahilinde olduğu sonucuna varılmıştır. Bu oranların kullanımıyla birlikte taze betonun kalıplara yerleşmesi en iyi oranda sağlanmıştır.

#### 4.1.2. Agegaların tane yoğunluğu ve su emme deneyi bulguları

Agegaların tane yoğunluğu ve su emme değerlerinin tespiti iki farklı tane boyutu grubunda yapılmıştır. İnce (0-4,75mm) ve iri (4,75-14mm) agega olarak değerlendirilen deney sonuçları Çizelge 4.3.'te verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** İnce ve iri agega yoğunluk ve su emme değerleri.

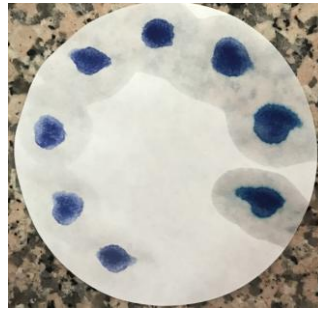
	İnce Agega (0-4,75mm)	İri Agega (4,75-14mm)
Doygun-kuru yüzey yoğunluk	2,62	2,64
Görünür yoğunluk	2,70	2,67
Kuru yoğunluk	2,57	2,62
Ağırlıkça su emme %	1,88	0,85

TS 706 EN 12620 standardında belirtildiği üzere ageganın ağırlıkça su emme oranı %1'den küçükse donma çözülme olayına karşı dirençli olduğu kabul edilmektedir. Ancak, yapılan deneylerde donma çözülmeye dirençli olan bir çok ageganın daha yüksek su emme değerleri olduğu görülmüştür. Bir çok malzemenin su emme oranı % 2'den daha yüksek olmasına rağmen, yeterli direncine sahip olduğu belirlenmiştir. [38].

Tane yoğunluğu ve su emme deneyleri sonuçlarına mermer atığından elde edilen ageganın, agega sınıflamasında 'normal agega' olduğu sonucuna varılmıştır. Su emme değerlerine bakıldığında ise ageganın dona dayanıklı olabileceği öngörülmüştür.

#### 4.1.3. Metilen mavisi deney bulguları

Şekil 4.3.'de metilen mavisi deneyinde kullanılan süzgeç kağıdı üzerindeki harelere ait görünüm verilmiştir.



**Şekil 4.3.** Metilen mavisi deneyi sonucunda süzgeç kağıdında oluşun harelere.

Yapılan deneyde, 200g ( $V_1$ ) malzemeye 8 kez toplamda 40g ( $M_1$ ) (8\*5ml) metilen mavisi ilave edilmiş ve 8. kez kağıt üzerine damlatıldığında halelerin oluştuğu gözlenmiştir. Bu verilerle birlikte numunenin metilen mavisi değeri MB=2 olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.4.'te metilen mavisi deney sonucu verilmiştir.

**Çizelge 4.4.. Metilen mavisi deney sonuçları.**

	Numune ağırlık (g) $M_1$	Kullanılan çözelti miktarı (g) $V_1$	MB değeri $(V_1/M_1)*10$
Numune	200	40	2,00

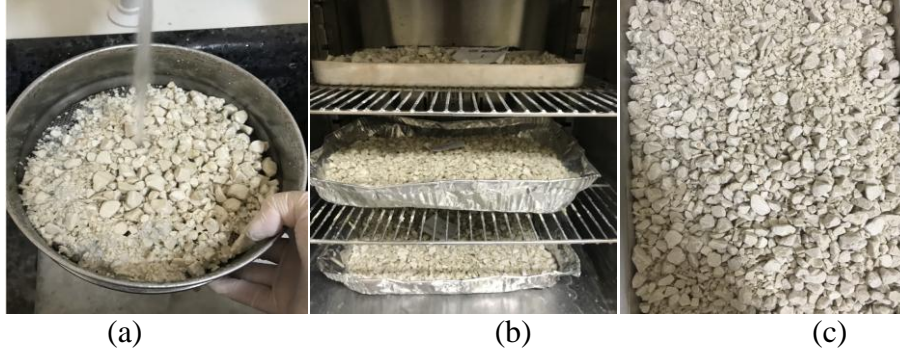
TS 706 EN 12620+A1 standardında metilen mavisi deney sonuçları için sınır değer belirtilmemiştir. Agedanın kil içeriğinin fazla olması, kilin su emme özelliğinden dolayı taze betonda istenilen kıvam ve dayanımı sağlamanın da zor olacağı anlamına gelmektedir. Betonun içeriğinde metilen mavisi değeri yüksek olan ince agedanın kullanımı su ihtiyacını arttıracaktır. Karışımda ki su miktarı arttıkça betonda dayanım düşmekte olup akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanımı ile karışım suyu miktarının azaltılması bu duruma çözüm olabilmektedir. Buna bağlı olarak bu çalışmada, beton parke taşı reçetelerinde belirlenmiş olan ince malzeme oranları sebebiyle TS 802: 2009 standardında belirtilenden daha fazla karışım suyuna ihtiyaç duyulmuştur. Ancak su miktarını arttırmak yerine akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır.

#### 4.1.4. Agedanın parçalanma direnci deneyi (Los Angeles Deneyi) sonuçları

Los Angeles deneyi 10-14 mm tane boyutunda 3 numune üzerinde uygulanmış olup deney sonuçları Çizelge 4.5.'te verilmiştir. Şekil 4.4 (a-b)'de numunelerin Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası görünüşleri verilmiştir. Şekil 4.5 (a-c)'de deney cihazından çıkan malzemenin elenerek yıkanması, etüvde kurutulması ve deney sonunda malzemeye ait görüntüler verilmiştir.



**Şekil 4.4. a:** Los Angeles deneyi öncesi numune görünümü, **b:** Deney sonrası numune görünümü.



**Şekil 4.5.** Los Angeles deneyi sonrası numunelerin görünüşleri (a: Numunenin yıkanarak elenmesi, b: Numunenin etüvde kurutulması, c: Deney sonrası malzemenin görünümü.).

**Çizelge 4.5.** Los Angeles deney sonuçları.

	İlk ağırlık (g)	Son ağırlık (g)	LA katsayısı (5000-m)/50	Kategori
1.numune	5002,67	3923,61	21,53	LA <sub>25</sub>
2.numune	4999,46	3942,32	21,15	
3.numune	5000,52	3908,96	21,82	
ortalama			21,50 ± 0,33	

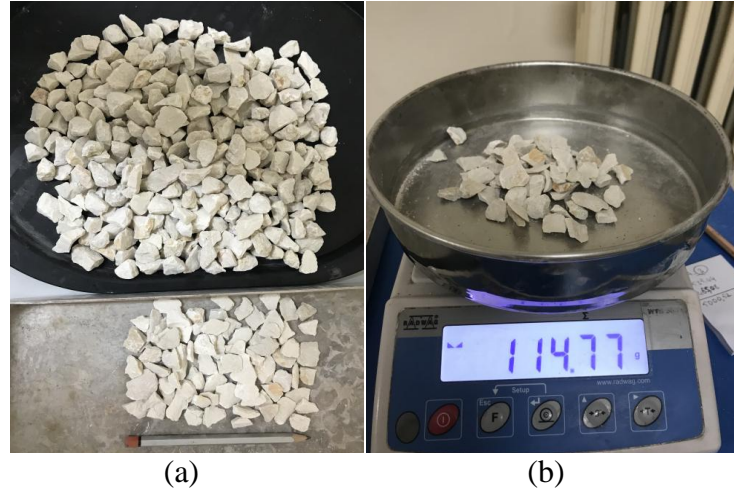
LA değeri  $\leq 25$  ise bu değer LA<sub>25</sub> olarak kategorize edilmektedir [38]. Elde edilen sonuçlara göre mermer atıklarından elde edilen aģeganın parçalanma direnci değeri, TS 706 EN 12620 da beton aģegalari için istenilen sınır değere uygundur. Parçalanma direnci değerinin düşük olması, tanelerin mekanik etkilere karşı dayanımının o derece yüksek olduğu anlamına gelmektedir.. İri aģegalarda parçalanma direncinin tayini için kullanılan Los Angeles katsayısının % 50'den daha az olması istenmektedir. Beton yolların yapımında kullanılan aģeganın parçalanma direnci sınır değeri ise 30 olarak belirlenmiştir [37].

#### 4.1.5. Yassılık indeksi deney bulguları

Yaklaşık 1000'er gram iki adet numune üzerinde yapılan deneyin sonucu Çizelge 4.6.'da verilmiştir. Şekil 4.6.'te deneyin yapıışına ait görüntüler, Şekil 4.7. (a,b)'te ise deney sonrası görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 4.6.** Yassılık Endeksi- Kullanılan elek ve malzeme görünümü.



**Şekil 4.7.** Yassılık indeksi deney sonu görüntüleri (a: Elek üstü ve elek altı malzemeler, b: Elek altı malzemenin tartımı.)

**Çizelge 4.6.** Yassılık Endeksi değerleri.

	Malzeme ağırlık (g) $M_1$	Elekten geçen (g) $M_2$	Yassılık endeksi $(M_2/M_1)*100$	Kategori
1.numune	999,75	114,77	11,48	FI <sub>15</sub>
2.numune	1000,25	116,2	11,62	
ortalama			11,55 ± 0,097	

Elde edilen ortalama değer, TS 706 EN 12620 +A1 standardında FI<sub>15</sub> kategorisine karşılık gelmektedir. Buna göre, kullanılacak ağırlıkta şekil açısından kusurlu taneler bulunmadığı sonucuna varılmıştır. Betonun içerdiği yassı tanelerin miktarı arttıkça beton içinde bölgesel olarak zayıflık oluşmaktadır. Elde edilen sonuca göre, yassı tanelerin az olması sebebiyle beton içinde tane şeklinden kaynaklı zayıflık zonlarının oluşumu beklenmemektedir.

#### 4.1.6. Magnezyum Sülfat ile ağırlığın donma çözülme direnci deney bulguları

10-14mm tane boyutunda iki farklı numuneye uygulanan deneyin sonuçları Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Şekil 4.8.'de MgSO<sub>4</sub> ile donma dayanıklılık deneyi öncesi ve sonrası numune görüntüleri verilmiştir.

**Çizelge 4.7.** Magnezyum Sülfat ile donma dayanıklılık değerleri.

	İlk ağırlık (g) $M_1$	Son ağırlık Elek üstü (g) $M_2$	MS değeri $MS=[100*(M_1-M_2)]/M_1$
1. numune	431,56	399,36	7,48
2. numune	430,53	382,10	11,25
ortalama			9,37 ± 2,66





**Şekil 4.8.** Magnezyum Sülfat deneyi numune görünümleri (a: Deney öncesi numune görünümü, b: Deney sonrası numune görünümü)

ASTM C-88 standardında belirtildiği üzere kullanılan numunelerin tane boyutu için müsaade edilen malzeme kaybı yüzdesi % 9,6'dır. Deney sonucu % 9,37 değeri ile bu şartı sağlamaktadır. Aynı zamanda bu sonuç, TS EN 1367-2 standardına göre MS<sub>18</sub> kategorisinde değerlendirilmektedir. Buna göre agega olarak kullanılan mermer atığının dona dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır.

#### **4.2. Nihai Beton Tasarımı**

Bu çalışmada, beton karışım tasarımı yapılırken ilk adım agega özelliklerini belirlemek olmuştur. Agega deneylerinden elde edilen yoğunluk değeri betonda kullanılması gereken ageganın ağırlığını, su emme değeri ise betonun su ihtiyacını belirleme de yardımcı olmuştur. Elek analizi ile tane sınıfına göre optimum agega oranları tespit edilerek kalıplara yerleşmeyi en iyi sağlayan ganülometri belirlenmiştir. Agega özelliklerinin belirlenmesiyle birlikte ilk reçeteler oluşturulmuş ve deneme dökümleri yapılmıştır.

Laboratuvarda yapılan denemelerde, betonun kalıplara yerleşmesi gözlenmiş ve kullanılacak su miktarına karar verilmiştir. Su/çimento oranı seçildikten sonra çimento dozajı hesaplanmış ve Eşitlik 3.9. yardımıyla da ageganın hacmi ve ağırlığı belirlenmiştir. Denemeler sonucunda nihai tasarıma ulaşılmıştır. İki farklı reçete oluşturulmuş olup 1.reçetede tane boyutu 0-14mm olarak belirlenmiştir. 2. reçetede ise, mermer üretiminde açığa çıkan toz atık miktarının çokluğu göz önüne alınmış ve böylelikle %20 oranında toz atık içeren ve maksimum tane boyutunun 9,5mm olduğu bir reçete daha belirlenmiştir. Çizelge 4.8'de 1. beton parke taşı reçetesine ait bilgiler, Çizelge 4.9'da ise 2. beton parke taşı reçetesine ait bilgiler verilmiştir.

**Çizelge 4.8.** Çalışmada uygulanan 1. beton parke taşı reçetesi.

		0-2 mm	2- 4,75 mm	4,75- 9,5mm	9,5- 11,2mm	11,2- 14mm	Çimento dozajı (kg/m <sup>3</sup> )	S/Ç	Su miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	Agega hacmi (dm <sup>3</sup> )	Agega ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Katkı (kg/ m <sup>3</sup> )
<b>1.</b>	%	45	5	20	15	15						
<b>reçete</b>	kg	775,55	86,17	344,69	258,52	258,52	450	0,4	180	655,31	1.723,45	2,70

**Çizelge 4.9.** Çalışmada uygulanan 2. beton parke taşı reçetesi.

		toz	0-2 mm	2-4,75 mm	4,75- 9,5mm	Çimento dozajı (kg/m <sup>3</sup> )	S/Ç	Su miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	Agega hacmi (dm <sup>3</sup> )	Agega ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Katkı (kg/ m <sup>3</sup> )
<b>2.</b>	%	20	15	40	25						
<b>reçete</b>	kg	307,30	230,48	614,61	384,13	500	0,45	225	584,23	1.536,52	3,00

### 4.3. Sertleşmiş Beton Deneylerinin Bulguları

#### 4.3.1. Yoğunluk ve su emme deneyleri bulguları

Her reçete için 5'er adet 10\*10\*10 cm<sup>3</sup>'lük kübik numune üzerinde yapılan deneyde 1.reçeteye ait numuneler için sonuçlar Çizelge 4.10.'da verilmiştir.

**Çizelge 4.10.** 1. reçete için yoğunluk ve su emme deney sonuçları.

	Numune no	1A	1B	1C	1D	1E	ortalama
$m_a$	Numune doymun kuru yüzey (havada) g	2.503,43	2.499,33	2.542,32	2.564,13	2.499,74	
$m_w+m_{st}$	Numune+kefe ağırlık (suda) g	1.810,32	1.809,25	1.829,23	1.845,9	1.810,25	
$m_{st}$	Boş kefe ağırlığı (suda) g	340,05	340,05	340,05	342,04	342,04	
$m_{kuru}$	Numune kuru ağırlık (havada) g	2.410,78	2.402,62	2.438,52	2.484,55	2.417,09	
V	Numune hacim cm <sup>3</sup>	1.035,18	1.032,19	1.055,25	1.062,39	1.033,59	
	Doygun kuru yüzey yoğunluk kg/m <sup>3</sup>	2.418,35	2.421,38	2.409,21	2.413,54	2.418,49	2416,19 ±4,81
	Kuru yoğunluk kg/m <sup>3</sup>	2.328,85	2.327,68	2.310,84	2.338,63	2.338,52	2328,91 ±11,34
	Ağırlıkça su emme %	3,84	4,03	4,26	3,20	3,42	3,75 ±0,43

2. reçeteye ait numunelerin yoğunluk ve su emme deney sonuçları Çizelge 4.11.'de verilmiştir.



**Çizelge 4.11.** 2. reçete için yoğunluk ve su emme deney sonuçları.

	Numune no	2A	2B	2C	2D	2E	ortalama
$m_a$	Numune doymuş kuru yüzey (havada) g	2.397,89	2.409,43	2.317,46	2.417,89	2.305,01	
$m_w+m_{st}$	Numune+kefe ağırlık (suda) g	1.707,45	1.716,60	1.663,45	1.720,95	1.661,50	
$m_{st}$	Boş kefe ağırlığı (suda) g	339,59	339,59	339,59	339,59	339,59	
$m_{kuru}$	Numune kuru ağırlık (havada) g	2.293,92	2.312,50	2.197,02	2.333,55	2.218,25	
V	Numune hacim $cm^3$	1.032,09	1.034,48	995,60	1.038,60	985,07	
	Doymuş kuru yüzey yoğunluk $kg/m^3$	2.323,32	2.329,10	2.327,72	2.328,01	2.339,95	2.329,62 $\pm 6,18$
	Kuru yoğunluk $kg/m^3$	2.222,59	2.235,40	2.206,75	2.246,81	2.251,87	2.232,68 $\pm 18,37$
	Ağırlıkça su emme %	4,53	4,19	5,48	3,61	3,91	4,35 $\pm 0,72$

Birim hacim kütlesi  $2000 \text{ kg/m}^3 - 2600 \text{ kg/m}^3$  arası olan betonlar normal beton,  $2000 \text{ kg/m}^3$  altı birim ağırlığa sahip betonlar hafif beton ve  $2600 \text{ kg/m}^3$  birim ağırlığı üstü olan betonlarda ağır beton olarak adlandırılırlar [5]. Çizelgelerde verilen değerlere göre beton numuneleri, normal beton olarak değerlendirilebilmekte ayrıca ağırlıkça su emme oranı bakımından da TS 2824 EN 1338: 2005 standardında beton parke taşları için sınır değer olarak belirtilen %6 şartını sağlamaktadır.

#### 4.3.2. Tek eksenli basınç dayanımı deney bulguları

Deneyde, 5 adet  $10*10*10 \text{ cm}^3$ 'lük kübik numune kullanılmış olup 1. reçete için deney sonuçları Çizelge 4.12.'de 2. reçete için ise Çizelge 4.13'te verilmiştir. 1. reçeteye ait beton numunelerinin basınç dayanımı deneyi sonrası görüntüleri Şekil 4.9'da, 2. reçeteye ait beton numunelerinin basınç dayanımı deneyi sonrası görüntüleri Şekil 4.10'de verilmiştir.

**Çizelge 4.12.** 1. reçete için tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları

Numune	Yüzey alanı ( $mm^2$ )	Kırılma yükü (kN)	Basınç Dayanımı (MPa)
1A	10498,36	268,5	25,58
1B	10291,06	257,5	25,02
1C	10452,34	313	29,95
1D	10429,46	268,8	25,77
1E	10038,50	242,2	24,13
ortalama			26,09 $\pm 2,25$



Şekil 4.9. 1.reçete beton numunelerinin basınç dayanımı deneyi sonrası görünümü.

Çizelge 4.13. 2. reçete için tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları.

Numune	Yüzey alanı (mm <sup>2</sup> )	Kırılma yükü (kN)	Basınç Dayanımı MPa
2A	10447,64	207,70	19,88
2B	10336,88	181,10	17,47
2C	10051,06	219,90	21,88
2D	10342,88	193,90	18,75
2K	10409,98	176,60	16,96
ortalama			18,99 ± 1,98



Şekil 4.10. 2. reçete beton numuneleri basınç dayanımı deneyi sonrası görünümü.

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonrasında 1. reçete için elde edilen dayanım sınıfı C20/25, 2. reçete için elde edilen dayanım sınıfı ise C16/20 olmuştur. 1. reçete numunelerinin basınç dayanımı değerinin 2. reçeteye göre daha yüksek olmasının sebebi kullanılan aģaga en büyük tane boyu ve kullanılan karışım suyu miktarıdır. 2. reçetede çok ince malzemenin yüzdesel olarak fazla olması betonun su ihtiyacını arttırmıştır. 1. reçetede 180 kg/m<sup>3</sup> su kullanılırken 2. reçetede 225 kg/m<sup>3</sup> su kullanılmıştır. Aynı zamanda 2.reçetede kullanılan aģaga en büyük tane boyutu 9,5 mm 'dir ve tane boyutu düştükçe betonda dayanımın azaldığı bilinmektedir. Bu sebeplerle 2. reçetede daha da düşük bir dayanım elde edilmiştir.

### 4.3.3. Ultrases geçirgenlik hızı deney bulguları

Ultrases hızı tayini 3 ‘er adet 10\*10\*10cm<sup>3</sup>’lük kübik numune üzerinde yapılmıştır. 1. reçete için sonuçlar izelge 4.14.’te, 2. reçete için ise izelge 4.15.’te verilmiştir. Ultrases geçirgenlik hızı tayini deneyine ait görüntü şekil 4.11’te verilmiştir.

**Çizelge 4.14.** 1. reçete için ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları.

	Eksen	Ultrases hızı ölçüm T (µs)	Mesafe L (mm)	Ultrases hızı V=L/T (km/s)	Ultrases geçirgenlik hızı V=L/T (km/s)
1A	x	22,40	104,04	4,64	4,72
	y	21,90	101,18	4,62	
	z	20,40	99,94	4,90	
1B	x	21,90	102,64	4,69	4,89
	y	20,40	101,38	4,97	
	z	19,90	99,77	5,01	
1C	x	23,40	105,72	4,52	4,78
	y	20,40	100,30	4,92	
	z	20,40	100,20	4,91	
ortalama					4,80 ± 0,09



**şekil 4.11.** Ultrases geçirgenlik hızı deney cihazı ve yapılışı.

**Çizelge 4.15.** 2. reçete için ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları.

	Eksen	Ultrases hızı ölçüm T (µs)	Mesafe L (mm)	Ultrases hızı V=L/T (km/s)	Ultrases geçirgenlik hızı V=L/T (km/s)
2A	x	23,40	102,73	4,39	4,40
	y	22,90	101,70	4,44	
	z	22,90	100,25	4,38	
2B	x	22,40	100,62	4,49	4,48
	y	23,40	103,30	4,41	
	z	22,40	101,66	4,54	
2D	x	23,40	101,59	4,34	4,46
	y	22,40	101,81	4,55	
	z	22,40	100,33	4,48	
ortalama					4,45 ± 0,04

Ultras ses hızı geçirgenliği değerinin 4,57 km/s'nin üzerinde olması bir betonun yüksek kalitede olduğunun, 3,05 km/s'nin altında olması ise düşük kalitede olduğunun göstergesi olarak bilinmektedir [5]. 1. reçeteden elde edilen sonuç (4,80 km/s) ile numunelerin iyi yerleşmiş, boşluksuz ve iyi kalite beton olduğu görülmektedir. 2. reçete sonucunun düşük çıkması numunelerin 1.reçete numunelerine göre daha boşluklu olduğunu sonucunu vermektedir. Ancak 2. reçetede ultras ses geçirgenlik hızı 4,45 km/s ölçülmesine rağmen üretilen beton yine kaliteli beton sınıfına girebilmektedir.

#### 4.3.4. Schmidt sertlik tayini bulguları

Deneyde 1. reçete numuneleri için en yüksek değerler 25, 25, 22, 22, 24, 25, 22, 24, 24, 26 olarak okunmuş ve ortalamaları 23,9 bulunmuştur. 2. reçete numuneleri için ise en yüksek değerler 22, 16, 19, 18, 20, 20, 20, 20, 18, 19 olarak okunmuş ve ortalamaları 19,2 bulunmuştur. Deney sonucunda 1. reçete numunelerinin sertlik değerinin 2. reçeteye göre daha yüksek çıkmasının sebebinin agega en büyük tane boyutu ve kullanılan karışım suyu miktarlarına bağlı olduğu düşünölmektedir. Agega tane boyutunun 0-14 mm olduğu 1. reçeteye ait numunelerin sertlik değerleri, ince agega içeriği daha fazla olan 2. reçeteye ait numunelere göre daha yüksek elde edilmiştir. Şekil 4.12.'de Schmidt çekici ile sertlik tayinine ait bir görüntü verilmiştir.



Şekil 4.12. Schmidt çekici ile sertlik deneyinin uygulanması.

#### 4.3.5. Yarmada çekme dayanımını deneyi bulguları

Deneyde, 3'er adet 10cm çap ve 20cm boy ölçüsüne sahip silindirik numune kullanılmıştır. 1. reçete için sonuçlar Çizelge 4.16'da, 2. reçete için sonuçlar Çizelge 4.17.'de verilmiştir.

1. reçeteye ait beton numunelerinin yarmada çekme dayanımı deneyi sonrası görüntüleri Şekil 4.13’de, 2. reçeteye ait beton numunelerinin yarmada çekme dayanımını deneyi sonrası görüntüleri Şekil 4.14’de verilmiştir.

**Çizelge 4.16.** 1. reçete için yarmada çekme dayanımı deney sonuçları.

Numune	Kırılma Yüğü P (kN)	Yükleme hızı (MPa/sn)	Yarmada çekme dayanımı (MPa)
1S1	98,30	0,05	3,48
1S2	100,20	0,05	3,54
1S3	105,90	0,05	3,74
ortalama			3,59 ± 0,14



**Şekil 4.13.** 1. reçete beton numunelerinin yarmada çekme deneyi sonrası görünümü.

**Çizelge 4.17.** 2. reçete için yarmada çekme dayanımı deney sonuçları.

Numune	Kırılma Yüğü P (kN)	Yükleme hızı MPa/sn	Yarmada çekme dayanımı MPa
2S1	84,40	0,05	2,91
2S2	72,60	0,05	2,51
2S3	58,30	0,05	2,01
ortalama			2,48 ± 0,45



**Şekil 4.14.** 2. reçete beton numunelerinin yarmada çekme deneyi sonrası görünümü.

Yarmada çekme deneyi sonucunda 1. reçete numunelerinden elde edilen 3,59 MPa değerinin, TS 2824 EN 1338 standardında izin verilen sınır değer olan 3,6 MPa’ı karşıladığı görülmüştür. 2. reçeteden elde edilen 2,48 MPa değeri ise standartta istenen



değerin çok altında kalmıştır. Bunun sebebinin 2. reçetede 1.reçeteye göre daha fazla oranda ince aģega kullanılması olduğu düşünölmektedir. Aynı zamanda basınç dayanımı sonuçlarında olduğu gibi karışım suyu miktarının da elde edilen sonuçlarda etkisi olduğu görölmektedir.

#### 4.3.6. Böhme ile aşınma dayanımı deney bulguları

Bu deney, her reçete için 3'er adet 7\*7\*7 cm<sup>3</sup>'lük kübik numune üzerinde yapılmıştır. Böhme ile aşınma dayanımı deney sonuçları 1. reçete için Çizelge 4.18'de, 2. reçete için ise Çizelge 4.19.'da verilmiştir. 1.reçete numunelerine ait deney öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 4.15 (a-b)'de, 2.reçeteye ait deney öncesi ve sonrası görüntüler ise Şekil 4.16 (a-b)'de verilmiştir.

**Çizelge 4.18.** 1. reçete için Böhme aşınma dayanımı deneyi sonuçları.

Numune	Deney Öncesi Ağırlık (g)	Yoğunluk $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Deney Sonrası Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi $\Delta m$ (g)	Hacim kaybı $\Delta V = \Delta m / \rho$ (mm <sup>3</sup> /5000mm <sup>2</sup> )
1a	810,14	2,31	766,96	43,18	18.647,82
1b	827,31	2,35	779,54	47,77	20.311,34
1c	806,24	2,33	756,95	49,29	21.119,42
ortalama					20.026,19 ± 1.260,23



(a)

(b)

**Şekil 4.15.** 1. reçeteye ait bir numunenin Böhme aşınma dayanımı deneyi öncesi ve sonrası görünümü (a: Deney öncesi numune görünümü, b: Deney sonrası numune görünümü).

**Çizelge 4.19.** 2. reçete için Böhme aşınma dayanımı deneyi sonuçları.

Numune	Deney Öncesi Ağırlık (g)	Yoğunluk $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Deney Sonrası Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi $\Delta m$ (g)	Hacim kaybı $\Delta V = \Delta m / \rho$ (mm <sup>3</sup> /5000mm <sup>2</sup> )
2a	750,92	2,24	703,48	47,44	21.178,57
2c	775,97	2,21	736,91	39,06	17.674,21
2d	758,95	2,24	714,12	44,83	20.013,39
ortalama					19.622,06 ± 1.784,66



**Şekil 4.16.** 2. reçeteye ait bir numunenin Böhme aşınma dayanımı deneyi öncesi ve sonrası görünümleri. (a: Deney öncesi numune görünümü, b: Deney sonrası numune görünümü).

TS 2824 EN 1338: 2005 standardında parke taşlarının maruz kalacağı aşınma olayında beklenen en yüksek hacim kaybı  $20.000 \text{ mm}^3/5.000 \text{ mm}^2$  olarak belirtilmiştir [41]. Deney sonucu 1. reçete için elde edilen ortalama değer (20.026,19  $\text{mm}^3/5.000 \text{ mm}^2$ ) sınır değer üzerinde olduğu görülmüştür. 2. reçeteden elde edilen sonuç ise 19.622,06  $\text{mm}^3/5.000 \text{ mm}^2$  olmuştur. 2. reçete numunelerinin aşınma dayanımı değeri standarttaki sınır değeri karşılamaktadır. Agega olarak kullanılan mermerin aşınma dayanımıyla ilgili literatürde yapılmış olan çalışmada böhme aşınma dayanımının 21,85  $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$  olduğu görülmektedir [21]. Bu veriye bağlı olarak, bu mermer atığının beton içinde %70 oranında kullanıldığı düşünüldüğünde, üretilen beton numunelerinin aşınma dayanımı değerlerinin, mermerin aşınma dayanımı değeriyle aynı seviyede olması kaçınılmazdır. 1. reçeteye ait numunelerin aşınma dayanımı değeri TS 2824 EN 1338: 2005 standardında istenen sınır değer az da olsa üzerindedir ancak yarmada çekme dayanımı değeri istenen değeri karşılamaktadır. 2. reçetede ise yarmada çekme dayanımında daha düşük sonuç elde edilmesine karşın aşınma dayanımı değeri istenilen sınırdadır. Beton parke taşı üretimi iri agegalı alt tabaka ve ince agegalı üst aşınma tabakası olarak farklı özellikte iki tabaka şeklinde gerçekleştirilmektedir. Elde edilen aşınma dayanımı sonuçlarına bağlı olarak üretilecek beton parke taşında 1. reçetenin alt tabaka, 2. reçetenin ise üst aşınma tabakası olarak kullanılması uygun olacaktır.

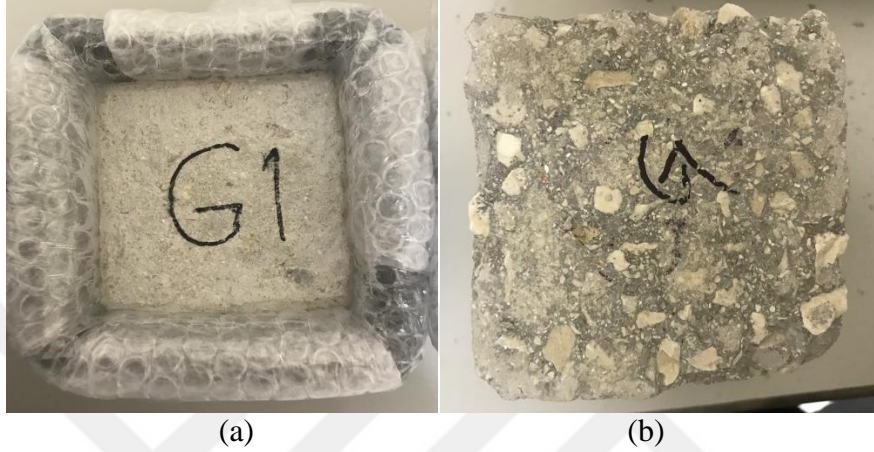
#### **4.3.7. Buz çözücü tuz ile donma çözülme deney bulguları**

%3 NaCl çözeltisiyle yapılan deney için  $10*10*10 \text{ cm}^3$ 'lük kübik numuneler kullanılmıştır. 28 çevrimden oluşan deney sonrası yüzeysel kütle kayıpları, 1. reçete için Çizelge 4.20'de, 2. reçete için ise Çizelge 4.21'de gösterilmiştir. 1.reçeteye ait numunenin donma çözülme deneyi öncesi ve sonrası yüzey görünümleri Şekil 4.17 (a-b)'de verilmiştir. 2. reçeteye ait numunelerin deney sonrası yüzey görünümleri Şekil 4.18'de verilmiştir.



**Çizelge 4.20.** 1. reçete için buz çözücü tuz etkisinde donma çözülme deney sonuçları.

Numune	Yüzey alanı A (m <sup>2</sup> )	Kütle kaybı M (kg)	Birim alan başına kütle kaybı L=M/A (kg/m <sup>2</sup> )
1G	0,01	0,00984	0,98
1H	0,01	0,02851	2,85
1I	0,01	0,01228	1,23
ortalama			1,69 ± 1,01



**Şekil 4.17.** 1. reçeteye ait bir numunenin buz çözücü tuz ile donma çözülme öncesi ve sonrası yüzey görünümü (a: Deney için hazırlanmış numunenin deney öncesi görünümü, b: Numunenin deney sonrası yüzey görünümü).

**Çizelge 4.21.** 2. reçete için buz çözücü tuz etkisinde donma çözülme deney sonuçları.

Numune	Yüzey alanı A (m <sup>2</sup> )	Kütle kaybı M (kg)	Birim alan başına kütle kaybı L=M/A (kg/m <sup>2</sup> )
2E	0,01	0,00828	0,83
2F	0,01	0,00915	0,92
2G	0,01	0,00703	0,70
ortalama			0,82 ± 0,11



**Şekil 4.18.** 2. reçeteye ait numunelerin buz çözücü tuz ile donma çözülme sonrası yüzey görüntüleri

TS 2824 EN 1338 standardında belirtilen metodun uygulandığı buz çözücü tuz ile donma çözülme deneyinde elde edilen yüzeysel kütle kaybı sonuçları, 1. reçete için  $1,69 \text{ kg/m}^2$ , 2. reçete için ise  $0,82 \text{ kg/m}^2$  olmuştur. Standartta yüzeysel kütle kaybı için öngörülen sınır değer  $1 \text{ kg/m}^2$  olduğu görülmüştür. 1. reçete numunelerine ait sonuç, sınır değerinden oldukça üzerindedir ancak 2. reçete numunelerine ait değer, standardı karşılamaktadır.

İlk aşamada yapılan deneylerde, agega olarak kullanılan mermer atıklarının, su emme oranının düşük olduğu ve magnezyum sülfat deneyi sonucu elde edilen veriler ile don olayına dirençli olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla donma çözülme sonucu meydana gelen yüksek kütle kaybının agega kaynaklı değil de beton tasarımı kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Beton karışım dizaynında yapılacak iyileştirmeler ile buz çözücü tuz ile donma çözülme olayından daha az etkilenebilecek bir beton yüzeyi sağlanabilecektir.

Beton parke taşlarında ince agega içeren üst tabaka, aşınma olayının yanısıra atmosferik olaylara direkt olarak maruz kalmaktadır. Buna bağlı olarak beton parke taşı üretiminde yarmada çekme dayanım değeri yüksek olan 1. reçete, alt tabaka dökümü için kullanılırken, hem aşınma dayanımı hem de buz çözücü tuz etkisinde 1. reçeteye göre daha az kütle kaybı veren 2. reçetenin, üst tabaka dökümünde kullanılması uygun olacaktır. Böylelikle alt tabaka ile parke taşından beklenen mukavemet sağlanırken, üst tabakada aşınma ve donma çözülmeye dayanıklı bir yüzey elde edilebilecektir.

Deneye maruz bırakılan numunelerin hacimsel kütle kayıpları 1. reçete için Çizelge 4.22'de, 2. reçete için ise Çizelge 4.23'de verilmiştir. 1. reçeteye ait numunelerin hacimsel kayıplarına ait görüntü Şekil 4.19'da, 2. reçete numunelerine ait görüntü ise Şekil 4.20'de verilmiştir.

**Çizelge 4.22.** 1. reçeteye ait numunelerin buz çözücü tuz ile donma çözülme sonrası hacimsel kayıpları.

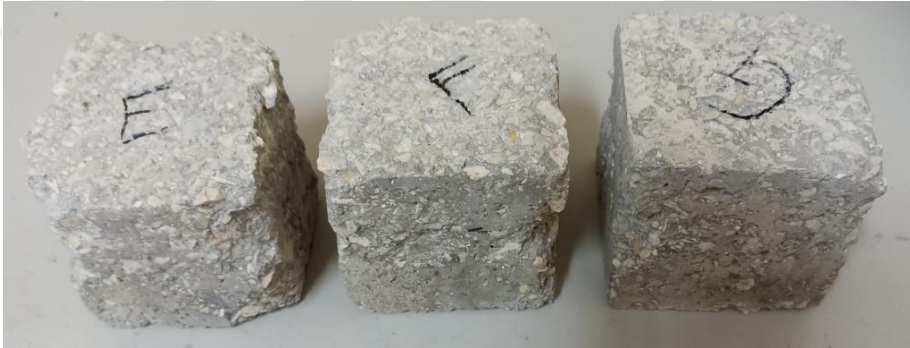
Numune	Deney öncesi ağırlık (g)	Kuru yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ )	Deney sonrası ağırlık (g)	Kütle kaybı (g)	Hacim kaybı ( $\text{cm}^3$ )	Hacimsel kayıp %
1G	2436,18	2,32	2278,40	157,78	68,01	6,48
1H	2365,80	2,31	2158,02	207,78	89,95	8,78
1I	2445,36	2,33	2284,81	160,55	68,91	6,57
ortalama				175,37 $\pm 28,10$	75,62 $\pm 12,42$	7,27 $\pm 1,31$



**Şekil 4.19.** 1. reçete numunelerinin buz çözücü tuz ile donma çözülme sonrası görünümleri.

**Çizelge 4.23.** 2. reçeteye ait numunelerin buz çözücü tuz ile donma çözülme sonrası hacimsel kayıpları.

Numune	Deney öncesi ağırlık (g)	Kuru yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Deney sonrası ağırlık (g)	Kütle kaybı (g)	Hacim kaybı (cm <sup>3</sup> )	Hacimsel kayıp %
2E	2218,25	2,25	2026,21	192,04	85,35	8,66
2F	2256,15	2,23	2166,80	89,35	40,07	3,96
2G	2278,37	2,24	2223,50	54,87	24,50	2,41
ortalama				112,09 ±71,36	49,97 ±31,61	5,01 ±3,25



**Şekil 4.20.** 2. reçete numunelerinin buz çözücü tuz ile donma çözülme sonrası hacimsel kayıplarını gösteren görünümleri.

Buz çözücü tuz ile yapılan donma çözülme deneyi sonrası her iki reçete numunelerinde meydana gelen hacimsel kütle kayıpları, numunelerin yüzeysel kütle kayıplarıyla doğru orantılıdır. 1. reçetede yüzeysel kayıp 1,62 kg/m<sup>2</sup>, hacimsel kayıp ise %7,27 olmuştur. 2. reçetede ise yüzeysel kayıp 0,82 kg/m<sup>2</sup> iken hacimsel kayıp % 5,01 olarak belirlenmiştir. NaCl ilavesiyle yapılan donma çözülme çevrimleri sonrasında 1. reçete numuneleri, 2. reçete numunelerine göre daha fazla kayıp vermiştir. Bunun nedeninin, yüzeysel kayıp verilerinde de yorumlandığı üzere beton tasarımı kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Beton tasarım parametrelerinden biri olan agega en büyük tane boyutu seçimi buz çözücü tuz ile

donma çözülme deneyi sonuçlarında etkili olmuştur. 1. reçetede agega en büyük tane boyutu 14 mm olarak seçilmiş ve TS 2824 EN 1338: 2005 standardında istenen yarmada çekme dayanımını sağlamıştır ancak bu tane boyutu ile üretilen numunelerde donma çözülme olayı sonrasında daha fazla kayıp verilmiştir. 2. reçetede seçilen agega en büyük tane boyutu 9,5 mm dir ve %20 oranında mermer tozu kullanılmıştır. Sonuçlarda görülmektedir ki ince agega oranının fazla olduğu bu reçeteye ait numunelerin buz çözücü tuz ile donma çözülme olayına karşı gösterdiği direnç daha fazladır.

Buz çözücü tuz ile donma çözülme deneyi sonrası ultrases geçirgenlik hızı deneyi tekrar edilmiştir. 1. reçeteye ait numunelerin donma çözülme deneyi sonrası ultrases geçirgenlik hızı deneyi sonuçları Çizelge 4.24'te, 2. reçeteye ait numunelerin donma çözülme sonrası ultrases geçirgenlik hızı deneyi sonuçları ise Çizelge 4.25'te verilmiştir.

**Çizelge 4.24.** 1. reçete numunelerinin buz çözücü tuz ile donma çözülme sonrası ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları.

	Eksen	Ultrases hızı ölçüm T ( $\mu$ s)	Mesafe L (mm)	Ultrases hızı V=L/T (km/s)	Ultrases geçirgenlik hızı V=L/T (km/s)
1G	x	22,90	105,41	4,60	4,63
	y	22,40	100,16	4,47	
	z	20,90	100,68	4,82	
1H	x	21,40	99,33	4,64	4,72
	y	20,90	103,25	4,94	
	z	21,90	100,49	4,59	
1I	x	22,90	104,78	4,58	4,69
	y	20,90	100,65	4,82	
	z	21,40	100,05	4,68	
				ortalama	4,68 $\pm$ 0,05

**Çizelge 4.25.** 2. reçete numunelerinin buz çözücü tuz ile donma çözülme sonrası ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları.

	Eksen	Ultrases hızı ölçüm T ( $\mu$ s)	Mesafe L (mm)	Ultrases hızı V=L/T (km/s)	Ultrases geçirgenlik hızı V=L/T (km/s)
2E	x	22,40	99,86	4,46	4,43
	y	22,90	101,97	4,45	
	z	22,40	98,24	4,39	
2F	x	22,90	100,36	4,38	4,35
	y	23,40	100,13	4,28	
	z	22,90	100,62	4,39	
2G	x	22,90	101,44	4,43	4,42
	y	22,40	101,08	4,51	
	z	23,40	100,97	4,31	
				ortalama	4,40 $\pm$ 0,04

1. reçeteye ait numunelerin buz çözücü tuz ile donma çözülme çevrimleri öncesi ultrases geçirgenlik hızı değeri 4,80 km/s, çevrimler sonrasında ki değeri ise 4,68 km/s'dir. Donma çözülme sonrası ultrases geçirgenlik hızı değerinde %2,5 düşüş olmuştur. 2. reçeteye ait numunelerin çevrimler öncesi ultrases geçirgenlik hızı değeri 4,45 km/s iken, sonrasında ortalama 4,40 km/s olarak hesaplanarak değişimin % 1,1 olduğu görülmüştür.

Buz çözücü tuz etkisinde donma çözülme çevrimleri sonucunda 1. reçete numunelerinin 2. reçete numunelerine göre daha fazla kayıp vermesi ile doğru orantılı olarak 1. reçete için hesaplanan ultrases geçirgenlik hızı değerlerinde 2. reçeteye oranla daha fazla düşüş görülmüştür. Bu sonuç göstermektedir ki donma çözülme çevrimleri sonrası 1. reçete numunelerinde çatlak oluşumları söz konusudur. Beton tasarım parametrelerine bağlı olan bu etkinin, tasarımda yapılacak iyileştirmeler ile önüne geçilebileceği düşünülmektedir.

#### 4.3.8. Donma çözülme deney bulguları

3'er adet  $7*7*7\text{cm}^3$ 'lük kübik numune üzerinde yapılan deneyde her iki reçete için de yüzeysel kütle kaybı olmamıştır. Donma çözülme deneyi sonrası numunelerin yüzey görünümleri 1. reçete için Şekil 4.21'de, 2. reçete için ise Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.21. 1. reçeteye ait numunelerin donma çözülme sonrası yüzey görünümleri



Şekil 4.22. 2. reçeteye ait numunelerin donma çözülme deneyi sonrası yüzey görünümleri



Hacimsel kayıplara ait sonuçlar ise 1.reçete için Çizelge 4.26.'da, 2.reçete için ise Çizelge 4.27.'de verilmiştir. Hacimsel kayıpları gösteren görüntüler 1. reçete için Şekil 4.23'de, 2. reçete için ise Şekil 4.24'te verilmiştir. 1. reçete B numunesinin köşe kısımlarından verdiği hacimsel kaybın diğerlerine göre çok daha fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle B numunesi için hesaplanan % 11,58'lik hacimsel kayıp değeri değerlendirilmeden çıkarılmış olup 1. reçete için ortalama hacimsel kayıp 2 numune üzerinden değerlendirilmiştir.

**Çizelge 4.26.** 1. reçete için donma çözülme sonrası hacimsel kayıplar.

Numune	Deney öncesi ağırlık (g)	Kuru yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Deney sonrası ağırlık (g)	Kütle kaybı (g)	Hacim kaybı (cm <sup>3</sup> )	Hacimsel kayıp %
1a	766,96	2,31	753,77	13,19	5,71	1,72
1c	756,95	2,33	748,18	8,77	3,76	1,16
ortalama				10,98 ±3,13	4,74 ±1,38	1,44 ±0,40



**Şekil 4.23.** 1. reçete numunelerinin donma çözülme sonrası genel görünüşleri

**Çizelge 4.27.** 2. reçete için donma çözülme sonrası hacimsel kayıplar.

Numune	Deney öncesi ağırlık (g)	Kuru yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Deney sonrası ağırlık (g)	Kütle kaybı (g)	Hacim kaybı (cm <sup>3</sup> )	Hacimsel kayıp %
2a	703,48	2,24	696,15	7,33	3,27	1,04
2c	736,91	2,21	727,23	9,68	4,38	1,31
2d	714,12	2,24	703,74	10,38	4,63	1,45
ortalama				9,13 ± 1,60	4,10 ± 0,72	1,27 ± 0,21



**Şekil 4.24.** 2. reçeteye ait numunelerin donma çözülme sonrası genel görünüşleri

Donma çözülme sonrası deneyi sonucunda her iki reçete için de yüzeyden kalkan malzeme gözlenmemesine rağmen deney süresince içinde muhafaza edildiği kaplardan çıkarılan numunelerin özellikle alt kısımlarında malzeme kayıpları olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.23 ve 4.24'te ki görüntüler incelendiğinde 1. reçeteye ait numunelerdeki malzeme kaybının 2. reçeteye göre daha fazla olduğu görülmektedir. 1. reçete numunelerinde köşelerden kopma şeklinde meydana gelen malzeme kaybı % 1,44 olarak hesaplanırken, 2. reçete numunelerinde daha çok pullanma şeklinde gözlemlenmiş olup hacimsel kayıp % 1,27 hesaplanmıştır. 1. reçetede agega en büyük tane boyutu 14 mm, 2. reçetede ise 9,5 mm olarak seçilmiştir ve her iki reçeteye ait kayıpların farklı olması agega en büyük tane boyutuyla ilişkilendirilmiştir. 2. reçete numunelerinde ki agega dağılımının daha homojen olduğu görülmektedir buna bağlı olarak tekrarlı donma çözülme olayından etkilenmesi 1. reçeteye oranla daha az olmuştur.

Donma çözülme deneyi sonrası ultrasases geçirgenlik hızı deneyi tekrar edilmiş ve deneyin yapılışına ait görüntü Şekil 4.25'te verilmiştir. 1. reçeteye ait sonuçlar Çizelge 4.28'de, 2. reçeteye ait sonuçlar ise Çizelge 4.29'da verilmiştir.



**Şekil 4.25.** Donma çözülme deneyi sonrası numunelere ultrasases geçirgenlik hızı deneyinin uygulanışı.



**Çizelge 4.28.** 1. reçete için donma çözülme sonrası ultrases geçirgenlik hızı sonuçları.

	Eksen	Ultrases hızı ölçüm T ( $\mu$ s)	Mesafe L (mm)	Ultrases hızı $V=L/T$ (km/s)	Ultrases hızı $V=L/T$ (km/s)
1a	x	14,40	69,00	4,79	
	y	15,40	69,50	4,51	4,61
	z	15,90	72,00	4,53	
1b	x	15,40	68,00	4,42	
	y	14,40	68,50	4,76	4,72
	z	14,40	72,00	5,00	
1c	x	14,40	68,50	4,76	
	y	14,40	69,80	4,85	4,77
	z	15,40	72,50	4,71	
ortalama					4,70 $\pm$ 0,08

**Çizelge 4.29.** 2. reçete için donma çözülme sonrası ultrases geçirgenlik hızı sonuçları.

	Eksen	Ultrases hızı ölçüm T ( $\mu$ s)	Mesafe L (mm)	Ultrases hızı $V=L/T$ (km/s)	Ultrases hızı $V=L/T$ (km/s)
2a	x	15,40	68,60	4,45	
	y	15,40	66,40	4,31	4,37
	z	16,40	71,40	4,35	
2c	x	14,90	68,10	4,57	
	y	14,90	66,50	4,46	4,45
	z	16,40	70,95	4,33	
2d	x	15,40	66,30	4,31	
	y	14,90	67,50	4,53	4,44
	z	15,90	71,40	4,49	
ortalama					4,42 $\pm$ 0,04

1. reçete numunelerinde ultrases geçirgenlik hızı değeri donma çözülme öncesi 4,80 km/s iken donma çözülme sonrası 4,70 km/s olarak belirlenmiştir. 2. reçete numunelerinde ise ultrases geçirgenlik hızı değeri donma çözülme öncesi 4,45 km/s iken donma çözülme sonrası 4,42 km/s olarak belirlenmiştir. 1. reçete numunelerinde donma çözülme öncesi ve sonrası arasındaki değişim %2,6, 2. reçete için ise % 0,7 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, donma çözülme deneyi sonucunda her iki reçete numunelerinde meydana gelen hacimsel kayıplarla doğru orantılıdır. % 1,44 hacimsel kayba uğrayan 1. reçete numunelerinde ultrases hızı değeri de 2. reçeteye göre daha fazla düşüş göstermiştir. Bu durumun sebebi hacimsel kayıp sonuçlarında da olduğu gibi yine agega en büyük tane boyutu ve 2. reçete numunelerinde ageganın daha homojen dağılım göstermesine dayanmaktadır.

#### 4.3.9. Sülfat direnci deneyi bulguları

Her reçete için 3'er adet 10\*10\*10 cm<sup>3</sup>'lük kübik numune üzerinde yapılan deney, 16. haftada sonlandırılmıştır. Beton numunelerinin deney öncesi ve deney sonrası kuru ağırlıklarında değişim olduğu tespit edilmiştir. Beton parke taşı numunelerinin genel formlarında değişiklik olmamıştır ancak yüzeylerinde kılcal çatlaklar gözlemlenmiştir. 1. reçete numunelerinde renk değişimi görülmezken, 2. reçete numunelerinin tüm yüzeylerinde beyazlama olduğu gözlemlenmiştir. Ağırlık değişimleri, 1. reçete numuneleri için Çizelge 4.30'da, 2. reçete numuneleri için ise Çizelge 4.31'de verilmiştir. 1. reçete numunelerinin deney sonrası görünüşleri Şekil 4.26'da, 2. reçete numunelerinin deney sonrası görünüşleri Şekil 4.27'de, yüzeyde oluşan kılcal çatlakların görünümü ise Şekil 4.28'de verilmiştir.

**Çizelge 4.30.** 1. reçete numunelerinin sülfat direnci deneyi sonucunda ağırlık değişimleri

Numune	Deney öncesi kuru ağırlık (g)	Deney sonrası kuru ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (g)	Ağırlık değişimi %
1K	2473,42	2493,21	+19,79	+0,80
1L	2412,10	2438,75	+26,65	+1,10
1M	2392,12	2411,86	+19,74	+0,82
ortalama			+22,06	+0,91
			±3,98	±0,17



**Şekil 4.26.** 1. reçeteye ait numunelerin sülfat direnci deneyi sonrası görünüşleri

**Çizelge 4.31.** 2. reçete numunelerinin sülfat direnci deneyi sonucunda ağırlık değişimleri

Numune	Deney öncesi kuru ağırlık (g)	Deney sonrası kuru ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (g)	Ağırlık değişimi %
1H	2299,85	2336,04	+36,19	+1,57
1I	2301,29	2335,28	+33,99	+1,48
1J	2251,46	2275,71	+24,25	+1,07
ortalama			+31,48	+1,38
			±6,35	±0,26

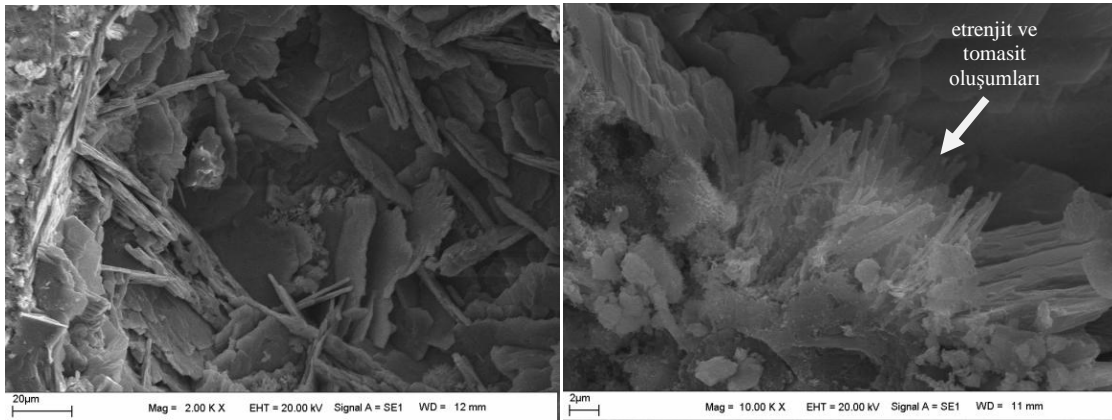


**Şekil 4.27.** 2. reçeteye ait numunelerin sülfat direnci deneyi sonrası görünüşleri.

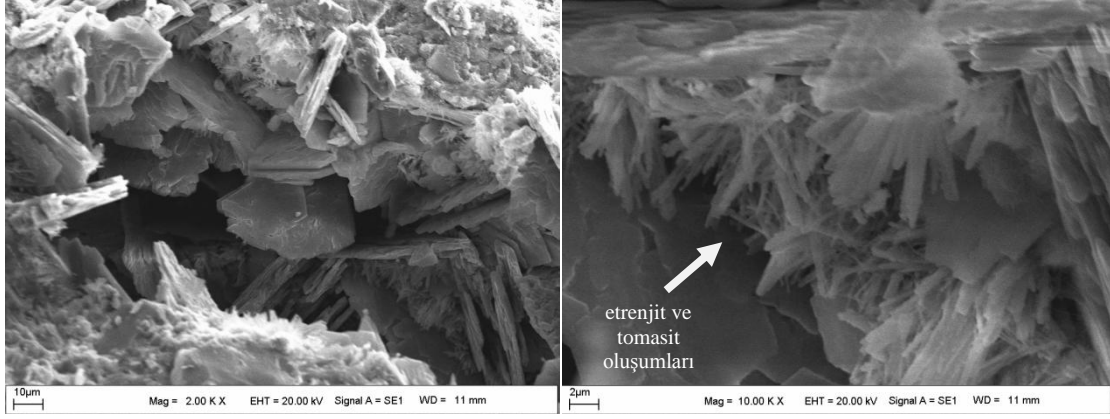


**Şekil 4.28.** Sülfat direnci deneyi sonrası numunelerin yüzeylerinde oluşan kılcal çatlakların görünümü.

%5'lik  $MgSO_4$  çözeltisi içerisinde 16 haftalık bekleme süresinin sonunda her iki reçeteye ait numunelerin de kuru kütlelerinde artış meydana gelmiştir. Betonda sülfat saldırısıyla birlikte etrenjit, tomasit ve alçı taşı gibi yeni oluşumlar görülmektedir. Beton parke taşı numunelerinde ki kütle artışlarının bu yeni oluşumlar sebebiyle meydana geldiği düşünülmüştür ve SEM analizleri yapılarak tomasit ve etrenjit oluşumları ispat edilmiştir. Bu yeni oluşumlar, yapının boşluk kısımlarında görülmüştür. 1. reçete numunesine ait SEM görüntüleri Şekil 4.29.'da, 2. reçete numunesine ait SEM görüntüleri Şekil 4.30.'da verilmiştir.



**Şekil 4.29.** 1.reçeteye ait numunelerin sülfat direnci sonrası tomasit-etrenjit oluşumları SEM görüntüleri



**Şekil 4.30.** 2.reçeteye ait numunelerin sülfat direnci sonrası tomasit-etrenjit oluşumları SEM görüntüleri

1. reçeteye ait beton parke taşı numunelerinin sülfata maruziyeti sonrası kütle artışı %0,91 iken 2. reçeteye ait kütle artışı % 1,38 olarak hesaplanmıştır. 1. reçeteye ait sonucun daha düşük olması betonun su emme oranlarıyla ilişkilendirilmiştir. Su emme oranı düşük olan 1. reçete numunelerinin, su emme oranı yüksek olan 2. reçete numunelerine göre daha geçirimsiz olması sebebiyle betonun bünyesinde tuttuğu sülfat çözeltisi miktarının daha az olduğu ve buna bağlı olarak da tomasit ve etrenjit gibi yeni oluşumların daha az oranda meydana geldiği düşünülmektedir. Betonda su emme oranı arttıkça sülfattan etkilenme oranının da arttığı sonucuna varılmıştır. Su/çimento oranının düşürülmesi ve daha iyi yerleştirme sağlanmasıyla birlikte geçirimsiz beton elde edilebilecek ve böylelikle olası sülfat etkilerinin de önüne geçilebilecektir.

Deney numunelerine sülfat çözeltisine bırakılmadan önce yapılmış olan su emme oranı tayini değerleri ile deney sonrası elde edilen su emme oranı değerleri karşılaştırılmıştır ve değişim olduğu görülmüştür. Bu değişimler, 1. reçete numuneleri için Çizelge 4.32’de, 2. reçete numuneleri için ise Çizelge 4.33’te verilmiştir.

**Çizelge 4.32.** 1. reçeteye ait numunelerin sülfat direnci deneyi sonucunda ağırlıkça su emme oranı değişimleri

Numune	Deney öncesi ağırlıkça su emme (%)	Deney sonrası ağırlıkça su emme (%)	Su emme oranı değişimi (%)
1K	3,07	2,03	-33,87
1L	3,40	2,18	-35,97
1M	3,33	2,41	-27,49
ortalama	3,27 ±0,17	2,21 ±0,19	-32,42 ±4,42

**Çizelge 4.33.** 1. reçeteye ait numunelerin sülfat direnci deneyi sonucunda ağırlıkça su emme oranı değişimleri

Numune	Deney öncesi ağırlıkça su emme (%)	Deney sonrası ağırlıkça su emme (%)	Su emme oranı değişimi (%)
1H	5,09	3,61	-29,15
1I	5,37	4,01	-25,25
1J	4,31	3,68	-14,54
ortalama	4,92 ±0,55	3,77 ±0,22	-22,98 ±7,57

1. reçeteye ait numunelerin ağırlıkça su emme oranı % 32,42 oranında düşüş ile % 2,21, 2. reçeteye ait numunelerin su emme oranı ise % 22,98 oranında düşüş ile % 3,77 olarak hesaplanmıştır. Deney öncesi suyun tutulduğu yerlerde artık yeni oluşumların yer aldığı ve bu nedenle ağırlıkça su emme oranlarında azalma olduğu düşünülmüştür.

Beton parke taşları, sülfat deneyi sonrası tekrar ultrases geçirgenlik hızı deneyine tabii tutulmuştur. 1.reçete için ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları Çizelge 4.34'te, 2. reçete için ise Çizelge 4.35'te verilmiştir. Şekil 4.31'de deneyin yapılışına ait görüntü verilmiştir.



**Şekil 4.31.** Sülfat deneyi sonrası ultrases geçirgenlik hızı deneyinin yapılışı

**Çizelge 4.34.** 1. reçeteye ait numunelerinin sülfat direnci deneyi sonrası ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları

Eksen	Ultrases hızı ölçüm T (µs)	Mesafe L (mm)	Ultrases hızı V=L/T (km/s)	Ultrases geçirgenlik hızı V=L/T (km/s)
1K	x	20,40	100,10	4,91
	y	22,40	100,10	4,47
	z	21,90	100,60	4,59
1L	x	22,90	100,20	4,38
	y	26,40	100,00	3,79
	z	20,40	100,40	4,92
1M	x	20,40	100,00	4,90
	y	21,90	100,20	4,58
	z	22,90	100,30	4,38
ortalama				4,55 ±0,16

**Çizelge 4.35.** 2. reçeteye ait numunelerinin sülfat direnci deneyi sonrası ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları

	Eksen	Ultrases hızı ölçüm T ( $\mu$ s)	Mesafe L (mm)	Ultrases hızı $V=L/T$ (km/s)	Ultrases geçirgenlik hızı $V=L/T$ (km/s)
2H	x	25,40	102,61	4,04	4,09
	y	26,90	99,95	3,72	
	z	22,40	100,94	4,51	
2I	x	23,40	103,10	4,41	4,33
	y	23,90	102,46	4,29	
	z	23,40	100,83	4,31	
2J	x	22,90	101,83	4,45	4,17
	y	26,90	101,17	3,76	
	z	23,40	100,64	4,30	
ortalama					4,20 $\pm$ 0,13

Ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçlarına göre her iki reçeteye ait numuneler için de düşüş olduğu görülmüştür. 1. reçeteye ait numunelerin sülfat deneyi öncesi ultrases geçirgenlik hızı değeri 4,80 km/s iken sülfat deneyi sonrası % 5,2 düşüş ile 4,55 km/s olarak hesaplanmıştır. 2. reçete numunelerinde ise deney öncesi 4,45 km/s olan ultrases geçirgenlik hızı değeri, deney sonrası % 5,6 düşüşle 4,20 km/s olarak hesaplanmıştır. Her iki reçete için de değişim aynı oranda olmuştur. Deney sırasında numunelerin kenar ve köşe kısımlardan yapılan ölçümlerde düşük hızlar elde edilmiştir. Buna bağlı olarak numunelerin sülfattan en çok etkilenen kısımların kenar ve köşe kısımları olduğu düşünülmüştür. Hesaplanan değerler ile sülfat deneyi sonucunda beton parke taşı numunelerinde içsel hasarın oluştuğu sonucuna varılmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalarda görülmüştür ki düşük konsantrasyon ve kısa dönemde yapılan sülfat deneylerinde etrenjit oluşumları basınç dayanımı değerlerini yükseltmektedir [27,47,51]. Ancak numunelerin sülfat çözeltisi içerisinde bekleme süreleri uzadıkça çatlak yapıları oluşmakta ve hacimsel genleşmeyle birlikte kütle ve dayanım kayıpları meydana gelmektedir. Bu çalışma kapsamında belirlenen 16 haftalık süre sonunda numunelerde kütle (kuru) artışı, su emme oranında ve ultrases hızı geçirgenliği değerlerinde düşüş tespit edilmiş olup sonraki çalışmalarda mermer atıkları kullanılarak üretilen beton parke taşlarının sülfat direncini daha etkili bir şekilde inceleyebilmek için bu sürenin uzatılmasının uygun olacağı düşünülmüştür.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, Malatya ili Akçadağ ilçesinde mermer ocağı olarak faaliyet göstermekte olan sahada üretim esnasında ortaya çıkan farklı tane boyutundaki mermer atıklarının beton parke taşı üretiminde agega olarak kullanımı sağlanmış ve üretilen beton parke taşı numunelerinin çevresel etkenlere dayanıklılığı araştırılmıştır. Mermer atıklarına boyut küçültme işleminden sonra TS EN 933-1: 2012 standardına göre elek analizi, TS EN 1097-6: 2013 standardına göre yoğunluk ve su emme tayini, TS EN 933-9: 2010 standardına göre metilen mavisi deneyi, TS EN 1097-2: 2010 standardına göre Los Angeles parçalanma direnci tayini, TS EN 933-3: 2012 standardına göre yassılık indeksi ve ASTM C-88 standardına göre MgSO<sub>4</sub> dona dayanıklılık deneyleri yapılmıştır. Mermer atıklarının agega özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

**Çizelge 5.1.** Mermer atıklarına uygulanan agega deney sonuçları

Doygun- kuru yüzey özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	ince	2,62
	iri	2,64
Ağırlıkça su emme %	ince	1,88
	iri	0,85
Metilen mavisi değeri		2
Parçalanma direnci		LA <sub>25</sub>
Yassılık indeksi		FI <sub>15</sub>
Donma Çözülme direnci (MgSO <sub>4</sub> )		MS <sub>18</sub>

- İnce ve iri agega tane boyutuna göre sınıflandırılan mermer agegası, özgül ağırlıklarının 2,4-2,8 g/cm<sup>3</sup> aralığında olması sebebiyle ‘normal agega’ olarak değerlendirilmiştir.

- Ageganın su emme oranı, hazırlanacak taze beton karışımının su ihtiyacını belirleme de önemli bir faktördür. Ayrıca TS 706 EN 12620+A1: 2009 standardında belirtildiği üzere su emme oranı düşük olan agegaların don olayına karşı dirençli olduğu kabul edilmektedir. Buna göre iri agegadan elde edilen % 0,85 ve ince agegadan elde edilen % 1,88 su emme oranlarına göre mermer agegasının dona karşı dirençli olduğu sonucuna varılmıştır. Nihai beton karışımına ulaşmak için yapılan deneme karışımlarında su emme oranları dikkate alınmış olup karışım suyu miktarı düzeltme hesaplamaları yapılarak hedeflenen kıvam sınıfına göre optimum su miktarı belirlenmiştir.



- Metilen mavisi deneyi ile ince ageganın (0-2 mm) kil minerali içeriği tespit edilmiştir. TS 706 EN 12620+A1: 2009 standardında agegaların metilen mavisi değerleriyle ilgili bir sınır değer veya kategori belirtilmemiştir ancak bu değer yüksek olması taze betonda hedeflenen kıvam ve işlenebilirlik özelliklerinin elde edilmesi için daha fazla suya ihtiyaç duyulacağı anlamına gelmektedir. Mermer agegasına uygulanan deney sonucunda metilen mavisi değeri '2' olarak belirlenmiştir. Literatürde ki diğer çalışmalar incelendiğinde bu değer kabul edilebilir olduğu görülmüştür [53]. Çalışmada, ince agega oranının artmasıyla birlikte artan su ihtiyacı metilen mavisi değeriyle ilişkilendirilmiştir.

- Agega olarak hazırlanan mermer atığının yassılık indeksi değeri  $FI_{15}$  kategorisindedir. Bu değer, agegada ki yassı tanelerin oldukça düşük oranda olduğu sonucunu vermektedir. Beton içerisinde yassı tanelerin yüksek oranda olması zayıflık zonlarının oluşmasına sebebiyet vermektedir ancak elde edilen  $FI_{15}$  kategorisine bağlı olarak betonda ageganın tane şeklinden kaynaklanabilecek zayıflık zonlarının meydana gelmeyeceği öngörülmüştür.

- Los Angeles deneyi ile ageganın parçalanmaya karşı direnci belirlenmiştir. Deney sonucuna göre agega  $LA_{25}$  kategorisinde değerlendirilmiştir. Beton yollarda kullanılacak agegalar için izin verilen parçalanma direnci sınır değerinin 30 olduğu bilinmektedir. Buna göre,  $LA_{25}$  kategorisi, mermer atığından elde edilen ageganın beton parke taşı üretimine uygun olduğuna işaret etmektedir.

- Mermer atıklarından elde edilen agega, don olayına karşı gösterdiği direncin belirlenmesi amacıyla  $MgSO_4$  kullanılarak deneye tabi tutulmuştur. Bu deney sonucunda ageganın dona karşı direncinin  $MS_{18}$  kategorisine karşılık geldiği tespit edilmiştir. Su emme oranı tayini sonuçlarını da göz önünde bulundurduğumuzda bu çalışmada, beton parke taşı üretiminde kullanılan mermer agegasının dona dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır.

Mermer atığından elde edilen ageganın özelliklerinin belirlenmesiyle birlikte deneme karışımları yapılarak nihai beton parke taşı reçetelerine ulaşılmıştır. 1. beton parke taşı reçetesinde agega en büyük tane boyutu 14 mm, su/çimento oranı 0,40, karışım suyu miktarı  $180 \text{ kg/m}^3$  olarak belirlenmiştir. 2. beton parke taşı reçetesinde ise agega en büyük tane boyutu 9,5 mm, su/çimento oranı 0,45, karışım suyu miktarı  $225 \text{ kg/m}^3$  olarak belirlenmiştir. Her beton reçetesine ait  $10*10*10\text{cm}^3$ 'lük kübik ,  $7*7*7\text{cm}^3$ 'lük kübik ve 10 cm çap \* 20 cm boy silindirik olmak üzere 3 farklı ebatta numune üretilmiştir. Numunelere, TS 12390-7 standardına göre beton yoğunluğu ve su emme oranının tayini deneyi, TS 12390-3 standardına göre tek eksenli basınç dayanımı deneyi, TS EN 1504-4

standardına göre ultrases geçirgenlik hızı deneyi, ISRM 1978 standardına göre Schmidt sertlik tayini, TS 2824 EN 1338: 2005 standardına göre yarmada çekme dayanımı, Böhme aşınma dayanımı ve buz çözücü tuz etkisinde donma çözülme deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca NaCl ilavesi olmadan donma çözülme ve sülfat direnci deneyleri yapılmıştır. Her iki reçete için sertleşmiş betona uygulanmış olan deneylerin sonuçları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

**Çizelge 5.2. Sertleşmiş beton deney sonuçları**

	1. reçete sonuçları	2. reçete sonuçları
Doygun-kuru yüzey yoğunluk kg/m <sup>3</sup>	2.416,19	2.329,62
Kuru yoğunluk kg/m <sup>3</sup>	2.328,91	2.232,48
Ağırlıkça su emme %	3,75	4,35
Tek eksenli basınç dayanımı MPa	26,09	18,99
Yarmada çekme dayanımı MPa	3,59	2,48
Schmidt sertlik değeri	23,9	19,2
Ultrases geçirgenlik hızı km/s	4,80	4,45
Aşınma dayanımı mm <sup>3</sup> /5.000mm <sup>2</sup>	20.026,19	19.622,06
<u>Buz çözücü tuz ile donma çözülme sonrası</u>		
Yüzeysel kütle kaybı kg/m <sup>2</sup>	1,69	0,82
Hacimsel kayıp %	7,27	5,01
Ultrases geçirgenlik hızı km/s	4,68	4,40
<u>Donma çözülme sonrası</u>		
Yüzeysel kütle kaybı kg/m <sup>2</sup>	0	0
Hacimsel kayıp %	1,44	1,27
Ultrases geçirgenlik hızı km/s	4,70	4,42
<u>Sülfat direnci deneyi sonrası</u>		
Ağırlık değişimi (kuru) %	+0,91	+1,38
Ağırlıkça su emme %	2,21	3,77
Ultrases geçirgenlik hızı km/s	4,55	4,20

- 28 günlük kür süresinin sonunda her iki beton parke taşı reçetesine ait numunelere uygulanan yoğunluk deneyi sonucuna göre üretilen betonların ‘normal beton’ kategorisinde olduğu görülmüştür.

- 1. reçeteye ait numunelerden elde edilen ağırlıkça su emme oranı %3,75, 2. reçeteye ait numuneler için ise %4,35 olarak belirlenmiştir. TS 2824 EN 1338: 2005 standardında beton parke taşları için belirtilen ağırlıkça su emme sınır değeri % 6’dır. Deney sonucu elde edilen değerler standardı karşılamaktadır. 2. reçeteye ait su emme oranının daha yüksek olmasının, numunelerin 1. reçeteye göre daha fazla ince agrega ve mermer tozu içermesinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

- 10\*10\*10cm<sup>3</sup>’lük kübik numunelere uygulanan tek eksenli basınç dayanımı deneyleri sonucunda 1. reçete numuneleri için ortalama 26,09 MPa, 2. reçete numuneleri için ise

18,99 MPa dayanım değeri elde edilmiştir. Agega en büyük tane boyutu yükseldikçe dayanımın arttığı bilinmektedir. 1. reçeteye ait agega tane boyut aralığı 0-14 mm, 2. reçeteye ait tane boyut aralığı ise 0-9,5 mm'dir. Bunun yanısıra 2. reçetede %20 oranında mermer tozu kullanılmıştır. İnce malzeme oranının artmasıyla birlikte taze betonda karışım suyu ihtiyacı da artmış olup bu durum betonda dayanımı düşürmüştür.

- Yarmada çekme dayanımı sonuçlarının da tek eksenli basınç dayanımı sonuçlarıyla doğru orantılı olduğu görülmüştür. 1. reçeteye ait numunelerin yarmada çekme dayanımı deney sonucu 3,59 MPa iken 2. reçeteye ait numunelerin sonucu 2,48 MPa olmuştur. TS 2824 EN 1338: 2005 standardında beton parke taşlarından beklenen en düşük dayanım değeri 3,6 MPa olarak belirtilmiştir. 1. reçete ile üretilen beton parke taşları bu sınır değeri karşılamaktadır.

- Schmidt çekici ile sertlik tayini değerleri 1. reçeteye ait numuneler için 23,9, 2. reçeteye ait numuneler için ise 19,2 olmuştur. 1. reçete sonuçlarının daha yüksek çıkması yine kullanılan agega en büyük tane boyutu ve kullanılan karışım suyu miktarlarıyla ilişkilendirilmiştir.

- Taze betonun kalıplara iyi yerleştirilmesi ve homojenliği betonun kalitesini etkileyen faktörlerdir. Betonun iyi yerleşmesi boşluksuz bir beton anlamına gelmektedir. 28 günlük kür süresinin sonucunda, her iki reçeteye ait sertleşmiş beton numuneleri üzerinde, beton kalitesinin ve buna bağlı olarak boşluk ve çatlak varlıklarının tespitine yönelik bir yöntem olan ultrases geçirgenlik hızı deneyi uygulanmıştır. Bu deney sonucuna göre 1. reçeteye ait numunelerin ultrases geçirgenlik hızı 4,80 km/s, 2. reçeteye ait numunelerin ise 4,45 km/s olarak elde edilmiştir. Literatürde, sertleşmiş betonda basınç dayanımı ve ultrases geçirgenlik hızı arasındaki ilişkiyi ortaya koyan bir çok araştırma mevcuttur. Dayanım değeri yüksek olan betonun boşluksuz ve homojen olduğu kabul edilmektedir ve buna bağlı olarak da kalitesinin belirlenmesinde kullanılan ultrases geçirgenlik hızı deney sonucunun da yüksek olması beklenmektedir. 1. reçeteye ait beton numunelerinin ultrases geçirgenlik hızı değerleri, dayanım değerleri daha düşük olan 2. reçete numunelerinin değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak her iki reçeteye ait beton numunelerinin de kaliteli beton kategorisinde olduğu sonucuna varılmıştır.

- Beton parke taşı numunelerinin aşınma dayanımını belirlemek amacıyla TS 2824 EN 1338: 2005 standardında belirtilen Böhme ile aşınma dayanımı deneyi uygulanmıştır. Deney sonucuna göre; 1. reçete numunelerinin hacim kaybı  $20.026,19 \text{ mm}^3/5.000 \text{ mm}^2$ , 2.

reçete numunelerinin hacim kaybı ise  $19.622,06 \text{ mm}^3/5.000 \text{ mm}^2$  olmuştur. Standartta izin verilen en yüksek değerin  $20.000 \text{ mm}^3/5.000 \text{ mm}^2$  olduğu görülmüştür. Yüksek oranda ince aģega içeren 2. reçeteye ait sonuç standardı karşılamaktadır. Beton parke taşlarının üretimi alt tabaka ve üst aşınma tabakası olarak iki tabaka olarak gerçekleştirilmektedir. Aşınma tabakasında kullanılan karışımın ince aģegadan oluştuğu ve yarmada çekme dayanımının aksine aşınma dayanımında daha iyi sonuç verdiği bilinmektedir. Buna bağlı olarak bu çalışma için hazırlanan 1. reçetenin alt tabaka dökümünde, 2. reçetenin ise aşınma tabakası dökümünde kullanımının sağlanması, TS 2824 EN 1338 standardında istenilen değerleri karşılamış olacaktır.

- Bu çalışmanın amacı, mermer atıklarından üretilen beton parke taşlarının kullanım yerleri itibariyle maruz kalabileceği çevresel etkenlere dayanıklılığının incelemesidir. Çalışma kapsamında, parke taşlarının donma çözülme, buz çözücü tuz ile donma çözülme ve sülfata maruziyetinde ortaya çıkan sonuçlar incelenmiştir. %3'lük NaCl ilavesiyle yapılan donma çözülme deneyinde yüzeysel kayıplar, 1. reçete numunelerinde ortalama  $1,69 \text{ kg/m}^2$ , 2. reçete numunelerinde ise  $0,82 \text{ kg/m}^2$  olmuştur. TS 2824 EN 1338 standardında bu değerin en yüksek  $1 \text{ kg/m}^2$  olması beklenmektedir. Aşınmaya karşı gösterdiği direnç sebebiyle üst olarak kullanılması öngörülen 2. reçete numunelerinin, buz çözücü tuz ile donma çözülme olayında uğradığı malzeme kaybı değerinin de standardı karşıladığı görülmektedir.

- Buz çözücü tuz etkisinde donma çözülme çevrimleri sonrası beton numunelerin hacimsel kayıpları 1. reçete numuneleri için % 7,27, 2. reçete numuneleri için ise % 5,01 olarak hesaplanmıştır. Yüzeysel kütle kaybında olduğu gibi 1. reçete numunelerinin hacimsel kaybı da 2. reçeteye göre daha fazla olmuştur. 2. reçete numunelerinin 1. reçeteye göre çevrimlerden daha az etkilenmesinin sebebi yine aģega tane boyutuyla ilişkilendirilmiştir. % 20 mermer tozunun yanısıra yüksek ince aģega içeriği sayesinde 2. reçeteye ait numuneler buz çözücü tuz ile donma çözülme olayına daha fazla direnç göstermiştir.

- Buz çözücü tuz etkisinde donma çözülme çevrimlerinin ardından beton numunelerinde içsel hasarın varlığını tespit etmek amacıyla ultrases geçirgenlik hızı deneyi tekrar edilmiştir. Deney sonucunda 1. reçeteye ait ultrases geçirgenlik hızı sonucu  $4,80 \text{ km/s}$ 'den  $4,68 \text{ km/s}$ 'ye, 2. reçeteye ait sonucun ise  $4,45 \text{ km/s}$ 'den  $4,40 \text{ km/s}$ 'ye düştüğü görülmüştür. Bu sonuçlar, 1. reçeteye ait beton numunelerinde içsel hasarın meydana geldiğine ancak 2. reçeteye ait beton numunelerinde içsel hasarın daha az olduğuna işaret etmektedir.

- Buz çözücü tuz olmadan yapılan donma çözülme deneylerinde her iki reçete numunelerinde de yüzeysel kütle kaybı oluşmamıştır. Ancak deney numuneleri suya doygun halde donma çözülme olayına maruz kalmış olduğundan hacimsel kayıplar meydana gelmiştir. 1.reçete numuneleri için hacimsel kütle kaybı ortalama % 1,44 iken 2. reçete numuneleri için %1,27 olmuştur. Donma çözülme çevrimlerinden sonra tekrar edilen ultrases geçirgenlik hızı deneyinde ise 1. reçete numuneleri için 4,70 km/s, 2. reçete için ise 4,42 km/s sonuçları elde edilmiştir. NaCl ilavesi ile ve NaCl ilavesi olmadan yapılan donma çözülme çevrimleri yüzeysel kütle kaybı, hacimsel kütle kaybı ve ultrases geçirgenlik hızı deney sonuçları karşılaştırıldığında, tuzun beton üzerinde oldukça tahrip edici bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

- Beton parke taşı numuneleri 28 günlük kür süresinin ardından %5'lik  $MgSO_4$  çözeltisi içerisine bırakılarak 16 hafta bekletilmiştir. Sülfat direncinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu deney sonuçlarına her iki reçeteye ait numunelerin de kuru kütlelerinde artış meydana gelmiştir. 1. reçete numunelerinde ki artış % 0,91 iken, 2. reçete numunelerinde ki artış ise % 1,38 olmuştur. İki reçete arasında ki kütle artış farkı su emme oranlarıyla ilişkilendirilmiştir. Su emme oranı düşük olan 1. reçete numunelerinde, su emme oranı yüksek olan 2. reçeteye göre daha az kütle artışı meydana gelmiştir. Kütle artış sebebinin ise betonda sülfat atağı ile birlikte oluşan etrenjit ve tomasit minerallerinin olduğu SEM analizi görüntüleriyle kanıtlanmıştır. Ayrıca deney sonrası beton numunelerinin ağırlıkça su emme oranlarında düşüş olduğu belirlenmiştir. 1. reçete numuneleri için hesaplanan su emme oranı % 2,21, 2. reçete için hesaplanan oran ise % 3,77'dir. Değişen su emme oranlarının, beton içerisinde ki boşluklarda sülfat maruziyeti sonrası yeni mineraller oluştuğunun bir başka kanıtı olduğu düşünülmüştür.

- Sülfat deneyi sonrası, beton numunelerinde içsel hasar varlığının tespiti amacıyla ultrases geçirgenlik hızı deneyi tekrar edilmiştir. Deney sonucunda 1. reçeteye ait numuneler için ultrases hızı değeri 4,55 km/s, 2. reçete numuneleri için ise 4,20 km/s olarak hesaplanmıştır. Deney öncesi ve deney sonrası değerler karşılaştırıldığında, sülfat deneyi sonrası beton numunelerinde içsel hasarın oluştuğu sonucuna varılmıştır. Her iki reçete numuneleri için ultrases geçirgenlik hızı değişimi yüzdesel olarak aynı seviyededir.

- Sülfat deneyi sonrasında 1. reçete numunelerinin yüzeylerinde renk değişimi görülmezken, 2. reçete numunelerinin tüm yüzeylerinde beyazlama olduğu görülmüştür.

- Sülfatın beton üzerinde ki etkisinin incelenmesi için 16 haftalık deney süresinin etkileri belirleme de yeterli olmadığı düşünülmüş, sonra ki çalışmalar için bu sürenin uzaltılması gerektiği öngörülmüştür.

## 5.2. Öneriler

- Beton parke taşları avantajlı bir zemin kaplaması olmakla birlikte mermer atıklarının geri dönüşümünün sağlanmasında akla ilk gelen seçeneklerden biri olmaktadır. Moloz, kapak ve paledyen formundaki atıklar sadece boyut küçültme işlemine tabii tutularak agega olarak kullanıma hazır hale gelebilmektedir. Ancak mermer kesimi esnasında ortaya çıkan mermer tozunun beton muhtevasında kullanımı için mermer çamurunun arıtımında kullanılan kimyasalların taze ve sertleşmiş beton üzerindeki etkisinin araştırılması önerilmektedir.

- Farklı kayaç yapılarına sahip mermer ocaklarının ve birden fazla türde mermer bloğunun işlendiği mermer fabrikalarının atık özellikleri de farklılık göstermektedir. Mermer atıklarıyla yapılacak herhangi bir çalışma öncesinde atık özelliklerinin detaylı şekilde belirlenmesi önerilmektedir.

- Malatya Bölgesi'nde faaliyet gösteren ocağa ait atıkların parke taşı üretiminde kullanılabilir bir agega kaynağı olduğu yapılan deneyler neticesinde anlaşılmıştır. İri ageganın alt, ince ageganın üst kaplama malzemesinde kullanımı mermer atıklarının sürdürülebilir kullanımına olanacak sağlayacak ve olumsuz çevresel etkileri minimize edecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Filiz, M., Özel, C., Soykan, O., Ekiz, Y.,** Atık Mermer Tozunun Parke Taşlarında Kullanılması, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt no: 6, No:2, 2010, (57-72).
- [2] **Ünal, O., Kibici, A.,** Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması, Türkiye 3. Mermer Sempozyumu (Mersem'2001) Bildiriler Kitabı, (s. 317-325), Afyon (2001).
- [3] **Topçu, B., Uygunoğlu, T.,** Mermer Agegası ve Uçucu Külün Kilitli Parke Taşı Üretiminde Kullanılması, Beton Prefabrikasyon Dergisi, Sayı: 98, s 15-21, 2011.
- [4] **Aydın, G., Karakurt, İ.,** Doğaltaş Üretim ve İşleme Tesisi Atıklarını Değerlendirilmesi, ALKU Fen Bilimleri Dergisi 2020, 2(2): 62-77 e-ISSN: 2667-7814.
- [5] **Şahbaz, A.,** Değişik Doğaltaş Agegalarının, Beton Bloklarının ve Kilitli Parke Taşının Fizikomekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 2010.
- [6] **Gencil, O., Ozel, C., Koksall, F., Erdogmus, E., Martínez-Barrera, G., Brostow, W.,** Properties of Concrete Paving Blocks Made With Waste Marble, Journal of Cleaner Production 21 (2012) 62e70.
- [7] **Khandve, P. V., Rathi, A.S.,** Concrete Paving Block Using Marble Stone Industry Waste, IJRESTS Vol:1 No:8, s86-91, 2015.
- [8] **Alyamaç, K. E., Tuğrul, E., A Durable, Eco-Friendly and Aesthetic Concrete Work: Marble Concrete, ACE'2014, İstanbul.**
- [9] **Kishore, S., Chowdary, M.,** A Study on Waste Utilization of Marble Dust in High Strenght Concrete Mix, International Journal of Civil Engineering and Technology, Vol:6, Issue: 12, S 1-7 (2015).
- [10] **Tiwari, K.,** An Experimental Study on Marble Waste Used in Paver Blocks, Internatioanl Journal of Science and Research, vol:8, issue: 7, s-561-564, (2019).
- [11] **Singh, M., Srivasta, A., Agarwal, P.,** Low Cost Concrete Bricks Using Marble Slurry as a Raw Material, Department Of Civil Engineering, BITS-PILANI, Pilani, India.
- [12] **Arsoy, Z., Çiftçi, H., Ersoy, B., Uygunoğlu, T., Arslan, B.,** Afyonkarahisar Bölgesi Mermer Parça Atıklarının Beton Agegası Olarak Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması, El, Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, vo:6, no:3, s: 503-516, 2019.
- [13] **Tekmen, T.,** Kireçtaşlarından Üretilen Kilitli Beton Parke Bloklarının Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurove Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 2006.
- [14] **Ceylan, H., Mança, S.,** Mermer Parça Atıklarının Beton Agegası Olarak Değerlendirilmesi, SDU Teknik Bilimler Dergisi, Cilt:3, Sayı:2, s 21-25, 2013.



- [15] **Çiner, F., Sağlamtimur, N., Delibalta, M.S.**, Endüstriyel Katı Atık Olarak Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Değerlendirme Alternatifleri, Mermer Madenciliğinde Çevresel Yaklaşımlar, Muğla Büyükşehir Belediyesi Kültür Yayınları, S 93-125, 2018.
- [16] **Berberoğlu, Ş.**, ‘Beton Yollarda Buz Çözücü Tuz Etkisine Su/Çimento Oranının Etkileri’, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, 2011, Sakarya.
- [17] **Hamza, R., El-Haggar, S., Khedr, S.**, Utilization of Marble and Granite Waste in Concrete Bricks, 2011 International Conference on Environment and BioScience IPCBEE vol.21, s 115-119, Singapore, 2011.
- [18] **Chang, K. Y., Kwan, W. H., Kua, H. B.**, The Application of Waste Marble as Coarse Aggregate in Concrete Production, Scientific Research Journal, Vol:13, No:2, s75-83, (2016).
- [19] **Demir, T., Alyamaç, K., E.**, 2022, Investigation of the Use of Marble Powder in Production of High Strength Concretes, Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ.
- [20] **Kızıltepe, U., Şahin, Y.**, 2021, Traverten Atıklarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yapı Merkezi İnşaat ve Sanayi A.Ş., İstanbul, Yozgat Bozok Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yozgat, Türkiye.
- [21] **Eren Sarıcı, D.**, 2011, Akçadağ (Malatya) Batısındaki Eosen Yaşlı Mermerlerin Optimum İşleme Koşullarının Belirlenmesi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği ABD, Doktora Tezi, Malatya.
- [22] **T.C. Ticaret Bakanlığı**, Doğaltaşlar Sektör Raporu 2019, Ankara.
- [23] <https://www.imib.org.tr/tr/projeler/turkiyedeki-mermer-ocaklari/mermer-konumları> (Erişim: 27.04.2022)
- [24] **Çevre ve Orman Bakanlığı**, Tehlikesiz ve İnert Atıkların Geri Kazanımı Tebliği, 2010, Ankara.
- [25] **Ateş, K.**, ‘Kapanan Mermer Ocak İşletmelerinde Rehabilitasyon Yöntemlerinin Geliştirilmesi’ Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 2008, İzmir.
- [26] **Şimşek, S.**, ‘Mermer Atıklarının Yapı Malzemesi Üretiminde Kullanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma’ Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık ABD, 2019, Bursa.
- [27] **Ünsal, A., Şen, H.**, Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri, T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, 2008.
- [28] **TS 802: 2009** Beton Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [29] Beton Teknik Ders Notları.
- [30] Beton Ders Notları, Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır.
- [31] **Açıkgöz, Y.**, ‘Uçucu Küllerin Beton Kilitli Parke Taşı Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması’, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, 2008, Ankara.

- [32] **Kuyumcu, H. M.**, 2006, Deniz Suyu ve Sülfatlı Suların Beton Dayanımına Etkisi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi, Sakarya
- [33] **Maraş, M.M.**, Elazığ Ferrokrom Cürufundan Üretilen Geopolimer Çimentolu Betonların Sülfat Direncinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, 2013, Malatya.
- [34] **TS EN 933-1: 2012**, Eleme Metodu ve Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [35] **TS EN 1097-6: 2013**, Agega Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [36] **TS EN 933-9: 2010**, İnce Tanelerin Tayini, Metilen Mavisi Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [37] **Arslantaş, B.**, Karaburun Kireçtaşı Ocak Atıklarının Agega Kaynağı Olarak Kullanılmasının Araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, 2009, İzmir.
- [38] **TS 706 EN 12620+A1: 2009**, Beton Agegaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [39] **TS EN 1367-2** Magnezyum Sülfat ile Agegaların Donma-Çözülme Direncinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [40] **TS EN 12390-7: 2010**, Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [41] **TS 2824 EN 1338: 2005**, Zemin Döşemesi için Beton Kaplama Blokları, Beton Parkeler- Gerekli Şartlar ve Deney Metodları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [42] **ASTM C 1012** Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution, USA.
- [43] **TS EN 12504-4: 2021**, Determination of Ultrasonic Pulse Velocity, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [44] **TS EN 12390-3:2010**, Sertleşmiş Beton Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [45] **ISRM 1978**, Suggested Methods For Determination of the Schmidt rebound hardness, International Journal of Rock Mechanic and Mining Science and Geomechanic Abstract, 15:3 (1978) 101-102.
- [46] **Ilıca, T.**, 2008, Farklı Çimentolarla Üretilen Betonlarda Sülfat Etkisi ve Klorür Geçirimsizliği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi, İstanbul.
- [47] **Tosun, K., Felekoğlu, B., Boradan, B., Altun, İ.A.**, 2009, Portland Kalkerli Çimento Bölüm II Sülfat Dayanıklılığı, İMO Teknik Dergi, syf 4737-4757, Yazı 310.
- [48] **Engin, Y., Akakın, T.**, Beton Dökümünde ve Sonrasında Yaşanan Problemler ve Çözümler, Türkiye Hazır Beton Birliği, 2010.
- [49] **TS EN 1097-2: 2010**, Agegaların Parçalanma Direncinin Tayini, Los Angeles Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- [50] **TS EN 933-3: 2012**, Agedaların Tane Şekli Tayini, Yassılık Endeksi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [51] **Keleş, İ.**, Zonguldak Bartın Arasındaki Yılanlı Formasyonu Dolomitik Kireçtaşlarının Ageda Olma Özellikleri ve Beton Üretiminde Kullanılabilirliği, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans tezi 2009, Zonguldak.
- [52] **ASTM C-88** Standart Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate , USA
- [53] **Özbebek, H., Açıık H.**, 2012, İnce Agedalarda Yapılan Metilen Mavisi ve Kum Eşdeğerliği Deney Sonuçlarının Beton Özelliklerine ve Maliyetine Etkisi, Hazır Beton Dergisi, Eylül-Ekim 2012, Sayfa 84-92



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : **Melike YAMACI ÜNSAL**

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2008, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

### MESLEKİ DENEYİM:

- 2008-2011- Netmer Net Mermer San. Tic. Ltd. Şti.
- 2017-2021- Netmer Madencilik San. Tic. Ltd. Şti.

