

**İNCE AGREGASINDA FARKLI ORANLARDA MERMER
TOZU KULLANILMIŞ BETONLARIN DAYANIM VE
DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİ**

Yüksek Lisans Tezi

Alp Buğra AYDIN

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ**

Temmuz-2013

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNCE AGREGASINDA FARKLI ORANLARDA MERMER TOZU
KULLANILMIŞ BETONLARIN DAYANIM VE DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alp Buğra AYDIN

(101115114)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Haziran 2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 19 Temmuz 2013

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Bahar DEMİREL (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ (F.Ü)

TEMMUZ-2013

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimle ilgili çalışmaların başından sonuna takipçisi olup, bana her konuda yardımcı olan Danışman Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ'a, deneysel çalışmalara değeri ölçülemez katkılarından dolayı Yapı Laboratuvarı Teknisyeni Sayın Seyfettin ÇİÇEK'e, deneyler sırasında yardımcı olan Turgay ÇETİN'e, kimyasal katkıların çok kısa zamanda elimize ulaşmasını sağlayan Sayın Arş Gör. Ahmet COŞKUN'a, agrega temininde eşsiz yardım gösteren; Sayın İnş. Müh. Dr. Erhan YALÇIN'a, Sayın İnş. Müh. Ramazan GÜRGÖZE'ye ve Açılım İnşaat A.Ş. Elazığ Yetkilileri'ne, çimento deneylerinin yapılmasında verdikleri emek ve gösterdikleri sabırdan dolayı Elazığ Altınova Çimento Sanayi Ticaret A.Ş.'ye, mermer tozu temininde gösterdiği yardım ve iyi niyet için Bayraklar Mermer A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Yılmaz BAYRAK'a, bu tez çalışmasını proje ile destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (FÜBAP), bir şekilde emeği geçmiş tüm arkadaşlarıma, hayatımın tüm güzelliklerini borçlu olduğum; anne ve babama, biricik kardeşime ve varlığıyla, ilgisiyle ve sonsuz sabrıyla sınırsız güç bulduğum eşime, en derin saygı ve sonsuz teşekkürlerimi arz ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ	X
1. GİRİŞ	1
2. MERMER	5
2.1. Mermerin Sınıflandırılması.....	9
2.1.1. Jeolojik Sınıflandırma.....	9
2.1.1.1. Mineralojik Sınıflandırma.....	9
2.1.1.1.1. Mermerlerin Kristal Boyutuna Göre Sınıflandırma.....	9
2.1.1.1.2. Mineral Bileşim Oranlarına Göre Sınıflandırma.....	10
2.1.1.2. Mermerlerin Jeolojik Kökenlerine Göre Sınıflandırılması	10
2.1.1.2.1. Sedimanter (tortul) mermerler:.....	10
2.1.1.2.2. Magmatik Oluşumlu Mermerler.....	11
2.1.1.2.3. Metamorfik Mermerler	12
2.1.2. Mermerlerin Ekonomik Yönden Sınıflandırılması.....	12
2.1.2.1. Mermerlerin Sertliklerine Göre Sınıflandırılması	12
2.1.2.2. Mermerlerin Ticari Pazara Göre Sınıflandırılması.....	12
2.2. Dünya’da ve Türkiye’de Mermer Üretimi	15
2.3. Mermer Kullanım Alanları.....	23
3. MERMER ATIKLARI.....	25
3.1. Oluşum Yerlerine Göre Mermer Atıkları.....	29
3.1.1. Mermer Ocaklarında Oluşan Atıklar	29
3.1.2. Mermer Fabrikalarında Oluşan Atıklar.....	30
3.1.2.1. Katrak, ST, Silme-Cilalama Ünitelerinde Oluşan Atıklar	30
3.1.2.2. Köprü Kesme, Monolam, ST Kesimi Sonrası Alt ve Yan Kısımlarda Oluşan Atıklar	30

3.1.2.3.	Baş Kesme ve Levha Ebatlama Makinelerinde Oluşan Atıklar	31
3.2.	Boyutlarına Göre Sınıflandırılan Atıklar	31
3.2.1.	Molozlar	31
3.2.2.	Kapaklar	31
3.2.3.	Paledyenler	31
3.2.4.	Atık Mermer Çamuru ve Atık Mermer Tozu	32
3.3.	Atık Mermer Tozunun Kullanım Alanları	33
4.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	36
4.1.	Kullanılan Malzemeler	36
4.1.1.	Çimento	36
4.1.2.	Toz Malzemeler	36
4.1.3.	Agrega	36
4.1.4.	Kimyasal Katkı	39
4.1.5.	Karma Suyu	39
4.2.	Deneyler ve Karışım Oranları	40
4.2.1.	Mermer Tozunun İnce Agregayla (D< 4 mm) Yer değiştirilerek Kullanımı.	44
4.2.2.	Mermer Tozunun İnce Agregayla (D< 1 mm) Yer değiştirilerek Kullanımı ..	45
5.	DENEY SONUÇLARI NIN DEĞERLENDİRİLMESİ	46
5.1.	Mermer Tozunun İnce Agregayla (D< 4 mm) Yer değiştirilerek Kullanımı.	46
5.2.	Mermer Tozunun İnce Agregayla (D< 1 mm) Yer değiştirilerek Kullanımı .	53
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
	KAYNAKLAR	59
	ÖZGEÇMİŞ	64

ÖZET

Mermer işleme fabrikalarında açığa çıkan mermer atıkları büyük bir probleme neden olmaktadır. Bu çalışmada, mermer tozu atıklarının beton üretiminde değerlendirilmesi amacıyla ince agregaya olarak mermer tozunun betonda kullanılabilirliği araştırılmış ve mermer tozunun taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi belirlenmiştir. Deneysel çalışmada, iki farklı deney grubu oluşturulmuştur. Birinci grupta mermer tozu ince agregayla ($D < 4\text{mm}$) (kum) ağırlıkça %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80, %90, %100 oranlarında yer değiştirilmiştir. İkinci grupta ise ince agregaya ($D < 1\text{mm}$) 1 mm'lik elekten geçen kısmı ile ağırlıkça %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80, %90, %100 yer değiştirilmiştir. Karışımlarda çimento 320 kg/m^3 , W/C 0.60 olarak alınmış ve toplam 20 farklı karışım elde edilmiştir. Mermer tozu kum ile yer değiştirilerek kullanıldığında %50 oranına kadar kullanılmasının işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık açısından betona olumlu özellikler kattığı görülmektedir. Mermer tozu $D < 1\text{mm}$ olan ince agregaya ile yer değiştirilerek kullanıldığında, %90 oranına kadar kullanılmasının işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık açısından betona olumlu özellikler kattığı görülmektedir. Test sonuçları mermer tozunun betonda ince agregaya ile yer değiştirilerek kullanılabilirliğini göstermektedir. Bu çalışma ile hem büyük bir çevre kirliliği yaratan atık mermer tozunun geri kazanımı sağlanacak hem de ekonomik yönden büyük kazançlar sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Mermer Tozu, İnce Agregaya, Basınç Dayanımı, Yarma Dayanımı, Durabilite.

SUMMARY

The Effect of The Marble Powder Used As Fine Material on the Durability of Concrete

Waste marble dust has been caused crucial problem for marble industry. In this thesis, waste marble dust has been evaluated to effect on producing of concrete. Besides those effects of marble dust is examined in fresh and hardened concrete. There are two different experimental works in this project. In first group, rate of sand is substitution with marble dust by weight 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, %70, %80, %90, %100 respectively. In second group, fine marble dust which is smaller than 1mm is substitution with fine aggregate by weight. In this research, 320 kg/m³ cement and W/C 0.60 was used to obtain 20 different concrete mixes. The results, for first group show that workability, resistance and durability can be increased up to 50%. For second group show that, workability, strength and durability can be increased up to 90%. The experimental data shows that marble dust can use instead of fine aggregate. These types like marble dust solid waste materials should be inactivated properly without polluting the environment. The most suitable inactivating method nowadays is recycling. Recycling provides with some advantages such as protecting the natural resources, energy saving, contributing to economy, decreasing the waste materials and investing for the future. The concrete technology has a big potential for this type solid waste materials.

Keywords: Marble Powder, Fine Aggregate, Compressive Strength, Split Tensile Strength, Durability.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Mermer ocağı iş akım şeması	8
Şekil 2.3 Türkiye mermer haritası	22
Şekil 3.1 15-20 tonluk mermer blokları	26
Şekil 3.2 Mermerlerin çeşitli boyutlarda kesilmesi	27
Şekil 3.3 Atık mermer çamuru ve doğa (Elazığ Organize Sanayi Bölgesi Atık Sahası)	27
Şekil 3.4 Atık ve artık miktarları	28
Şekil 4.2 Vişne mermer tozu ve beyaz mermer tozu SEM görüntüleri	38
Şekil 4.3 Agrega karışımının granülometrisi	39
Şekil 4.4 Çökme deneyinin yapılışı	40
Şekil 4.5 Beton numunelere kür uygulanması	41
Şekil 4.6 Basınç dayanımı deney sistemi	41
Şekil 4.7 Yarmada çekme dayanımı deney sistemi	41
Şekil 4.8 Kılcal su emme deney düzeneği	42
Şekil 4.9 Böhme aşınma deney düzeneği ve numuneler	43
Şekil 4.10 Kalıptaki numunelerin görünüşü	44
Şekil 5.1 Mermer tozunun oranı ile çökme değeri arasındaki ilişki	47
Şekil 5.2 Mermer toz oranının basınç dayanımına etkisi	47
Şekil 5.3 Mermer toz oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	48
Şekil 5.4 Basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki	49
Şekil 5.5 Farklı yaş ve geometriye sahip numuneler arasındaki basınç dayanımı ilişkisi ..	49
Şekil 5.6 Referans betonuna ait su emme –zaman ilişkisi	50
Şekil 5.7 Mermer toz oranının başlangıç ve uzun süreli su emme miktarına etkisi	52
Şekil 5.8 Basınç dayanımı ile aşınma dayanıklılığı arasındaki ilişki	52
Şekil 5.9 Mermer tozunun oranı ile çökme değeri arasındaki ilişki	53
Şekil 5.10 Mermer toz oranının basınç dayanımına etkisi	54
Şekil 5.11 Farklı yaş ve geometriye sahip numunelerin basınç dayanımları arasındaki ilişki	55
Şekil 5.12 Mermer toz oranının başlangıç ve uzun süreli su emme miktarına etkisi	56
Şekil 5.13 Basınç dayanımı ile aşınma dayanıklılığı arasındaki ilişki	56

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Mermerlerin Kristal Boyutuna Göre Sınıflandırılması	9
Tablo 2.2.	Mermerlerin Mineral Bileşim ve Oranlarına Göre Sınıflandırma	10
Tablo 2.3.	Mermerlerin Sertliklerine Göre Sınıflandırma	13
Tablo 2.4.	Avrupa Kıtasında Doğaltaş Bulunan Ülkeler ve Türleri.....	17
Tablo 2.5.	Asya Kıtasında Doğaltaş Bulunan Ülkeler ve Türleri	18
Tablo 2.6.	Afrika Kıtasında Doğaltaş Bulunan Ülkeler ve Türleri	18
Tablo 2.7.	Amerika Kıtasında Doğaltaş Potansiyeli Bulunan Ülkeler ve Türleri.....	18
Tablo 2.8.	Okyanusya Kıtasında Doğaltaş Potansiyeli Bulunan Ülkeler ve Türleri.....	19
Tablo 2.9.	Doğal taşlar ülke performans raporu	19
Tablo 2.10	2009 Ham Mermer Ve Traverten İhracatı	19
Tablo 2.11	2009 Yılı Mermer Ve Traverten İthalatı.....	20
Tablo 2.12.	2009 İşlenmiş Mermer Ve Traverten İhracatı İlk 10 Ülke	21
Tablo 2.13	2009 İşlenmiş Mermer Ve Traverten İthalatı İlk 10 Ülke	21
Tablo 2.14	En büyük mermer üretici ülkeler	21
Tablo 2.15	Türkiye’de mermer rezerv miktarları	22
Tablo 4.1	Çimentonun özellikleri	36
Tablo 4.2	Mermer tozunun özellikleri	37
Tablo 4.3	Agregaların fiziksel özellikleri	38
Tablo 4.4 .	Akışkanlaştırıcı katkının kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	39
Tablo 4.5	Mermer tozuyla oluşturulan serilerin karışım oranları	44
Tablo 4.6	Karışım oranları.....	45
Tablo 5.1	Mermer Tozunun Taze Beton ve Dayanım Özelliklerine Etkisi	46
Tablo 5.2	Mermer tozunun başlangıç ve uzun süreli su emmesi arasındaki ilişki.....	51
Tablo 5.3	Mermer Tozunun Taze Beton ve Dayanım Özelliklerine Etkisi	53
Tablo 5.4	Mermer tozunun başlangıç ve uzun süreli su emmesi arasındaki ilişki.....	55

KISALTMALAR LİSTESİ

- DPT** : Devlet planlama Teşkilatı
MT : Mermer tozu
MTA : Maden Tetkik Arama
SA : Süper Akışkanlaştırıcı
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

SEMBOLLER LİSTESİ

<i>l</i>	: Su emme katsayısı
<i>m_t</i>	: Numunedeki kütle değişimi
<i>a</i>	: Numunenin maruz kaldığı alan
<i>d</i>	: Suyun yoğunluğu
<i>f_{cc}</i>	: Betonun küp basınç mukavemeti
<i>f_t</i>	: Malzemenin yarmada çekme dayanımı
<i>d_{max}</i>	: Maksimum agregat çapı
<i>P_u</i>	: Maksimum kırılma yükü
<i>W/C</i>	: Su/çimento oranı
<i>σ</i>	: Normal gerilme

1. GİRİŞ

Beton, günümüz yapı endüstrisinde, taşıyıcı elemanların inşasından kaplama elemanlarının üretimine kadar birçok farklı amaç doğrultusunda ucuz maliyeti, dayanıklılığı, imalat üstünlükleri sayesinde tercih edilen farklı karışım oranlarında üretilebilen bir yapı malzemesidir [1]. İnsanların yaşadıkları evlerin, çalıştıkları işyerlerinin, eğitim gördükleri okulların, spor yaptıkları tesislerin, arabalarını park ettikleri park yerlerinin ve garajların büyük bir bölümünün yapımında ve daha birçok yerde beton kullanılmaktadır. Betonun bu kadar çok tercih edilmesi bu yapı malzemesinin sahip olduğu üstün özelliklerden ileri gelmektedir [2]. Bu üstün özelliklerden en önemli olanları ise sertleştikten sonra yüksek basınç dayanımına sahip olması ve diğer yapı malzemelerine oranla daha ekonomik olmasıdır.

Bilindiği gibi beton, çimento, su, agrega ve gerektiğinde katkı maddelerinin (mineral, kimyasal, fiber vb.) belirli şartlar ve oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta şekil verilebilen plastik formda olup, zamanla çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonun gelişmesiyle (hidratasyon) sertleşerek mukavemet kazanan, harç fazı ve agregadan oluşan kompozit bir yapı malzemesidir [3].

Beton teknolojisinin tarihi 1850 yıllarına, betonda ilk teçhizatın kullanılmasına kadar gitmektedir. Betonarme yapıların önem kazanması 19.yüzyılın başlarında olmuştur. Daha sonraki yıllarda, betonun uzun süreli davranışı, döküm tekniği, donanım kalitesinin devamlılığı, kalite kontrol deneyleri, betonda ekonomi, yeni malzemeler, katkı maddeleri, iş programlaması yönetimi ve ekonomisi konularında büyük gelişmeler olmuştur. Bununla beraber gelişen teknoloji ile kullanılacak özel beton tipleri geliştirilmiştir [4].

Gelişen yapı sektörü ve teknoloji ile beraber betondan beklenen ihtiyaçlar her geçen gün artmaktadır. Bu ihtiyaçlar beton içinde katkı maddelerin kullanılmasıyla karşılanmaya çalışılmaktadır. Gelişen teknolojiye paralel olarak, sanayi sektöründe hammaddelerin ortaya çıkarılması veya işlenmesi sırasında (üretim) ve/veya bu ürünlerin tüketimi sonrası açığa çıkan atıklar çevre kirliliği açısından büyük tehlikeler oluşturmaktadır. Yine endüstriyel atıklar oluşturduğu çevre kirliliğinin yanı sıra, bunların imhası ve geri dönüşümü de çeşitli mali ve teknolojik problemlere neden olmaktadır. Atık maddelerin geri dönüştürülmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Geri dönüştürme işlemleri ayrıca bir yatırım gerektirdiği gibi malzemelerin tamamı da geri dönüştürülememektedir. Bu endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılması, atıkların güvenli bir şekilde yok

edilmesinin yanında hammadde elde etmek için çevreye verilen zararların azaltılmasını da sağlamaktadır [5-11].

Atıklar çevre sorununun yanı sıra birçok durumda depolanma zorunluluğundan dolayı ilave maliyet getirmektedir. Bu nedenle, birçok atık içeriğine bakılmaksızın ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır. Ancak, atık malzemelerin de bir değeri vardır ve atıklar katma değeri yüksek ürünlerin elde edilmesinde kullanılabilirler [12].

Bilindiği gibi ülkemiz Avrupa Birliği uyum süreci içindedir ve süreç içinde uyum taahhüdü verdiği birçok konuda (çevre, tarım, enerji, eğitim, sağlık, yargı, savunma, v.b.) düzenlemeleri yapmak ile yükümlüdür. Uyum süreci içerisinde sorunlu olarak görülenlerden biri, “Çevre” konusu ve alt başlığı olan “Atıklar” konusudur. Bununla birlikte Ülkemiz 23 Ocak 2003 tarihinde üyeliğimizin kabul edildiği AB-Avrupa Çevre Ajansının uyguladığı çevre ve atıklarla ilgili stratejilere de uymak zorundadır. Özellikle teknolojik ve ekonomik değeri olan mermer atıklarının değerlendirilmesi maalesef çok düşük seviyede kalmaktadır. Uyum süreci ve Çevre Ajansına olan üyeliğimiz gereği maden sektöründe de geri dönüşüm stratejilerini uygulamak ve hayata geçirmek Türkiye’nin önemli görevleri arasındadır [13].

Mermercilik sektöründe son yıllarda görülen gelişme sonucunda mermer ocağı ve tesisi sayısındaki artışa paralel olarak mermer artığı miktarı da her geçen gün artmaktadır. Mermercilik faaliyetleri devam ettiği sürece bu artıkların çoğalması ve çevre açısından olumsuz görüntü kirliliği oluşturması da kaçınılmaz bir gerçektir. Bu artıkların yerleşim alanlarından uzaklaştırılması ve çevreye zarar vermeyecek şekilde depolanması gerekmektedir. Ülkemizde düzenli bir atık depolanmasını sağlamak amacıyla “Katı atıkların kontrol yönetmeliği” yayınlanmış olmasına rağmen, diğer katı atık depolamada olduğu gibi mermer artıklarının depolanmasında da vahşi depolama olayı sürmektedir [14].

Atık malzemelerden en büyük faydayı sağlamak için çeşitli sektörlerde kullanılabilirliği son yıllarda üzerinde yoğun bir şekilde çalışılan konulardandır. Beton ve yapı malzemesi sektöründe de çevre kirliliğine neden olan birçok atık maddenin kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Endüstriyel gelişime paralel olarak ortaya çıkabilecek atık malzemelerin faydalı geri kazanım mekanizmaları ile tekrar kullanılabilirliği ve olumsuz çevresel etkilerinin azaltılması üzerine yapılacak çalışmaların çevresel korunum ve insanlığın geleceği açısından çok önemli olduğu belirlenmiştir [15].

Bu bilgiler ışığında tez çalışmamızda büyük çevre sorunları haline gelen endüstriyel atıklardan, mermer toz atıklarının beton sektöründe kullanılabilirliği incelenmiştir. Beton

üretiminde literatürdeki çalışmalarda, genellikle uçucu kül, kireçtaşı tozu ve silis dumanı gibi atık malzemeler kullanılmaktadır. Kullanılabilirliğiyle çevreye verdiği zararı ortadan kaldıracak ve ülke ekonomisine fayda sağlayacak bir başka atık malzeme olan mermer atığı tespit edilmiştir. Kullanılabilecek bu katkılar arasında endüstriyel atık olan mermer tozunun seçilmesinin birkaç önemli nedeni vardır. Bunlardan ilki, ülkeler endüstriyel yönden hızlı ve büyük bir gelişim içerisinde. Bu büyük gelişim insanlık açısından olağanüstü bir öneme sahiptir. Endüstriyel gelişimin yararlarının yanı sıra şüphesiz ki bir takım olumsuz getirileri de göz ardı edilemez bir gerçektir. Endüstriyel gelişimin insanlık ve çevre için olumsuz getirilerinin başında atık maddeler bulunmaktadır. Bu atık maddelerin faydalı geri dönüşüm mekanizmaları ile tekrar kullanılması çevresel korunum yönünden çok büyük öneme sahiptir [15]. Mermer tozu kullanımıyla atık sahalarında biriktirilen mermer tozu atıklarının çevreye verdiği zararların ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Bir diğer sebep, betonarme yapıların kalıcılığını etkileyen kimyasal ve fiziksel işlemlerin hemen hepsinde iki ana faktör vardır: su ve beton bünyesindeki boşluklar ile çatlaklar içindeki taşınım. Gazların, suyun ve zararlı maddelerin beton içine taşınımı ve bunların beton ile etkileşimi, bozulma sürecinin gelişimi açısından çok önemlidir. Taşınımın boyutu, hızı ve etkisi büyük ölçüde beton bünyesindeki boşluk ve çatlakların çapı ve dağılımına bağlıdır. Bu nedenle betonun boşluk yapısına dikkat etmek gerekir. Mermer tozu beton bünyesindeki boşlukları dolduracağından betonda dayanım artışı ve dış etkilere karşı daha dayanıklı bir beton üretilmesi amaçlanmıştır [16]. Bir diğer önemli sebep ise, kaynaklarımızın sınırlı olduğu dünyamızda geri dönüşüm uygulamalarının özellikle inşaat sektöründe potansiyel bir hammadde kaynağı olduğu unutulmamalıdır. Dünyadaki en büyük hammadde ihtiyacı olan sanayilerin başında inşaat sektörü gelmektedir. Dolayısıyla geri dönüşümden; enerji, hammadde tüketilmesinin azaltılması, atık sınırlanması ve faydalanılması bakımından en büyük oranda yarar sağlanacak sektör inşaat sektörüdür [11]. Beton yapımında kullanılan temel malzemeler (çimento, su ve agrega) arasında en pahalı olanı çimentodur. Agreganın maliyeti, çimento maliyetine göre çok düşüktür. O nedenle, istenilen kalitedeki betonu elde edebilmek kaydıyla, betonda mümkün olabildiği kadar çok miktarda agrega kullanılması, betonun daha ekonomik olmasına yol açmaktadır [2]. Atık halinde bulunan mermer tozunun ince agrega olarak betonda kullanılması ile çok daha ekonomik bir beton üretimi sağlanacaktır.

Literatür incelendiğinde daha önce yapılan çalışmalarda mermer tozu genellikle mineral katkı olarak kullanılmıştır. Bunun sebebi, bu malzeme toz olarak kullanıldığından

akla gelen ilk kullanım alanı kendiliğinden yerleşen beton olmasıdır. Mermer tozu kendiliğinden yerleşen betonda verimli bir şekilde kullanıldığından, bu olumlu sonuçlar mermer tozunun beton sektöründeki kullanım alanlarını artıracaktır. Bu tez çalışmasında, beton hacminin en büyük miktarını oluşturan agrega ile çalışılması amaçlanmıştır. Çünkü geleneksel betonda mermer tozunun miktar olarak yerine en çok kullanılabilmesi malzeme ince agregadır. Bu çalışmanın amacı, mermer tozu kullanarak en yüksek dayanımlı betonu elde etmek değil, uygulamada kullanılacak, dayanım ve dayanıklılık (durabilite) özellikleri referans betona yakın ve en yüksek oranda mermer tozu kullanılarak üretilmiş beton karışımlarını tespit etmektir.

Bu tez çalışmasında, öncelikli olarak toz malzeme çeşidi belirlendi. Daha sonra çamur halinde bulunan atığa fiziksel kuvvet uygulanarak toz haline getirildi. Oluşan mermer tozu ile 2 farklı deney grubu oluşturuldu. İlk deney grubunda mermer tozu ince agrega ($D < 4\text{mm}$) ile % 0'dan %90'e kadar ağırlıkça yer değiştirilerek kullanıldı. Diğer deney grubunda ise tane boyutu 1 mm 'nin altında olan ince agrega, mermer tozu ile %0'dan %100'e kadar ağırlıkça yer değiştirilerek kullanıldı. Elde edilen numuneler yardımıyla betonun dayanım ve dayanıklılık özellikleri belirlendi. Sonuç olarak, mermer tozu kullanılarak üretilmiş birçok beton karışımının uygulamada kullanılabilmesi görülmüştür.

2. MERMER

Ülkeler arasında ekonomik açıdan fark yaratan kaynaklardan birisi de madenî kaynaklardır. İnsanoğlu tarihin her döneminde sanat, ısınma, korunma, barınma gibi nedenlerle madenî kaynaklara ihtiyaç duymuştur. Ülkeler geliştikçe ve insan nüfusu arttıkça bu ihtiyaçlar artmış, maden rezervlerinin kullanımı yoğunlaşmıştır. Ülkelerin maden rezervleri açısından zengin olması günümüzün ekonomi piyasasında ön plana çıkabilmeleri ve rekabet edebilmeleri açısından bir avantaj oluşturmaktadır. Zengin maden yataklarına sahip olmak bir ülkenin kalkınması ve gelişmesi için önemli bir girdidir [17].

Yeraltı kaynaklarının kullanımı insanlık tarihi kadar eskidir. Yer altı kaynakları ve doğal taşlar, tarihin ilk zamanlarında insanların beslenme ve savunma amaçlı silah yapımında, daha sonra da konut olarak korunma ve barınma amaçlı olarak insanlığa hizmet etmiştir [18]. Daha sonraki yıllarda, ülkelerin kalkınmalarında ve geleceklerini güven altına almalarında yer altı kaynaklarının öneminin büyük olduğu ortaya çıkmıştır. Yer altı kaynaklarının öneminin anlaşılmasıyla birlikte, sanayileşen ülkeler maden üretebilecekleri bölgeleri paylaşmak amacıyla birbirleri ile savaşmışlar ve bu nedenle de iki dünya savaşı çıkmıştır [19].

Türkiye maden rezervi açısından dünyanın en zengin ülkeleri arasında yer alırken, adeta büyük bir servetin üzerinde yaşıyoruz. MTA verilerinden derlenen bilgilere göre, Türkiye'nin karmaşık jeolojik yapısı çok çeşitli madenlerin ülkede bulunmasına olanak sağlıyor. Türkiye yeraltı kaynakları yönünden dünya madenciliğinde adı geçen 132 ülke arasında toplam üretim değeri itibarıyla 28'inci, maden çeşitliliği itibarıyla 10'uncu sırada yer alıyor. Başta endüstriyel ham maddeler olmak üzere, metalik madenler, enerji ham maddeleri ve jeotermal kaynaklar açısından zengin bir konumda bulunuyor. Günümüzde dünyada ticareti yapılan 90 çeşit madenden 77'sinin varlığı Türkiye'de saptanırken, halen 60 civarında farklı maden ve mineral üretimi yapılıyor. Dünya metal maden rezervlerinin % 0.4'ü, endüstriyel hammadde rezervlerinin % 2.5'i, kömür rezervlerinin % 1'i ve jeotermal potansiyelinin % 0.8'i Türkiye'de bulunuyor [18-19].

Ülkemiz yer altı kaynaklar bakımından önemli birçok madene ve önemli rezervlere sahip olmasına rağmen, ülkemiz için bu konuda yapılan en önemli eleştirilerden birisi, yer altı kaynaklarını etkin şekilde kullanamadığımız ve bunu ekonomik değere dönüştüremediğimizdir.

Ülkemiz için önemli yer altı kaynaklarının önde gelenlerinden birisi mermerdir. Adını, günümüzden yaklaşık 2000 yıl önce antik mermer işletmeciliğinin başladığı yer olan Marmara Adası'ndan alan mermer, pek çok medeniyetin kurulmasında ve kültürlerin gelişmesinde önemli bir rol üstlenmiştir. Sanatkârların el emeği ve göz nuru ile işlenerek insan hayatına giren mermer, uygarlığın ilerlemesine paralel olarak, tapınak, amfi, arena, saray, hamam, köprü, sarnıç, cami, medrese, çeşme gibi işçiliklerde yapı taşı olmanın yanında abide ve heykelcilik gibi süsleme ve sanatsal tasarım amacıyla kullanılmıştır [20].

Binlerce yıl önce insan hayatına giren mermer, önceleri sadece yapı taşı olarak kullanılırken, uygarlığın ilerlemesine paralel olarak süsleme ve sanatsal tasarım amacı ile de kullanılmış ve güncel yaşamdaki önemini günümüze kadar korumuştur [21]. Tarihin her döneminde, değişik alanlarda rastladığımız, uygarlık seviyesine göre kullanım alanları değişen ve her dönemde olduğu gibi günümüzde de önemini koruyan mermer; kalker ve dolomitik yapıdaki kayaçların ısı ve basınç altında değişime uğrayarak kristalleşmesi sonucu oluşan bir çeşit kaya olarak tanımlanmaktadır [22].

Mermerin bilimsel ve ticari olmak üzere iki ayrı tanımı bulunmaktadır.

Bilimsel tanım: Başkalaşım (metamorfizma) süreci geçiren ve başkalaşımın izlerini taşıyan kalker dominit gibi karbonat bileşimli kayaçlara mermer adı verilir. Gerçek mermer olarak da adlandırılan bu kayaçlar, yüksek oranlarda kalsiyum karbonat, daha az oranlarda magnezyum karbonat ve değişik metal oksitler içerirler. Saf oldukları zaman yarı saydam ve beyaz renkli olan mermerler daha sonra uğradıkları biçim değişiklikleri ve kimyasal çözünme süreçleri ilginç renkli görünümler kazanır. Örneğin, sarı, pembe, kırmızı, mavimtrak ve siyah renkli olabilmektedirler. Ayrıca yer hareketleri mermer kayacının kırılarak bu kısımların sonradan kalsitle dolması sonucunda damarların oluşmasına yol açabilir. Böylece ortaya çok hoş görünümlü, breşli ya da damarlı mermerler ortaya çıkar [23].

Ticari tanım: 3213 sayılı Maden Kanunu'na göre ticari standartlara uygun boyutlarda blok verebilen, kesilip parlatılan veya yüzeyi islenebilen ve taş özellikleri kaplama taşı normlarına uygun olan her türden taş (tortul, magmatik ve metamorfik) ticari dilde mermer olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlamanın içindeki hakiki mermerin yanında iyi parlatılabilen kalker, traverten, kumtaşı gibi tortul; gnays, kuvarsit gibi metamorfik; granit,

siyenit, serpantin, andezit, bazalt gibi magmatik taslar da mermer olarak isimlendirilmektedir [24].

Yukarıda genel olarak iki başlık altında toplamış olduğumuz tanımlar haricinde çeşitli çalışmalarda farklı yaklaşımlarla tanımlamalar yapılmıştır. Bu yaklaşımlar şunlardır:

Jeolojik Tanım: Farklı yaklaşımlardan jeolojik tanımla mermer, “alçak veya yüksek saflıklarda yeniden kristalleşmiş kalkerli kaya” olarak ifade edilmektedir [25].

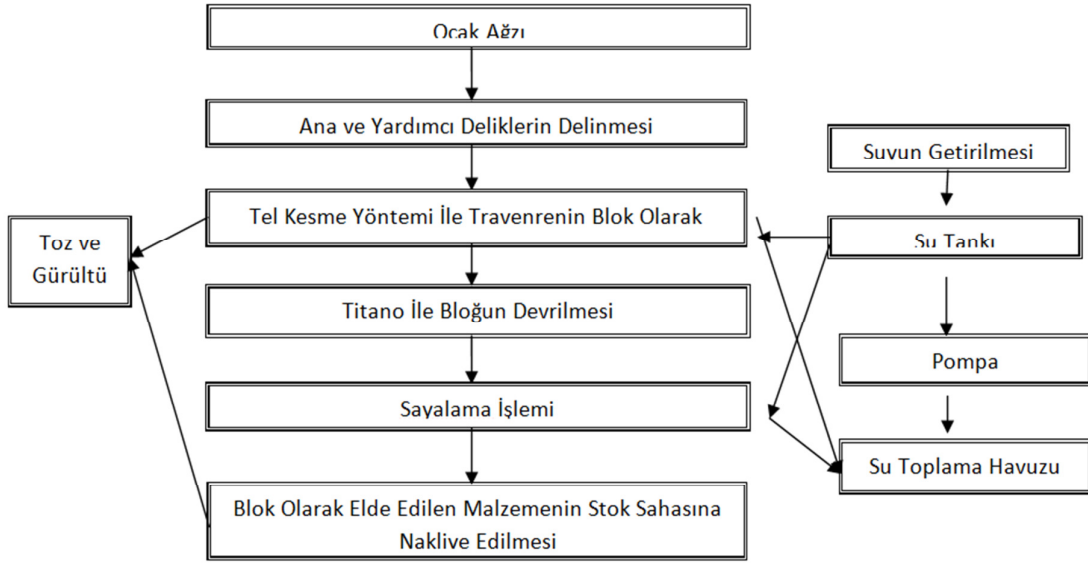
Petrografik Tanım: Petrografik tanımla “jeolojik oluşumları bakımından aynı büyüklükteki kalsit kristallerinin oluşum esnasında geçirmiş oldukları değişim çeşidine göre söz konusu kristallerin aralarında hiç boşluk kalmaksızın meydana getirmiş oldukları yapı şeklinde tanımlanmıştır [26].

Mermer esas olan kireç taşlarının çökeli (sedimentasyonu) ve oluşumu prekambriyen de (700-800 milyon yıl) başlamış ve günümüze kadar devam etmiştir. Mermerin milyonlarca yıl sürecek yolculuğunda çökelleme ve tortullaşma ile beraber gömülme ve bunun sonucu oluşan basınç ve ısı faktörleri yavaş yavaş ortaya çıkmaya başlar. CaCO_3 ‘lü malzeme basınç altında zamanla bünyesindeki suyu atarak taşlaşır [27]. Kireçtaşından oluşan mermer hem kalsiyum karbonat, hem de magnezyum karbonat içerebilmektedir. Bunların içinde az miktarda kuvars, grafit, hematit, limonit, pirit, mika, klorit gibi mineraller de bulunabilmektedir. Bu mineraller mermere değişik renkler ve damarlı bir görünüm kazandırmaktadırlar [28,29].

Herhangi bir mermer oluşumuna ocak işletmeciliği açısından bakıldığında; yeterli rezerve sahip olması, yani işletme için 30-50 yıllık üretimi karşılayacak rezervin bulunması, gruplanmış şekilde olsa da renk-desen homojenliğinin sağlanması ve mermer yatağında gelişmiş süreksizliklerin teorik olarak en az 4.5 m^3 boyutlu, değerli mermerlerde ise 1.5 m^3 boyutunda blok üretimine uygun olması aranır [22]. Mermer olabilecek, yani mermer şeklinde kullanılacak bir taş kütlelerinin sahada aranan en büyük özelliği blok verebilmesidir. Blok verebilen ve bloklar halinde üretilen taşlar geniş yüzeyli kesilebilmektedirler. Ne kadar yüksek vasıfta ve ne cinsten olursa olsun blok veremeyen taştan mermer olarak yararlanılamaz [29].

Mermerin kullanımı yönünden bakıldığında ise, levha üretiminde problem yaratabilecek sert veya zayıf zonlar içermemesi, kısa sürede ve tüm levha yüzeyinde eşit miktarda cila alması, fiziksel, jeomekanik ve kimyasal özelliklerinin ilgili standartların gerektirdiği şartları sağlaması, üretilen mermerlerin atmosferik ve kimyasal etkilere dayanıklı olması gibi özellikler taşınması beklenir. [22]

Yataklanma durumları ve jeolojik yapıları göz önünde bulundurularak açılan mermer ocaklarından, düzgün geometrik şekillerde bloklar alınır. Bu bloklar fabrika ve teknik donanımlara sahip tesislerde kesilerek plaka haline getirilir. Silme ve cilalama işlemlerinin uygulanması sonucu, pürüzsüz bir yüzeye sahip olan mermer plakalarının istenilen ölçülerde kenar ve köşeleri kesilerek hazır hale getirilir [21]. Şekil 2.1’de mermer ocağının iş akım şeması verilmektedir.



Şekil 2.1 Mermer ocağı iş akım şeması [17,21]

Mermer üretiminin yapılacağı alanda bitkisel toprak yok denilecek kadar azdır. Planlanan alanda genellikle mostralar gözlenmektedir. Şekil 2.1’de de görüldüğü gibi, ilk önce tespit edilen mermer cevherine ana ve yardımcı delikler delinir. Delikler delindikten sonra düz bir zeminde bulunan su tankından pompa vasıtasıyla deliklere su taşınması işlemi gerçekleştirilir. Su kullanılmasındaki amaç telin soğutulması sağlanarak kopmasını engellemektir. Daha sonra delinen deliklerden tel geçirilerek mermer blok halinde kesilir. Kesilen mermer blok titano yardımı ile yıkılır. Yıkıldıktan sonra sayalama işlemine tabi tutularak daha küçük bloklara ayrılması sağlanır. En son olarak traverten blok kamyonlara yüklenerek stok sahasına sevkiyatı yapılır. Mermer sahasında oluşacak olan pasa madencilik faaliyetlerinin sona ermesi ile dolgu malzemesi olarak kullanılmak üzere mermer pasa sahasında depolanacaktır [30].

Elde edilen bloklar oluşum esnasındaki şartlara bağlı olarak farklı renk, desen ve kaliteye sahiptirler. Bu özellikler dikkate alınarak çeşitli şekillerde sınıflandırmalar yapılır. Bu sınıflandırmalar dikkate alındığında Türkiye'nin 80 bölgesinde 150'den fazla değişik özelliklerde mermer rezervi bulunduğu araştırmalar sonucunda gözlemlenmiştir.

2.1.Mermerin Sınıflandırılması

Mermerler, oluşum esnasındaki şartlara bağlı olarak farklı mineralojik, kimyasal ve yapısal özelliklere sahip olmaktadır. Buna bağlı olarak, mermerler jeolojik ve ekonomik olmak üzere iki ana başlık altında aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır [31,32].

2.1.1.Jeolojik Sınıflandırma

Jeolojik olarak mermeri mineralojik ve kökenlerine (Oluşumlarına) göre olmak üzere iki ana grupta sınıflandırabiliriz.

2.1.1.1.Mineralojik Sınıflandırma

Mermerler oluşumları sırasında yerin değişik derinliklerinde, değişik sıcaklık ve basınç altında mineralojik, kimyasal ve yapısal değişiklikler sonucunda oluşmuştur ve bunun sonucunda bünyelerine giren çeşitli minerallere göre renklenme ve yapısal olarak bir takım değişimler gösterir. Bu değişimlere göre mermerleri kristal boyutuna ve mineral bileşim oranlarına göre de bir sınıflama söz konusudur [31,32].

2.1.1.1.1.Mermerlerin Kristal Boyutuna Göre Sınıflandırma

Mermerler mikroskop altında incelendiğinde veya çıplak gözle bakıldığında kristal taneciklerinde meydana geldiği görülür. Bu taneciklerin boyutlarına göre mermerler sınıflandırılır [33]. Bu durum Tablo 2.1. de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Mermerlerin Kristal Boyutuna Göre Sınıflandırılması [34]

Kayaç Cinsi	Kristal Boyutu
İnce Kristalli Mermer	< 1 mm
Orta Kristalli Mermer	1 mm-5 mm
İri Kristalli Mermer	5 mm-20 mm

2.1.1.1.2.Mineral Bileşim Oranlarına Göre Sınıflandırma

Mermerler, mineral bileşimlerine ve içerisinde bulunan minerallerin oranlarına göre Tablo 2.2’de sınıflandırılmaktadır.

Tablo 2.2. Mermerlerin Mineral Bileşim ve Oranlarına Göre Sınıflandırma [35]

Cinsi	Diğer Mineraller	Kalsit %	Yapı-Doku
Mermer	Mika, Opak, Kuvars	95	Masif- Taneli
Kalsit	Klorit, Epidot, Mika, Lepidolit	60-70	Sist- Yönlü
Sopolen	Flogopit, tremalit, diyopsit, plajiyoklas, giona	80	Sist, yönlü
Mermer Skarn	Epidot, diyopsit, granat, olivin, plajiyoklas	80 – 90	Masif, taneli

2.1.1.2. Mermerlerin Jeolojik Kökenlerine Göre Sınıflandırılması

Mermerler jeolojik olarak; metamorfik, sedimanter ve magmatik kökenli olmak üzere üç kısma ayrılırlar [36,37].

2.1.1.2.1.Sedimanter (tortul) mermerler:

Tortullaşma olayının çeşitli yolları ile oluşan kayalara tortul kayaları veya sedimanter kayalar adı verilir. Sedimanter, magmatik ve metamorfik kayalardan kopan parçaların sürüklenerek bir yerde birikmesi ve daha sonra çimento maddesi ile birleşmesi sonucu oluşan kalkerin yanı sıra konglomera, gre, arduvaz gibi detritik veya klastik kökenli mermerler olabileceği gibi, su kaynaklarından meydana gelen oniks mermeri, traverten ve kireçtaşı gibi organik veya kimyasal kökenli mermerlerdir. Bu tür kayalar genellikle tabakalıdır ve çoğu kez fosil içerirler [38,39].

Sedimanter mermerler kendi içinde özelliklerine göre ikiye ayrılır.

i. Detritik veya kalsitli sedimanter mermerler: Çeşitli kayaçların parçalanıp sürüklenerek bir yerde birikmesi ve daha sonra bir ara madde ile çimentolanması sonucu oluşurlar. Konglomera, gre, breş, arduvaz, puding, grovak gibi kayaçlar bu oluşumlara örnek olarak verilebilirler. [40]

ii. Organik ve kimyasal sedimanter mermerler: Suda erimiş olan kalsiyum ve magnezyum karbonat, fiziksel koşulların değişmesiyle kimyasal olarak ya da organizmaların etkisiyle çökeler. Su içerisindeki karbondioksit oranına bağlı olarak ve içerisindeki organizmaların etkisiyle geçtiği yerdeki kalkerli eritir ve bunları taşıyarak farklı bir yerde çökeltir. Kalkerlerin taşınması soğuk su ile olursa çökeldiği yerde oniks mermerleri, sıcak su ile oluşursa traverten mermerleri oluşur. Ayrıca dolomit ve mikritik kalkerler de içerisinde yer alırlar. [40]

2.1.1.2.2.Magmatik Oluşumlu Mermerler

Yerkabuğunun altındaki magmanın yeryüzüne çıkması veya yerkabuğuna sokulması sonucu oluşmuş granit, siyenit, serpantin, diyabaz, bazalt, andezit, gabro gibi kayaçlardır. Sedimanter mermerlere oranlara çok daha dayanıklı olmakla beraber çıkarılması ve işlenmesi oldukça güçtür. [27,32]

Magmatik oluşumlu mermerler kendi içinde, derinlik, yüzey ve damar kayaçları olarak üçe ayrılır.

i. Derinlik kayaçları: Çıkartılması kolay olmasına rağmen işlenmesi zor olan granit adı verilen kayaçlardır. İyi cila kabul eden bu kayaçlardan bazıları siyonit, diyorit, peridotif, norit, verlit v.s. [31]

ii. Yüzey kayaçları: Bu gruptaki kayaçların işlenmesi çok zor olmaktadır. Fakat dayanıklı olmaları ve cilalarını uzun süre koruyabilmeleri nedeniyle özellikle inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları kuvars, porfir, bazalt, andezit, tragit, diyebaz v.s. [31]

iii. Damar kayaçları: Yer kabuğunun derinliklerinde yer alan magmanın yüzeye yakın kayaçların yarık ve çatlaklarına sokularak burada soğuması sonucu oluşan kayaçlardır. Porfir ve aplit gibi kayaçlar bu gruba girerler [40]

2.1.1.2.3. Metamorfik Mermerler

Sedimanter ve magmatik kökenli kayaçların değişen basınç ve sıcaklık koşullarının etkisi ile katı halde, mineralojik ve dokusal başkalaşıma uğramaları sonucu oluşurlar. Mermercilik açısından çok önemli olan ve petrografide mermer olarak tanımlanan kayaç, kalker ve dolomitik kalkerlerin başkalaşıma uğraması sonucunda oluşmuştur. Mermer, gnays, amfibolit, spolen, şist, fillit ve eklojit gibi kayaçlar bu grup içerisinde yer alırlar. Renkleri genellikle beyaz ve açık gridir [21,32].

2.1.2. Mermerlerin Ekonomik Yönden Sınıflandırılması

Mermer olarak kullanılan kayaçların mineralojik yapısı ve dokusuna bakılmaksızın bilimsel tanımlamalar dışında yapılan sınıflandırmalardır [40]. Bu sınıflandırma uluslararası belirlenmiş bir kural ve bağlantısı olmadan mermer satıcı ve işleyicileri arasında kullanılan kayaçların renk, desen, sertlik ve albenisi gibi özellikleri göz önüne alınarak yapılmaktadır. Sınıflandırmada en belirleyici ölçü mermerin fiziksel yapısı ve cila alma özelliğidir [31]. Buna göre mermerleri;

- **Normal mermerler:** Mermer, dolomit, konglomera gibi
- **Sert mermerler:** Granit, serpantin, diyabaz gibi
- **Traverten ve oniks mermerler**

olarak sınıflandırmak mümkündür [21].

2.1.2.1. Mermerlerin Sertliklerine Göre Sınıflandırılması

Mermerlerin sahip oldukları sertlik düzeyine göre yapılan sınıflandırmadır. Çizilebilirlik esasına göre belirlenen ve en yaygın mineral sertlik özellik belirleme yöntemi Moh's skalasına göre belirlenen sertlik değeri mermerin kesilebilirlik, işlenebilirlik özellikleri yanında mermerin cila alma kapasitesini de etkileyen bir özelliktir. Buna göre mermerler Tablo 2.3.de görüldüğü gibi sınıflandırılabilir:

Tablo 2.3. Mermerlerin Sertliklerine Göre Sınıflandırma [36]

MERMERLER			
Yumuşak Mermerler		Sert Mermerler	
Moh' s Değeri : 3,5 - 4		Moh' s Değeri : 6 – 7	
Açık Renkli	Koyu Renkli	Açık Renkli	Koyu Renkli
Mermerler	Renkli Mermerler	Granit	Diyabaz
Metamorfik Kalker	Renkli Met. Kayaçlar	Siyenit	Gabro
Şistler	Yeşil Şistler	Kuvars	Serpantin
Diğerleri	Diğerleri	Diyorit	Ultrabazik

2.1.2.2.Mermerlerin Ticari Pazara Göre Sınıflandırılması

Mermerin tanımını ticari açıdan düşündüğümüzde daha farklı bir tablo ile karşılaşırız. Kesilip parlatılabilen tüm taşlar ticari anlamda mermer adı altında anılmaktadır. Bunlar başlıca gerçek kristalize mermerler, serpantin itler gibi metamorfik kayaçlar, mikritik kireçtaşları, neojen kireçtaşları, travertenler, kumtaşları vb. tortul kayaçlar olabildiği gibi andezit, granit, siyenit, granodiyorit, labradorit, çeşitli tüfitler vb. gibi mağmatik ve volkanik taşlar da olabilir.

Mermerleri ticari açıdan sınıflarken başlıca iki grup altında toplayabiliriz [41]:

- A. Parlatılarak kullanılanlar,
- B. Parlatılmadan Kullanılanlar

A. Parlatılarak Kullanılanlar

• Beyaz Mermerler;

Örn.; Afyon Beyazı, Muğla Beyazı, Sandıklı Beyazı, Uşak Beyazı, Milas Beyazı, Afyon Şeker, Muğla Şeker, vb. taşlar bu gruba girerler.

• Renkli Mermerler;

Örn.; Elazığ Vişne, Ege Bordo, Eskişehir Süpreni, Balıkesir Kumrutüyü, Ege Roze, Ege Kahve, Akdeniz Kırmızısı, Toros Siyahı, Karacabey Siyahı, Akşehir Siyahı, vb. taşlar bu grupta yer alırlar.

• **Bejler;**

Örn.; Burdur Beji, Rosalia, Çeşme Beji. Golpazarı Bej, Bursa Beji, Sivrihisar Beji, Antik Bej, Akhisar Beji, Kum Beji, vb. taşlar bu gruba girerler.

• **Travertenler;**

Örn.; Denizli Traverteni, Bucak Traverteni, Muğla Traverteni. Konya Traverteni, Afyon Traverteni, vb. taşlar bu grupta yer alırlar.

Oniksler;

Örn.; Balıkesir Gül Oniks, Demirci Yeşil Oniks, Demirci Bal Oniks, Yazıbaşı Oniks, Tokat Oniks, vb. taşlar bu gruba dahil edilebilirler.

• **Sert Taşlar;**

Örn.; Giresun Vizon, Aksaray Yaylak, Aksaray Dune, Bergama Graniti, Kırşehir Kaman Graniti, Çankırı Serpantini vb. magmatik ve metamorfik kayalar bu grubu oluştururlar.

B. Parlatılmadan Kullanılanlar

Bu sayılanlar dışında bir de parlatılmadan doğal hali ile kullanılan taşlar da son zamanlarda dikkati çekecek ölçüde yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu taşlar arasında Kayrak Taşı, Çanakkale Taşı, Foça Taşı ve Çeşme Taşı gibi Üretildiği bölgenin adı ile anılan taşlar, tüfit ve neojen kireçtaşları, Bazalt, Andezit, Granit, vs. sayılabilir. Adı geçen taşlar üretildikten sonra gerek kesme makinelerinde kesilerek, gerek özel makinelerde parke taşı halinde gerekse de doğadan çıkarıldığı gibi ve herhangi bir İşleme tabi tutulmadan kullanıma sunulabilmektedirler.

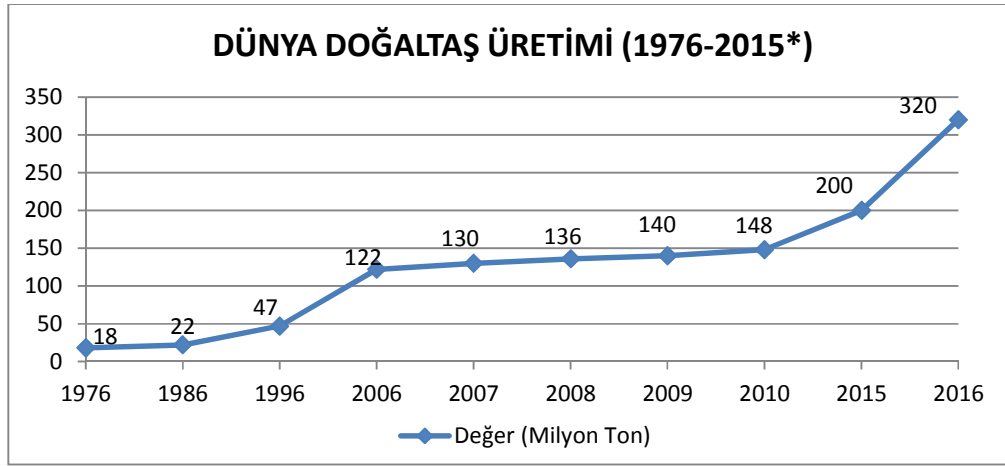
Maden kanununa göre parlatılarak kullanılan taşların üretimleri mermer ocaklarında, parlatılmadan kullanılan taşların üretimleri ise taş ocaklarında olmaktadır. Mermer ve taş ocaklarının işletilmeleri teknik açıdan farklı özellikler içerdiği gibi hukuki açıdan da farklı prosedürlere tabidir.

2.2. Dünya’da ve Türkiye’de Mermer Üretimi

Mermerin tarihi insanoğlunun tarihi kadar eskidir. İnsanlar tarih boyunca değişik amaçlarla bu taşları kullanmışlardır. Günümüzde de aynı şekilde birçok yerde çok yaygın olarak kullanılmaktadır [37].

Dünyada mermer üretimi ve tüketimi, 1970’li yıllara kadar önemli bir gelişme göstermemiştir. Ancak 1970’li yıllardan itibaren nakliye imkânlarının gelişmesi ve teknolojik gelişmeler sonucu üretim ve tüketim artmış halen de artmaya devam etmektedir. Mermer tüketimi, ülkelerin milli gelir ve refah düzeyi ile doğru orantılıdır [42].

Geçmişten günümüze doğal taş üretimi ve gelecekteki tahmini doğal taş üretimini gösteren aşağıdaki grafikten de görüleceği üzere, gün geçtikçe yükselen üretim miktarı 2015 yılında tahmini olarak 300 milyon tonu aşacaktır [23,45].



Şekil 2.2 Dünya doğal taş üretimi

Dünya genelindeki yayılımına bakılacak olursa, genel hatlarıyla Alp - Himalaya kuşağı içinde kalan Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan, Türkiye, İran, Pakistan gibi ülkelerde karbonatlı kayaç (mermer, kireçtaşı, traverten ve oniks) rezervlerinin fazla olduğu görülmektedir. İşletilebilir magmatik kayaç (sert taş) rezervlerinin İspanya, Norveç, Finlandiya, Ukrayna, Rusya, Pakistan, Hindistan, Çin, Brezilya ve Güney Afrika'da kümelendiği dikkati çekmektedir [19].

Dünya mermer rezervlerine ilişkin sağlıklı sayısal verilere ulaşmak oldukça güçtür. Dünyada üretilen mermerin hemen hemen tamamına yakını tüketilmekte olup önemli bir stok yapılmamaktadır. Bu nedenle dünya bazında, mermer üretim ve tüketim miktarı eşit kabul etmek yanlış olmayacaktır.

Özellikle son yıllarda büyük firmaların yapmış oldukları yatırımlarla işletmecilikte büyük boyutlu üretim sağlayan modern ekipmanların kullanımına geçilmiştir. Ocak üretiminde uygulanan modern teknolojilerle birlikte Türkiye doğal taş üretiminde dünyada en büyük üretici yedi ülkeden biri olmuştur [46].

Tablo 2.4 En büyük mermer üretici ülkeler [46]

Ülkeler	Üretim Miktarı (Ton)
Çin	11.000.000
İtalya	8.700.000
İspanya	4.500.000
Hindistan	4.500.000
Brezilya	2.000.000
Kore	2.000.000
Türkiye	2.000.000

Tablo 2.4'deki ülkelerde mermer üretiminin diğer ülkelere göre fazla olmasının nedeni mermer çeşitliliğinin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Avrupa, Asya, Afrika, Amerika ve Avustralya kıtalarının sahip oldukları ve işlettikleri taş türleri Tablo 2.5 – 2.9'de belirtilmiştir.

Tablo 2.5. Avrupa Kitasında Doğaltaş Bulunan Ülkeler ve Türleri [43]

ÜLKE ADI	MERMER VARLIKLARI
Almanya	Kalker, granit, diyorit ve diğer magmatik tas rezervleri bulunmaktadır. Bu yataklar halen işletilmektedir.
Avusturya	Bej ve gri renkli kalker yatakları ile serpantin rezervleri bulunmaktadır.
Belçika	Kireçtaşı rezervleri bulunmaktadır. Devoniyen yaşlı siyah kalker rezervleri önemlidir.
Bulgaristan	Mermer, kireçtaşı ve granit oluşumları bulunmaktadır.
Çekoslovakya	Kalker, breş ve granit oluşumları bulunmaktadır.
Finlandiya	Granit, siyenit ve labradorit yatakları önemlidir.
İngiltere	Değişik renk ve litolojide mermer yatakları bulunmaktadır. Özellikle gri renkli granitleri halen işletilmektedir.
İspanya	Kireçtaşı, mermer ve granit rezervleri bulunmaktadır. Açık pembe renkli zengin granit rezervlere sahiptir.
İsveç	Granit, siyenit ve labradoritten oluşan magmatik tas yatakları önemlidir.
İsviçre	Bej ve gri renkli kireçtaşı rezervleri bulunmaktadır.
İtalya	Her türlü kayacın mermer olarak değerlendirildiği bu ülkede Carrara mermer yatakları, Sardunya granitleri çok önemlidir. Bunun dışında zengin kireçtaşı ve mermer rezervleri bulunmaktadır.
Norveç	Granit, diyorit, siyenit ve labradorit yatakları bulunmaktadır.
Portekiz	Kalker, mermer ve granit yatakları bulunmaktadır.
Ukrayna	Granit ve labradorit mermer yatakları bulunmaktadır.
Yugoslavya	Kireçtaşı, mermer ve traverten yatakları bulunmaktadır.
Yunanistan	Kalker, mermer ve serpantin yatakları bulunmaktadır.
Türkiye (Avrupa Yakası)	Mermer, kalker, granit ve gnays yatakları mevcuttur.

Tablo 2.6. Asya Kıtasında Doğaltaş Bulunan Ülkeler ve Türleri [43]

ÜLKE ADI	MERMER VARLIKLARI
Azerbaycan	Granit oluşumları yer almaktadır.
Çin	Değişik renk ve desenlerde kireçtaşı, mermer ve magmatik tas rezervlerine sahiptir
Güney Kore	Değişik renk ve desenlerde kalker ve granit rezervlerine sahiptir
Hindistan	Değişik renkli kalker ve mermer, granit, gabro ve diyorit rezervleri vardır.
Hong Kong	Kalker ve magmatik rezervleri vardır.
İran	Kalker, mermer, oniks ve traverten rezervleri vardır.
Japonya	Kalker, gabro, granit ve diyorit rezervleri vardır.
Kuzey Kore	Değişik renk ve desenlerde kalker ve granit rezervlerine sahiptir
Suudi Arabistan	Kalker, granit ve magmatik tas rezervleri vardır.
Türki Cumhuriyetler	Kalker ve magmatik rezervleri vardır.
Türkiye (Anadolu Yakası)	Değişik renk ve desenlerde kalker, diyabaz, gabro, diyorit, oniks, traverten ve granit rezervlerine sahiptir

Tablo 2.7. Afrika Kıtasında Doğaltaş Bulunan Ülkeler ve Türleri [43]

ÜLKE ADI	MERMER VARLIKLARI
G. Afrika Cum.	Farklı renk ve desende çok geniş granit ve diğer magmatik tas rezervlerine sahiptir.
Kongo	Kalker, granit, gabro, diyorit ve amfibolit rezervleri vardır
Mısır - Sudan	Kalker, granit, gabro, siyerit ve diyorit rezervleri vardır
Mozambik	Kalker, granit ve siyenit rezervleri vardır
Nijerya	Kalker ve granit rezervleri vardır

Tablo 2.8. Amerika Kıtasında Doğaltaş Potansiyeli Bulunan Ülkeler ve Türleri [43]

ÜLKE ADI	MERMER VARLIKLARI
A.B.D.	Kalker, breş, konglomera, granit; siyenit, serpantin ve diyabaz oluşumları vardır
Arjantin	Zengin oniks, kalker ve granit rezervleri bulunmaktadır.
Brezilya	Çok geniş granit rezervleri bulunmaktadır. Bunun dışında kalker ve oniks vardır.
Kanada	Granit ve serpantin rezervleri bulunmaktadır.
Meksika	Oniks, traverten ve kalker rezervleri vardır.

Tablo 2.9. Okyanusya Kıtasında Doğaltaş Potansiyeli Bulunan Ülkeler ve Türleri [43]

ÜLKE ADI	MERMER VARLIKLARI
Avustralya	Çok farklı türde mermer rezervlerine sahiptir. Son yıllarda granit yatakları işletilmeye başlamıştır.
Endonezya	Bazı adalarda kalker, granit ve diyorit rezervleri bulunmaktadır.
Yeni Zelanda	Kalker ve granit oluşumları bulunmaktadır

Mermer madeninin hem çıkarılması hem de işlenerek ihraç edilmesi konularında Türkiye, Yunanistan, İspanya, İtalya, Brezilya, ÇHC, Hindistan, G. Kore gibi ülkeler önde gelen ülkeler olarak dikkat çekmektedir. Bununla birlikte mermeri blok halinde alıp işleyen ülkeler ise İsrail, Almanya, Fransa, Suudi Arabistan, İngiltere, Japonya gibi ülkelerdir (Tablo 2.11-2.14) [26].

Bu ülkeler arasında İtalya ve Çin sektör liderleri olarak kabul edilmektedir. Özellikle İtalya, zengin mermer ve granit rezervlerinin yanı sıra üretim ve işleme teknolojisinin de merkezi durumundadır. Çevreci grupların baskısı, rezervlerdeki azalma ve değişik türdeki mermerleri dünya pazarına sunmadaki öncelik arzusu nedeni ile İtalya, aynı zamanda, bugün en büyük blok ithalatçısı durumunda olup, Carrara ve Verona bölgeleri sektörün endüstriyel kümelenme alanları olarak öne çıkmaktadır [44]. 2009 ve 2010 yılları arasında bazı sektörde önde gelen ülkelerin performansları Tablo 2.10'da gösterilmiştir.

Tablo 2.10. Doğal taşlar ülke performans raporu [23]

ÜLKE	OCAK-ARALIK 2009		OCAK-ARALIK 2010		PAY (%)
	MİKTAR (TON)	DEĞER (USD)	MİKTAR (TON)	DEĞER (USD)	
Çin halk cumhuriyeti	2.154.080	353.566.100	3.377.391	596.043.148	38
ABD	359.672	207.834.224	383.745	218.760.374	14
İrak	94.530	33.063.727	237.423	71.663.374	5
İngiltere	77.732	51.082.410	75.306	47.783.159	3
S. Arabistan	144.157	43.405.643	126.191	45.772.049	3
Kanada	41.467	33.153.105	51.569	44.954.512	3
Hindistan	133.477	35.454.479	159.539	43.428.071	3
Libya	94.288	38.695.035	114.338	41.907.593	3
Fransa	48.149	26.567.121	63.905	32.676.155	2
İsrail	102.747	26.413.584	85.404	31.111.390	2
Diğer ülkeler	1.746.916	391.707.021	1.966.096	394.119.364	25
Genel toplam	4.997.214	1.240.942.451	6.640.908	1.568.219.189	100

Tablo 2.11 2009 Ham Mermer Ve Traverten İhracatı [45]

Ülke	Değer (\$)	Net Ağırlık(kg)	Fiyat (\$/ton)	Değer Payı (%)	Miktar Payı (%)
Türkiye	424.675.583	2.929.773.851	145	37.41	39.93
İtalya	284.626.595	1.073.015.865	265	25.07	14.62
Portekiz	57.971.931	298.677.637	194	5.11	4.07
Yunanistan	51.907.308	232.631.739	223	4.57	3.17
Suriye	26.058.901	619.705.792	42	2.30	8.45
Libya	24.965.736	204.996.652	122	2.20	2.79
Hindistan	24.728.111	164.436.828	150	2.18	2.24
Makedonya	19.310.561	57.957.988	333	1.70	0.79
Mısır	17.935.589	149.775.406	120	1.58	2.04
Endonezya	16.871.988	106.720.960	158	1.49	1.45
Umman	16.242.633	106.462.470	153	1.43	1.45
Pakistan	15.829.773	61.589.000	257	1.39	0.84
İspanya	14.843.167	47.147.734	315	1.31	0.64
Almanya	12.812.000	67.560.600	190	1.13	0.92
Tunus	12.212.122	100.721.004	121	1.08	1.37
BAE	12.194.189	21.868.510	558	1.07	0.30
Çin	9.439.097	62.106.383	152	0.83	0.85
Meksika	7.820.077	34.585.087	226	0.69	0.47
Hollanda	7.634.986	16.340.005	457	0.67	0.22
Fas	7.373.870	45.540.024	162	0.65	0.62
Diğerleri	69.686.905	936.359.355	74	6.14	12.77
Toplam	1.135.141.117	7.337.972.890	155	100	100

Tablo 2.12 2009 Yılı Mermer Ve Traverten İthalatı [45]

Ülke	Değer (\$)	Net Ağırlık (kg)	Değer Payı (%)	Miktar Payı (%)
Çin	864.386.681	5.089.817.373	19.79	42.29
ABD	690.014.774	757.526.000	15.80	6.29
G.Kore	215.276.165	325.778.019	4.93	2.71
S.Arabistan	168.935.552	339.873.853	3.87	2.82
Hindistan	162.608.080	384.333.234	3.72	3.19
BAE	159.124.147	224.229.391	3.64	1.86
İtalya	127.818.475	409.960.814	2.93	3.41
Britanya	114.179.160	114.147.500	2.61	0.95
Kanada	91.888.941	108.476.652	2.10	0.90
Fransa	90.682.158	91.895.333	2.08	0.76
Singapur	74.730.005	71.398.604	1.71	0.59
Almanya	71.018.000	90.234.275	1.63	0.75
Libya	67.141.775	301.616.220	1.54	2.51
Hong Kong	57.067.842	92.930.209	1.31	0.77
İspanya	56.846.083	112.365.602	1.30	0.93
Yunanistan	51.465.991	229.493.413	1.18	1.91
Fas	50.526.770	150.164.109	1.16	1.25
Rusya	47.829.861	63.890.953	1.09	0.53
Özbekistan	47.665.035	12.635.551	1.09	0.10
Belçika	43.921.393	102.025.557	1.01	0.85
Diğerleri	1.115.113.493	2.963.453.992	25.53	24.62
Toplam	4.368.240.381	12.036.246.654	100	100

Tablo 2.13. 2009 İşlenmiş Mermer Ve Traverten İhracatı İlk 10 Ülke [45]

Ülke	Değer (\$)	Net Ağırlık (kg)	Fiyat (\$/ton)	Değer Payı (%)	Miktar Payı (%)	Olası İhracat Değeri (\$)	Fark (\$)
Çin	866.526.746	1.371.483.160	632	26.89	29.35	879.949.957	-179.617.326
İtalya	732.534.783	591.734.670	1.238	22.73	12.66	1.724.120.904	-1.023.788.273
Türkiye	700.332.631	1.392.728.561	503	21.73	29.80	700.332.631	0
İspanya	188.318.599	240.345.923	784	5.84	5.14	1.091.246.684	-390.914.053
Yunanistan	126.890.798	98.760.864	1.285	3.94	2.11	1.789.417.704	-1.089.085.073
Portekiz	99.889.908	143.831.510	694	3.10	3.08	967.239.570	-266.906.939
Umman	89.802.388	166.182.688	540	2.79	3.56	752.607.580	-52.274.949
Meksika	56.194.292	62.204.770	903	1.74	1.33	1.258.157.460	-557.824.829
Mısır	52.020.008	119.313.465	436	1.61	2.55	607.221.917	93.110.714
Hindistan	34.453.156	84.607.843	407	1.07	1.81	567.132.936	133.199.695
Diğerleri	275.314.139	402.001.212	685	8.56	8.61	953.822.658	-253.490.027
Toplam	3.222.277.448	4.673.194.666	690	100	100	960.319.044	-259.986.413

Tablo 2.14 2009 İşlenmiş Mermer Ve Traverten İthalatı İlk 10 Ülke [45]

Ülke	Değer (\$)	Net Ağırlık (kg)	Fiyat (\$/ton)	Değer Payı (%)	Miktar Payı (%)
ABD	686.211.706	751.948.000	913	15.71	6.25
G.Kore	214.619.978	323.812.575	663	4.91	2.69
S.Arabistan	162.525.142	323.472.199	502	3.72	2.69
BAE	146.929.958	202.360.881	726	3.36	1.68
Britanya	90.113.628	88.426.616	1.019	2.06	0.73
Kanada	90.058.705	103.958.841	866	2.06	0.86
Fransa	76.290.434	75.522.133	1.010	1.75	0.63
Hindistan	58.363.679	66.487.962	878 \$	1.34	0.55
Almanya	56.205.000	53.941.275	1.042 \$	1.29	0.45
Hong Kong	52.575.376	81.196.198	648 \$	1.20	0.67

Bu sektörde görülen uluslararası rekabet daha çok İtalya, İspanya, son yıllarda kendini bu konuda geliştiren ülkemiz, Hindistan ve Çin arasında yaşanmaktadır. Bu ülkelerin ithalat ve ihracat performanslarına bakıldığında özellikle taşların işlendiği bölgelere daha çok getiri sağladığı görülecektir. Ancak doğal taşların yakınında bulunduğu yere, gerek taşıma giderleri, gerek üretim kayıpları göz önünde bulundurulduğunda, daha fazla getiri sağlayacağı değerlendirilirse, bununda ülkemiz için ciddi bir avantaj olacağı aşikârdır [23].

Türkiye jeolojik yapısı, mermer çeşitliliği ve rezerv büyüklüğü ile dünya doğal taş piyasasında söz sahibi olmuştur. Ülkemiz mermer rezervi ile dünya rezervlerinin %40'ı gibi yüksek bir orana sahiptir. Sahip olunan bu yüksek oranlı mermer rezervler açısından Türkiye hiçbir zaman sıkıntı çekmeyecek ülkeler arasında yer almaktadır.

Ülkemizin mermer rezervleri tam olarak bilinmemesine rağmen çeşitli kaynaklar ve jeolojik etüt raporlarının taranmasıyla DPT (1996-b) tarafından şu şekilde hesaplanmıştır:

Tablo 2.15 Türkiye’de mermer rezerv miktarları [23]

	M ³	Ton
Bilinen Rezervler	589.000.000	1.590.000.000
Muhtemel Rezervler	1.545.000.000	4.171.000.000
Mümkün Rezervler	3.027.000.000	8.172.000.000
Toplam Potansiyel	5.161.000.000	13.934.000.000

En önemli rezervler Anadolu ve Trakya boyunca geniş bir bölgeye yayılmıştır.

- Batı Anadolu’da İzmir, Tire, Torbalı, Selçuk, Afyon, Eskişehir, Uşak, Muğla ilindeki
- Milas, Yatağan ve Kavaklıdere çevresinde
- Trakya Bölgesi’nde Kırklareli, Dereköy ve Kafçaz’da
- Doğu Anadolu Bölgesi’nde ise Bitlis ve Elazığ çevresinde kaliteli mermer ve granit yatakları bulunmaktadır [46].

Mermer ve traverten açısından MTA 2011 yılında Türkiye’deki görünen ve muhtelif mermer rezervi miktarını 5 milyar tonun üzerinde olduğunu açıklarken var olan potansiyelin yaklaşık 14 milyar ton olduğunu belirtmiştir. Türkiye’deki mermer yatakları incelendiğinde mermer yataklarının Türkiye’nin kuzeybatı ve batısında yoğunlaştığı Şekil 2.3’te görülmektedir. Türkiye bu potansiyelini iyi değerlendirerek mermer ve traverten sektöründe kısa sürede dünyada adından söz ettirmesini şansa bırakmamıştır.



Şekil 2.3 Türkiye mermer haritası [23,24]

Rezervin büyük bölümü Afyonkarahisar, Balıkesir, Bilecik, Eskişehir, Kırşehir, Çanakkale, Denizli, Elazığ, Tokat, Konya ve Muğla da bulunmakta, yoğunlukla bu illerde faaliyet gösteren çoğunluğu küçük ve orta ölçekli pek çok işletmede, doğal taş/mermer işleme alanında faaliyet göstermektedir [23,24].

2.3. Mermer Kullanım Alanları

Mermerden elde edilen ürünler tarih boyunca insanlar tarafından işlenerek kullanılmıştır. Önceleri estetik ve dayanıklılığı sebebiyle sanatsal alanlarda kullanılan mermerin bugünkü başlıca kullanım alanları, inşaat sektörü, dekorasyon, heykelticilik, süs eşyalarının yapımı ve mezarlıktır [24].

İnşaat sektörü: Mermerin en geniş kullanım alanı inşaat sektöründe olup, bu ürün gerek iç kaplamada gerekse dış kaplamada kullanılabilme özelliğinden dolayı inşaat sektörünün en gözde malzemesi olmaktadır. İç kaplama olarak mermer taban, merdiven, hol, şömine, süpürgelik, mutfak tezgâhı, banyo, lavabo ve küvet olarak kullanılmaktadır. Bu sektörde kullanılan mermerlerin kullanıldığı yere göre kalınlığı ve boyutları değişmektedir. İç kaplaması olarak kullanılan yerler genellikle halka açık olan yerler, büyük bloklar, hamamlar, bankalar, istasyonlar ve hava alanlarıdır. İç kaplamada kullanılacak mermerlerin renk çekiciliği çok önemli olup, değişik türler bir araya getirilmektedir. Dünyada dış kaplamada traverten ve granit, iç kaplamada ise mermer tercih edilmektedir. Mermer, aşınmaya daha az dirençli olması, renk çeşitliliği, kolay montaj yapılması ve yumuşak olması dolayısıyla cilasını uzun süre koruyamamaktadır. Bu özelliklerinden dolayı iç mekânlarda tercih edilmektedir. Ancak, mermerin dış cephede, granitin ise iç cephede mükemmel bir şekilde kullanıldığı alanlar da mevcuttur [24,27].

Mezarlılık: Mezar taşı, anıtlar, mabetler ve çevreleri gibi yapılar büyük kullanım alanını teşkil etmekte olup, buralarda daha çok granit türleri kullanılmaktadır. Dış etkenler, inşaat sektöründe olduğu gibi, mezarlılık alanını da etkilemektedir. Mezar taşı üretim faaliyetlerinin büyük bir sanayi sektörüne ulaştığı Japonya, mezar taşlarında genellikle yerli ürünlerini kullanmakta, ithalatta ise Hindistan siyahını tercih etmektedir. Ülkeye ithal ettiği granitin % 65'ini mezar taşı imalinde, % 30'unu ise inşaat sektöründe kullanmaktadır. Mezar taşı ve mezarlılık ülkeden ülkeye değiştiği gibi kültürden kültüre göre de değişmekte, buna göre de kullanım oranları artıp azalmaktadır. Ülkemizde mezar taşı genellikle beyaz olup, traverten kullanılmaktadır. Çok nadiren renkli taş kullanılmaktadır [24,27].

Heykeltraşlık: Bu alanda üretimler seri olmayıp, taleplere bağlı olduğundan kısıtlı bir kullanım oranına sahiptir. Sanat ile doğru orantılı olan kullanım oranı gelişmiş ülkelerde oldukça yüksektir [24,27].

Süs Eşyası Yapımı ve Dekorasyon: Vazo, satranç taşları, şekerlik, kalemlik, küllük, abajur, isimlik, çakmak altlığı, avize hediyelik eşya, gibi eşya yapımında genellikle mermer ve oniks taşları kullanılmaktadır. Bu alanda kullanılan mermer ve çeşitlerinden güzel renkler tercih edilmektedir. İç dekorasyon malzemesi olarak; masa, sehpa ve çeşitli mobilyalar kullanılmakta, genellikle işyeri dekorasyonu ön planda bulunmaktadır [27].

3. MERMER ATIKLARI

Ülkeler endüstriyel yönden hızlı ve büyük bir gelişim içerisinde. Bu büyük gelişim insanlık açısından olağanüstü bir öneme sahiptir. Endüstriyel gelişimin yararlarının yanı sıra şüphesiz ki bir takım olumsuz getirileri de göz ardı edilemez bir gerçektir. Endüstriyel gelişimin insanlık ve çevre için olumsuz getirilerinin başında atık maddeler bulunmaktadır. Bu atık maddelerin faydalı geri dönüşüm mekanizmaları ile tekrar kullanılması hem çevresel korunum yönünden hem de ekonomik kazanım yönünden çok büyük öneme sahiptir [15].

Avrupa Birliğine uyum açısından ülkemizin en sorunlu alanlarının başında çevre gelmektedir. AB Müktesebatının en kapsamlı alanlarında birini oluşturan çevre, üyelik sürecinde Türkiye'yi en çok zorlayacak teknik alanlardan biri olarak görülmektedir. Müktesebata uyum için en yüksek maliyet gerektiren çevre konularının başında da atık yönetimi gelmektedir.

Atık yönetimi, ülkemizde 1930'lerden itibaren çok sayıda yasal düzenlemeye konu olmuştur. Bu yıllardan itibaren çevre alanında işlev üstlenen kurumların sayısı da sürekli artmıştır. Ancak atık yönetim sisteminin geliştirilmesinin ulusal çevre politikaları ve sürdürülebilir stratejileri arasında ağırlıklı olarak yer tutması gerekirken, ülkemizde bu alan politika öncelikleri arasında yer alamamış, atık yönetim kapasitesini güçlendirmeye yönelik düzenlemeler, hazırlanan plan ve projeler uygulamaya aktarılamamıştır.

Dünya genelinde, atık olarak meydana çıkan malzemelerin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda atıklardan yeni ürünler elde edilmesi ve/veya bunların katkı maddesi olarak kullanılması amaçlanmaktadır. Atıkların yeniden kullanımı veya geri dönüşümü; sınırlı olan doğal kaynakların kullanımını azaltarak, doğanın tahrip edilmesini önlemekte, üretimde verimliliği arttırmakta ve atık depolanması sonucu oluşacak çevre problemlerini en aza indirmektedir [13].

Atıklara ilişkin sağlıklı bir envanter bulunmamakla birlikte, Türkiye İstatistik Kurumunun 2004 verilerine göre ülkemizde 34 milyon ton belediye atığı ve 17.5 milyon ton imalat sanayi atığı üretilmektedir. Buna karşılık atıkların depolanmasında temel sorumluluk belediyelere aittir ve TÜİK' in 2003 yılı Katı Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre 3215 belediyeden 3018'inde katı atık hizmeti verilmektedir. Bu verilere

göre toplanan 26,12 milyon ton katı atığın sadece %28,5'i düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmiştir [54].

Ülkemizde düzenli bir atık depolanmasını sağlamak amacıyla “Katı atıkların kontrol yönetmeliği” yayınlanmış olmasına rağmen, diğer katı atık depolamada olduğu gibi mermer artıklarının depolanmasında da vahşi depolama olayı sürmektedir [14].

Mermer ilk çağlardan beri yapılarda yaygın olarak kullanılan ve her geçen gün daha fazla rağbet görmeye başlayan bir yapı malzemesidir. Mermere talep arttıkça, bu talebi karşılamak amacıyla, mermer işleme tesislerinin sayısında da bir artış meydana gelmiştir. Bunun doğal bir sonucu olarak da, mermer işleme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerde, mermer atık sahalarının yaygınlaştığı görülmektedir.

Mermer yeryüzüne yakın bölgelerde bulunan bir maden türüdür. Ocaklarda çeşitli yöntemlerle, 15–20 tonluk bloklar halinde kesilen mermerler işlenmek üzere atölyelere ve fabrikalara taşınırlar (Şekil 3.1). İşleme tesislerinde çeşitli boyut ve kalınlıklarda kesilirler. Kesilme işlemi, kesicinin ısınmasını ve toz olmasını önlemek amacıyla su yardımıyla yapılır (Şekil 3.2). Böylece toz ile birleşen su atık mermer çamurunu oluşturur. Bu atık malzeme ilk haliyle veya arıtma tesisinde suyu alındıktan sonra çevreye bırakılır (Şekil 3.3). Bilinçsizce çevreye terk edilen bu malzemenin sebep olacağı zararlar, çevre sağlığını olumsuz yönde etkileyecektir [55].



Şekil 3.1 15-20 tonluk mermer blokları.



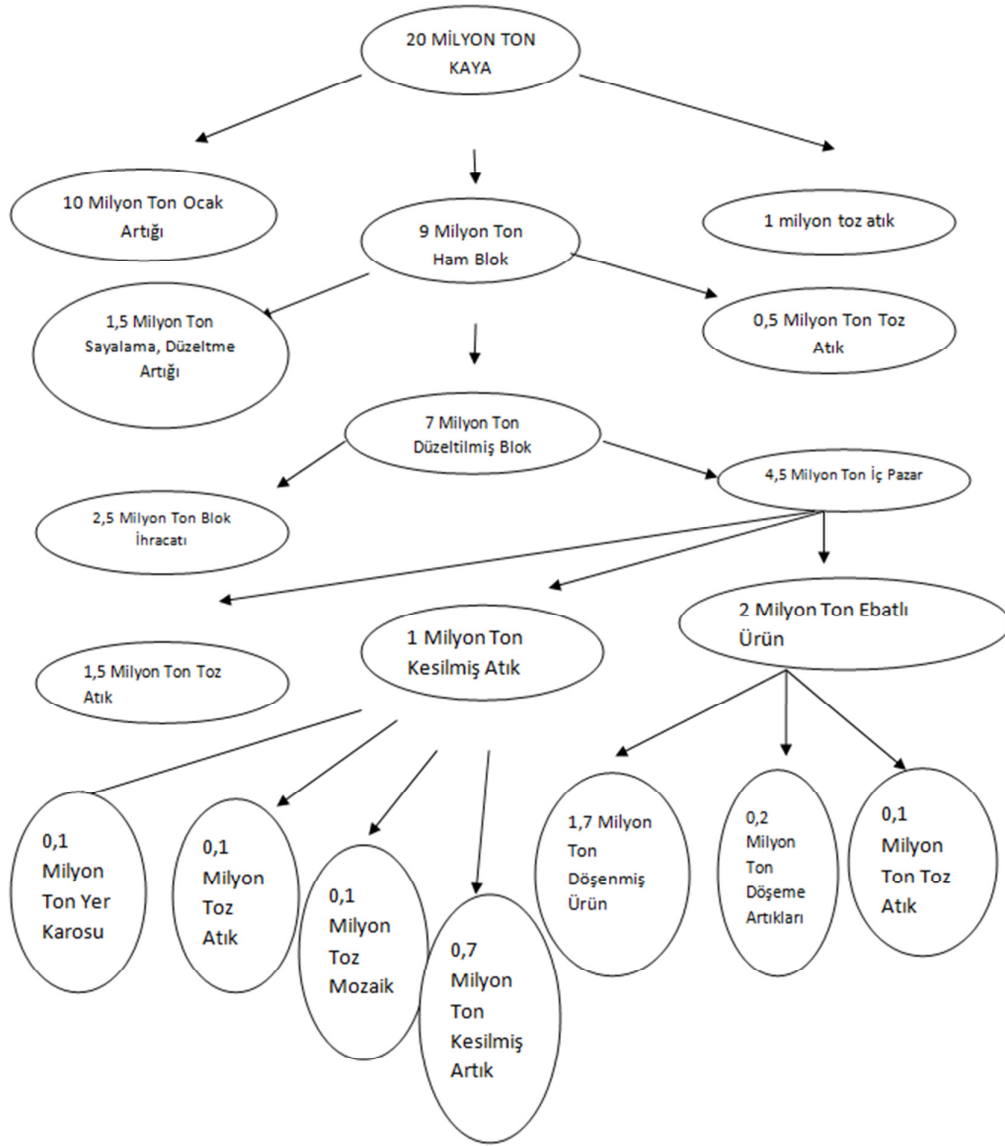
Şekil 3.2 Mermerlerin çeşitli boyutlarda kesilmesi.



Şekil 3.3 Atık mermer çamuru ve doğa (Elazığ Organize Sanayi Bölgesi Atık Sahası).

Mermer doğada blok üretimi yapılarak çıkarılır. Bulunduğu yerde sayalama makineleri ile boyutlandırılması yapılan mermer bloklar, mermer kesme ve işleme tesislerinde işlenerek plaka, yer karosu, fayans ve değişik amaçlarda kullanıma sunulmaktadır. Mermer kesme ve işleme fabrikalarında ortaya çıkan atık ve/veya artıklar, üretim kayıplarının sonucu olarak ortaya çıkmaktadır [47].

Şekil 3.4 te rezervlerin kullanımı sırasında meydana gelen atık ve artıklar net bir şekilde gösterilmektedir [48].



Şekil 3.4 Atık ve artık miktarları

Şekil 3.4'e dikkat edilecek olursa, blok halindeki rezervin büyük bir kısmı atık haline dönüşmüştür. Ortaya çıkan bu mermer atık ve/veya atıkları çevreye yayılmakta hatta bazen işletme yakınındaki tarla veya nehirlerle akıtılmaktadır. Genellikle de işletmeler bu atığı bir havuzda toplamakta ve havuzdaki çamur kuruyunca, atığı kamyonlarla yerleşim yerlerine uzak yerlere atmaktadırlar. Bu atık işletmeler içinde önemli bir sorun oluşturmakta ve işletmeler çevre sağlığı ile ilgili kamu kurum ve kuruluşlarla karşı karşıya gelmektedir [47].

Mermerlerin ocaktan çıkarılması, blok mermerin fabrikada işlenmesi esnasında ortaya çıkan ve mamul mermer üretiminden geriye kalan bütün mermer parça ve tozları mermer atığı olarak kabul edilmektedir. Mermer atıkları, oluşum yerlerine göre ocaklarda ve fabrikalarda oluşan atıklar, boyutlarına göre ise; molozlar, kapaklar, paledyenler ve toz atıkları olarak adlandırılıp sınıflandırılmaktadırlar [15].

3.1. Oluşum Yerlerine Göre Mermer Atıkları

3.1.1. Mermer Ocaklarında Oluşan Atıklar

Mermer ocaklarında bulunan arızalar (fay, çatlak, yarık) blok üretimi sırasında; blok elde edilmemesine, dolayısıyla da irili ufaklı molozların açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Bu tür mermer atıklarına, ocağın jeolojik yapısına ve kristal yapısına uygun üretim yöntemi seçmemek, yani yanlış üretim metodu uygulamak atıkların oluşumuna sebep olur. Patlayıcı maddelerle delme, kamalama gibi ilkel üretim yöntemlerinin uygulandığı mermer ocaklarında parça atıklar oluşmaktadır. Ayrıca ocaklarda, yapıdaki süreksizlikler nedeniyle blok vermeyen iri boyutlu mermer kütlelerinin piyasa değeri olmadığı için, genellikle değerlendirilmeden bırakıldığı bilinmektedir. Ocaklarda mermer atıklarının oluşmasına diğer bir etken de sayalama işlemidir. Ocakların tektonik yapısına uygun olarak elde edilen çok büyük ve şekilsiz parçalar, çeşitli amaçlar için farklı yöntemlerle istenilen ebatlarda alt, üst ve yanlardan kesilirler. Bu atıklara genel olarak pasa adı verilir. Ocak üretim miktarının yaklaşık % 50'sini oluşturan bu atıkların tamamının değerlendirilmesi mümkün olmamakta, mermer ocak işletmelerinin etrafında bir taş toprak yığını halinde bekletilmektedir [13,49,50].

3.1.2.Mermer Fabrikalarında Oluşan Atıklar

Fabrikalarda kesilen bloklardan belirli ebatlarda plakalar elde edilmektedir. Elde edilen bu plakaların baş kesme ve yan kesmelerde uygun ölçülerde ebatlandırma yapılır. Parlatma ve cilalama işlemlerine tabi tutulur. Bu işlemler sırasında çok küçük boyuttaki mermer tozu atıkları oluşmaktadır. Bu işlemler sulu olarak yapıldığında açığa çıkan artıklar su ile birlikte taşınmakta ve genellikle havuz yöntemi uygulanarak toplanmaktadır. Bu suyun geri kazanılması sonucunda artık tozlar elde edilmektedir. Sulu kesim yapılması nedeniyle çamur halinde oluşan mermer tozu artıklarının oluşum üniteleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir [15].

3.1.2.1 Katrak, ST, Silme-Cilalama Ünitelerinde Oluşan Atıklar

Katraklarda blok kesimi, elmas soketlerin mermer yüzeyine sürtünmesi ve aşındırması esasına dayanmaktadır. Genellikle 1mm'nin altında tanecikler oluşmaktadır [51].

ST' lerde ise kesme işlemi elmas soketlerin mermer yüzeyine çarparak tanecikleri yüzeyden koparması esasına dayandığından tanecik boyutu katrak atıklarına göre daha büyük olmaktadır. Toz atık olarak nitelendirilebilecek bu atıkların boyutu, mermerin mineralojik yapısı ve kesme şekline bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle 2 mm'nin altındadır [51].

Silme-cilalama işlemi, mermer yüzeyini aşındırarak parlatma esasına dayandığından, oluşan tanecik boyutu, katrak ve ST'lere göre daha küçük olmaktadır. Mermer fabrikalarında en küçük boyutlu atıkların oluştuğu üniteler, silme-cilalama üniteleridir genellikle 500 mikronun altındaki toz atıklar oluşmaktadır Toz atık olarak nitelendirilen ve boyutları 2 mm' nin altında olan atıklar en çok bu üç işlem sırasında oluşmaktadır [51].

3.1.2.2. Köprü Kesme, Monolama, ST Kesimi Sonrası Alt ve Yan Kısımlarda Oluşan Atıklar

Bu işlemlerde parça atık olarak nitelendirilen genellikle mozaik, karo vb. amaçlı kullanılabilir nitelikte atıklar oluşmaktadır [49].

3.1.2.3. Baş Kesme ve Levha Ebatlama Makinelerinde Oluşan Atıklar

Mermer fabrikalarında oluşabilen iri boyutlu parça atıklardır. Bu ünitelerde yer döşemesi vb. amaçlı kullanılabilir nitelik ve boyutta atıklar oluşmaktadır [49].

3.2. Boyutlarına Göre Sınıflandırılan Atıklar

3.2.1. Molozlar

Mermer ocaklarının jeolojik ve teknik yapısından kaynaklanan fay, kırık ve çatlaklardan dolayı blok üretimi sırasında ortaya çıkan şekilsiz ve çeşitli boyutlardaki mermer parçalarıdır. Küçük molozlar mozaik ve karo üretimi için kullanılmaktadır. Köşeleri kırık, delik kanallı, geometrik bozukluğu gibi görünür kusurları olan bloklar da molozlar sınıfına girer [52].

3.2.2. Kapaklar

Bunlar mermer işletme tesislerinde kesim sırasında alt ve yan kısımlarda kalan artıklar ile monolama ve monotel kesme sonucu oluşan atıklardır. Bu tip mermer atıklarının bir yüzeyleri düzgün olup iri boyutlu mermer parçalarıdır. Ayrıca ocaklarda, büyük blokların sayılanması sırasında alt, üst ve yan yüzeylerde açığa çıkan parçaları da kapak olarak isimlendirilir [13,52].

3.2.3. Paledyenler

Mermer işleme tesislerinde, ocaklardan getirilen bloklar katraklar ve S/T Makinesi yardımıyla plakalar halinde kesilirler. Kesilen bu plakalar yan kesme ve baş kesme makinelerinde maksimum alan edilecek şekilde boyutlandırılırlar. Bu boyutlandırma esnasında geriye kalan ve düzgün geometrik şekilde elde edilemeyen plakalara denir [13,52].

3.2.4. Atık Mermer Çamuru ve Atık Mermer Tozu

Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan, öğütme işlemine tabi tutulmadan koloidal yapıda bulunan ve büyük çoğunluğu da 250 µm'nin altında olan mermer tanecikleridir. Kesme işleminde su kullanılması nedeniyle suyla birlikte çöktürme havuzlarına taşınır. Mermer bloklarında kuru sistem kesim, aşırı toz ve kesici bıçağın aşırı ısınması nedeniyle yapılamamaktadır. Ortaya çıkan mermer çamuru çevreye yayılmakta, hatta bazen işletme yakınındaki tarla veya nehirlerle akıtılmaktadır. Fakat genellikle işletmeler bu atığı bir havuzda toplamakta ve havuzdaki çamur kuruyunca, atığı kamyonlarla yerleşim yerlerinden uzak yerlere atmaktadırlar. Bu atık işletmeler içinde önemli bir sorun oluşturmaktadır [47,53].

Mermer fabrikalarından üretim atığı olarak çıkan toz atıklar genellikle değerlendirilememekte, üstelik çevre kirliliği açısından da sorunlar yaratmaktadır. Mermer toz atıklarının değerlendirilmesine yönelik olarak uygulamaya sokulabilecek alternatifler, mermer fabrika işletmecilerine ve ülke ekonomisine kazançlar sağlayabileceği gibi, bu fabrikaların çevre kirliliği özelliğini de önemli ölçüde azaltacaktır [14]. Konuyla ilgili olarak yapılmış olan bir çalışmada, mermer işletmeciliğinde elde edilen 1(m³) bloğun işlenmesi sırasında makinelerin toz haline getirdiği miktar yaklaşık 0,481 (m³) olarak bildirilmiştir. Bu durumda ürün miktarının toplam % 48' i toz halinde üretim atığı olarak ortaya çıkmaktadır [58]. 1989–1994 yılları arasında mermer üretiminde ortalama % 16 artış olmuştur. 2005 yılı Türkiye mermer üretimi yaklaşık 2 000 000 (m³)'dür. Türk standartlarında belirtilen mermer birim hacim ağırlığı ortalama 2,7 (t/m³) olduğuna göre, Türkiye' de 2005 yılında üretilen mermer miktarı: 2 000 000 (m³/yıl) x 2,7 (t/m³) = 5 400 000 (t/yıl)' dir. Türkiye genelinde 2005 yılında ortaya çıkan mermer atık miktarı: 5 400 000 (t/yıl) x 0,48 = 2 592 000 (t/yıl) civarındadır [59-62].

Yıllık ortalama 2.500.000 ton mermer atığı oluşmaktadır. Bu atık nedeniyle İtalya gibi bazı ülkeler mermer üretimlerini sınırlamak zorunda kalmışlardır. Ülkemizde çevre kuruluşları ile mermer işletmecileri arasında bu konu ile ilgili problemler başlamıştır. Sürekli arttığı için depolanması işletmeler için mümkün olmayan bu atığın değerlendirilmesi; çevre sağlığı, çevre temizliği ve ekonomik açıdan büyük bir kazanç olacaktır [55].

3.3. Atık Mermer Tozunun Kullanım Alanları

Gelişen endüstri ve teknoloji ile mermer hemen hemen her yerde kullanılabilir hale gelmiş ve buna paralel olarak da mermer üretiminin arttığı bilinmektedir. Dünyadaki kaliteli ve en zengin mermer yataklarının büyük bölümü Akdeniz ülkelerinde yer almaktadır. Mermer ve diğer yapı taşları (granit, siyenit, andezit, bazalt, gabro, diyabaz, gnays, mika şist, traverten, oniks mermer vb) ülkemizde her bölgede bulunan yer altı zenginliklerindedir [58].

Ülkemizde Elazığ'dan Afyon'a, Adana'dan Çanakkale'ye 33 farklı ilde mermer yatakları ve mermer ocakları bulunmaktadır. Bu ocaklardan yaklaşık 50 farklı çeşit (Elazığ vişne, Hazar bej, Afyon beyaz vb.) mermer elde edilebilmektedir. Mermercilik sektöründe ocak işletmecisi ve mermer imalatçısı olan 200'ü aşkın firma bulunmaktadır ve bu sayı her geçen gün artmaktadır [47]. Mermer işleme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerdeki mermer atık sahaları da çevreye olumsuz etki yaptığı gibi imhası ekonomik kayıplara da neden olmaktadır [1].

Burada, önemle üzerinde durulması gereken husus, gerek mermerin ocakta üretiminde ve gerekse tesislerde işlenmesi sürecindeki zorluklar ve ilk yatırım maliyetlerinin yüksekliği dikkate alındığında, bu atık malzemelerin büyük bir milli kayıp olduğudur. Böyle bir potansiyeli sanayide değerlendirmek ulusal ekonomiye önemli kazanımlar sağlayacaktır [63]. Bu nedenle mermer işleme tesislerine ait bu atıkların belirli sektörlerde yeniden değerlendirilebilmesi için yapılacak çalışmalar ülkemiz mermerciliğine yararlı bir katkı sağlayacaktır. Mermer toz atıklarının değerlendirilmesine yönelik olarak uygulamaya sokulabilecek alternatifler, mermer fabrika işletmecilerine ve ülke ekonomisine kazançlar sağlayabileceği gibi, bu fabrikaların çevreye verdikleri zararları da büyük ölçüde azaltacaktır [7].

Atık maddelerin geri dönüştürülmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Geri dönüştürme işlemleri ayrıca bir yatırım gerektirdiği gibi malzemelerin tamamı da geri dönüştürülememektedir. Bu malzemelerden en büyük faydayı sağlamak için çeşitli sektörlerde kullanılabilirliği son yıllarda üzerinde yoğun bir şekilde çalışılan konulardandır. Literatür bilgilerinde ve dünyadaki bazı uygulamalarda gerek mermer tozlarının gerekse mermer toz atıklarının seramik, çimento, boya, cam, yapı malzemesi gibi birçok sektörde değerlendirilme çalışması olmakla birlikte, ülkemizde bu konuya

yönelik yaygın uygulamalara rastlanmamaktadır [15,64]. Mermer atıklarının kullanım alanları başlıklar halinde verilecek olursa [13,15,64];

- İnşaat Sektörü
- Seramik Sektörü
- Çimento İmalat Sanayi
- Plastik Sanayi
- Kağıt sanayi
- Tarım ve Gübre Sanayi
- Yem Sanayi
- Boya Sanayi
- Yol Yapımında
- Demiryolu Zemin Malzemesi
- Cam Sanayi
- Kimya Sanayi
- Soda Üretimi
- Refrakter Malzeme Üretimi
- Oto Lastiği Üretimi
- Patlayıcı Malzeme Üretimi
- Temizlik Malzeme Üretimi
- Haşere Öldürücü İlaçlarda

ve daha bir çok alanda kullanılabilir. Ancak bu alanlarda, mermer tozu genellikle bazı fiziksel ve kimyasal işlemler uygulanarak kullanılabilir. Bu da üreticiye ekonomik bir yük getirmektedir. Ancak mermer tozu beton üretiminde kullanılmadan önce sadece kurutulacak ve az bir fiziksel kuvvetle toz haline getirilecektir. Bunda dolayı inşaat sektöründe kullanımı daha ekonomik olmakta ayrıca çevre kirliliğini de büyük ölçüde azaltmaktadır [64].

Mermer atıkları ekolojik dengeyi bozmayan, hava kirliliğine neden olmayan, iklim değişikliklerini etkilemeyen, su kirliliği oluşturmayan radyoaktif olmayan inşaat sektöründe değerlendirilebilen bir yan üründür [65]. Üretimde, atık mermer çamurunun kullanılması için atığın mermer tozu haline getirilmesi gerekmektedir. Her sektör için

sadece toz haline getirilmesi yeterli olmayabilir. Ancak beton sektörü için çamurun kurutulup, az bir mekanik kuvvetle ezilmesi sonucu elde edilen mermer tozu beton üretimi için yeterlidir [56,57]. Mermer atıklarının değerlendirilmesi halinde çevre kirliliğinde olumsuz etkinin azaltılabilmesi için havuz çöktülerinin atık bir malzeme olarak kontrol altına alınması ve beton sektöründe değerlendirilerek ekonomik yarar sağlanması amacıyla deneysel bir çalışma amaçlanmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, öncelikle deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin ayrıntılı özellikleri verilmiştir. Daha sonra deneylerin yapılaş amaçları ve karışım miktarlarından bahsedilmiştir.

4.1.Kullanılan Malzemeler

4.1.1.Çimento

Deneysel çalışmalarda tamamında Elazığ Çimento Fabrikası'ndan temin edilen CEM I 42.5 N tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Her deneyin amacına uygun olarak hesaplanan numune sayısına yetecek kadar çimento fabrikadan bir seferde satın alınmıştır. Böylece çimentonun özelliklerinde meydana gelebilecek standart değişmelerin önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Tablo 4.1 CEM I 42.5 N çimentonun özellikleri.

Özellikler	CEM I 42,5 N	Özellikler	CEM I 42,5 N
SiO ₂ (%)	21.12	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.03
Al ₂ O ₃ (%)	5.62	Priz başı (dk)	155
Fe ₂ O ₃ (%)	3.24	Priz sonu (dk)	210
CaO (%)	62.94	İncelik (cm ² /g)	3490
Cl (%)	0.0044	Basınç dayanımı, 3 gün	25.8
Ç.Kalıntı (%)	0.64	7 gün	38.1
K.Kaybı (%)	3.52	28 gün (MPa)	49.1

4.1.2.Toz Malzemeler

Bu tez çalışmasında toz malzeme olarak mermer tozu kullanılmıştır. Mermer tozu, Elazığ Organize Sanayi Atık Sahasından temin edilen mermer çamurunun kurutulup daha sonra toz haline dönüştürülmesiyle kullanılmıştır (Şekil 4.1).



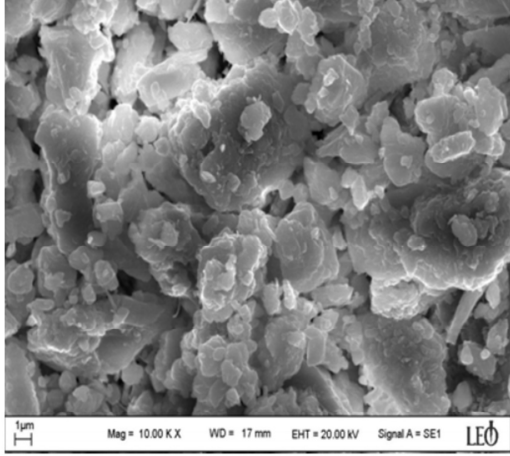
Şekil 4.1 Mermer çamuruna uygulanan işlemler

Mermer tozları genellikle benzer fiziksel ve kimyasal özellikler göstermektedir. Elazığ İl sınırları içerisinde farklı ocaklardan elde edilmiş 2 çeşit mermer tozunun özellikleri Tablo 4.2 de sunulmuştur. Elazığ vişne, yöreye has dünyaca ünlü bir mermer çeşididir. Beyaz mermer ise hemen hemen Türkiye'nin tüm bölgelerinde çıkarılan ve yaklaşık aynı özellikteki mermer çeşididir. Nadir ve çok bulunan türler çalışmada kullanılarak bir genelleme yapılması amaçlanmıştır.

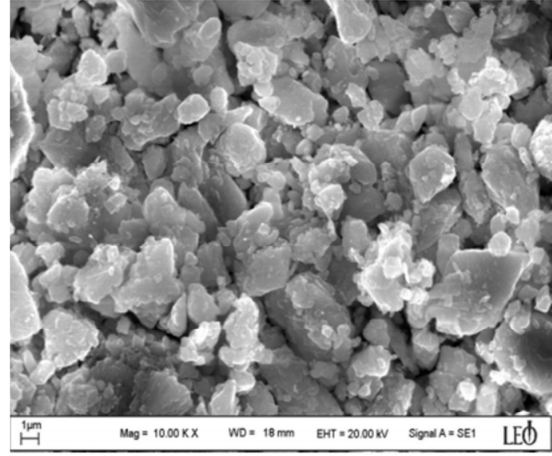
Tablo 4.2 Mermer tozlarının özellikleri.

Özellikler	Elazığ Vişne	Beyaz
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2.71	2.71
Özgül yüzey (cm ² /g)	3924	4372
SiO ₂ (%)	28.35	0.94
Fe ₂ O ₃ (%)	9.70	0.46
CaCO ₃ (%)	60.48	97.35

Mermer tozlarının mikroskobik yapısı, köşeli ve düzensiz bir yapıya sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı betonda boşluk doldurma ve ayrışma önleyici özellikleri vardır. Şekil 4.2 de farklı mermer tozlarına ait elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri verilmiştir. Mermerler aynı şekilde kesildikleri için tane yapıları aynı özelliktedir.



Elazığ beyaz mermer tozu SEM görüntüsü



Elazığ vişne mermer tozu SEM görüntüsü

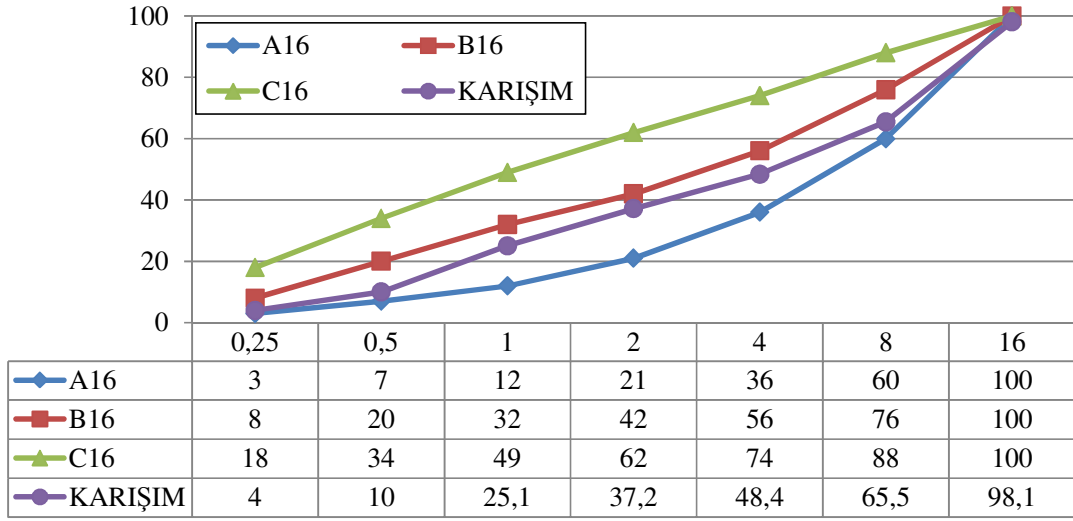
Şekil 4.2 Vişne mermer tozu ve beyaz mermer tozu SEM görüntüleri [57]

4.1.3. Agregalar

Agregalar olarak, en büyük dane çapı 16 mm ve dyk özgül ağırlığı 2.69 g/cm^3 olan doğal iri agregalar, en büyük dane çapı 4 mm olan dyk özgül ağırlığı 2.72 g/cm^3 olan doğal ince agregalar kullanılmıştır. İri agregalar ve ince agregaların fiziksel özellikleri sırasıyla Tablo 4.3 te ve agregalar karışımının granülometrisi Şekil 4.3 te verilmiştir.

Tablo 4.3 Agregaların fiziksel özellikleri

Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Los Angeles Aşınma [66] (500 devir) (%)	Donma-çözülme kaybı (%) [67]	Kil miktarı (%)	Su emme miktarı (%)
İri Agregalar (4-16) 2.69	13	9	-	2
İnce Agregalar (0-4) 2.72	-	-	3	2.3



Şekil 4.3 Agrega karışımının granülometrisi

4.1.4. Kimyasal Katkı

Karışımlarda Sika firmasına ait “ViscoCrete Hi-Tech 36” serisi yüksek performanslı 3. nesil süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Tablo 4.4 te ise akışkanlaştırıcının özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.4 . Akışkanlaştırıcı katkının kimyasal ve fiziksel özellikleri

Görünüm / Renk	Açık kahverengi sıvı
Kimyasal Yapı	Modifiye polikarboksilat esaslı polimer
Yoğunluk	1.07 – 1.11 kg/l (20 °C’de)
pH Değeri	3 – 7
Donma Noktası	-9 °C
Suda Çözünebilir Klorür Yüzdesi	En fazla % 0.1, Klorür içermez.
Alkali Miktarı	En Fazla % 4

4.1.5. Karma Suyu

Deneysel çalışmaların tamamında TS EN 1008’e uygun Elazığ İli şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Karma suları herhangi bir depoda bekletilmeden, içme suyu şebekesinden alındığı anda kullanılmıştır. [68]

4.2.Deneyler ve Karışım Oranları

Deney serilerinin hazırlanması, dökülmesi ve deneylerin uygulanması işlemleri Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda atık sahasından elde edilen iki farklı mermer çamuru kurutulup toz haline getirilerek beton karışımları oluşturulmuştur. Karışım oranları TS 802 dikkate alınarak yapılmıştır. Beton dökümleri için 50 dm³'lük karıştırıcı kullanılmış ve her bir seri tek harmanda dökülmüştür. Bu deneysel çalışmanın amacı dayanımda büyük değişiklikler oluşturmak değil, büyük bir çevre kirliliği ve maddi kayıp olan mermer tozunun uygulamada kullanılacak en yüksek oranda kullanılarak, dayanım ve dayanıklılık (durabilite) özellikleri referans betona yakın beton karışımları tespit etmektir. Bunun içinde iki farklı deney grubu ile toplam 20 farklı karışıma sahip betonlar üretilmiş, taze beton ve sertleşmiş beton deneyleri uygulanmıştır.

Döküm yapılan her serinin çökme değeri belirlenmiş ve TS EN 12350-2 Taze Beton Deneyleri Çökme Deneyinde anlatıldığı şekilde uygulanmıştır (Şekil 4.4). Böylece mermer tozunun betonun işlenebilme özelliğine nasıl bir etki yaptığı araştırılmıştır. Sabit bir çökme hedeflenmemiştir. Çünkü bu işlemin amacı aynı zamanda mermer tozu miktarının işlenebilirlik üzerine etkisini tespit etmektir [69].



Şekil 4.4 Çökme deneyinin yapılışı

Çökme değerleri belirlendikten sonra kalıplara yerleştirilip sarsma tablasıyla sıkıştırılmıştır. Numuneler, beton dökümünden yaklaşık 24 saat sonra kalıptan çıkarılmıştır. Numuneler kırılma yapılacağı güne kadar 23 ± 2 °C su kürü uygulanmıştır. (Şekil 4.5)



Şekil 4.5 Beton numunelere kür uygulanması

Her bir seri 18 adet numuneden oluşmaktadır. Bunlardan 12 tanesi 150x150x150 mm'lik standart küp numuneleri, 6 tanesi ise 100x100x100 mm'lik küp numunesi şeklinde hazırlanmıştır. Standart küp numuneleri üzerinde 7, 28 ve 90 günlük basınç ve 28 günlük yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmış, 100x100x100 mm'lik küp numunelerde ise basınç dayanımı, kılcal su emme ve aşınma dayanıklılık deneyleri uygulanmıştır.

Basınç dayanımı, TS EN 12390-3 Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini adlı standartta anlatıldığı şekilde belirlenmiştir ve numuneler 200 ton yük kapasiteli pres ile kırılmıştır (Şekil 4.6) [70]. Yarmada çekme dayanımı sonuçları ise TS EN 12390-6 Deney Numunelerinin Yarma Dayanımının Tayininde anlatıldığı şekilde uygulanmıştır (Şekil 4.7) [71].

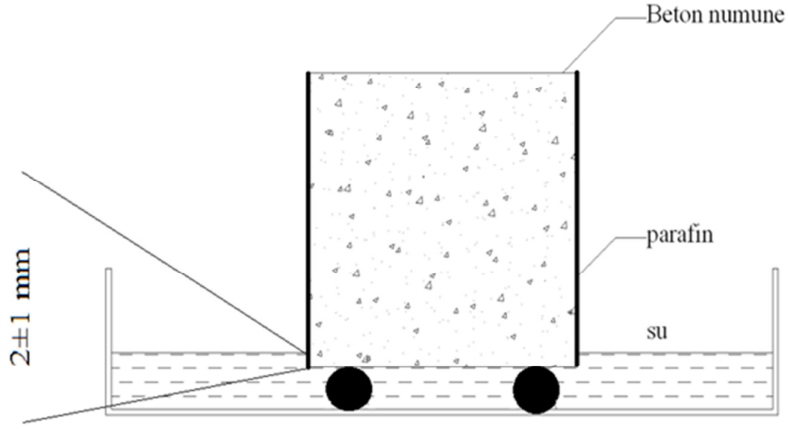


Şekil 4.6 Basınç dayanımı deney sistemi



Şekil 4.7 Yarmada çekme dayanımı deney sistemi

Geçirimlilik betonun dayanımını ve dayanıklılığını büyük oranda etkilemektedir. Bundan dolayı betonun su emme kapasitesini belirlemek için numuneler üzerinde kapiler su emme deneyi uygulanmıştır. Betonların kapiler su emme katsayıları 28 gün suda kür edilen 100 mm ayrıtlı küp numuneler üzerinde belirlenmiştir. Numuneler sabit ağırlığa gelinceye kadar $105 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5'$ de hava sirkülasyonlu etüvde bekletilmiştir. Yan yüzeyleri parafinle izole edilen numuneler, saf su içerisinde 2 ± 1 mm batacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 4.12). Daha sonra; 0, 1, 5, 10, 20, 30, 60 dakikalık, 2, 3, 4, 5, 6, 24 saatlik ve 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 günlük sürelerde numunelerin yüzeylerindeki serbest su, nemli bir bez ile silinerek, 0.01 g hassasiyetli bir tartı ile kütle artışları belirlenmiştir. Numunelerin başlangıçtaki ağırlıklarına göre, ağırlık farkları hesaplandıktan sonra Denklem 4.1 kullanılarak su geçirgenliği değerleri bulunmuştur. Kapiler su emme deneyi, ASTM C 1585-04 standardından faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. [72]



Şekil 4.8 Kılcal su emme deney düzeneği

Kapilaritenin hesaplanmasında denklem 4.1 kullanılmıştır. Denklem 4.1 den elde edilen I ile \sqrt{t} ; süre arasında lineer regresyon analizi yapılır. Elde edilen doğrunun eğimi kapilarite katsayısına eşittir.

$$I = \frac{m_t}{a * d} \quad (4.1)$$

I = su geçirgenliği, [mm]

m_t = numunedeki kütle değişimi, [gr]

a = numunenin maruz kaldığı alan , [mm²]

d = suyun yoğunluğu, [g/mm³]

Betonun aşınması belirlenirken Türk Standardı TS 699 kullanılmıştır. Bu standart doğal taşlarla ilgili olmasına rağmen, bu standartta yer alan Böhme Aşınma Metodu, birçok araştırmacı tarafından beton üzerinde uygulanmış ve uygun sonuçlar elde edilmiştir [73-74]. Mermer tozu kullanılmış betonlarda yüzey aşınmasının önemli olduğu düşünüldüğünden bu yöntem tercih edilmiştir. Deneyde, 750 mm çapında, 30 devir/dk hızla dönebilen diske sahip, standart Böhme Yüzey Aşındırma Cihazı kullanılmıştır. 100×100×100 mm küp numuneler, 71 ± 1.5 mm (yüzey alanı = $50 \text{ cm}^2 \pm 2 \text{ cm}^2$) küp şeklinde kesilerek deney numuneleri hazırlanmıştır. Deneye başlamadan önce sürtünme şeridi üzerine 20 ± 0.5 g zımpara tozu serpildi. Cihaza yerleştirilen numunenin yüzeyi 22 devir aşındırıldı. Her 22 devir sonunda aşınan malzeme ve zımpara tozu temizlendi ve tekrar disk üzerine 20 ± 0.5 g zımpara tozu serpildi. Deney numunesi düşey eksen etrafında 90° çevrilmek suretiyle 22 şer devirlik 20 aşındırma periyodu yani toplam olarak 440 devir uygulandı. 440 devir sonunda deney numunesi, sert bir kıl fırça ile iyice temizlenmiştir. Aşınma, numunelerin ilk hacim-son hacim farkıyla tespit edilmiştir. Deneyde kullanılan zımpara tozunun büyük kısmı korund'dan oluşmaktadır. Göz açıklığı 0.20 mm olan kare gözlü elek üzerinde zımpara tozu kalmamaktadır ve yoğunluğu yaklaşık $1.60 - 1.70 \text{ g/cm}^3$ civarındadır [75].



Şekil 4.9 Böhme aşınma deney düzeneği ve numuneler

4.2.1. Mermer Tozunun İnce Agregayla (D< 4mm) Yer değiştirilerek Kullanımı

Mermer Tozu D< 4 mm olan ince agregayla %0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 oranlarında ağırlıkça yer değiştirilerek döküm yapılmıştır. W/C oranı ve 1000 dm³lük hacim sabit tutulmuştur. Ancak %100 oranında yapılan değişim sonucunda kullanılabilen maksimum akışkanlandırıcı kullanılmasına rağmen karıştırıcıda karışmamış ve katkı kullanım sınırını aştığından dolayı beton karışımı elde edilememiştir. TS 802' ye göre hazırlanan karışım oranları Tablo 4.5 te gösterildiği gibidir. [76]

Tablo 4.5 Mermer tozuyla oluşturulan serilerin karışım oranları

Seri Adı	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	SA (%)	İri Agreg (4-16mm) (kg/m ³)	İnce Agreg (0-4mm) (kg/m ³)	MT (%)	MT (kg/m ³)	W/C
RF-00	320	192	-	771	1077	-	-	0.6
MT4-10	320	192	-	771	969.3	10	107.7	0.6
MT4-20	320	192	-	771	861.6	20	215.4	0.6
MT4-30	320	192	-	771	753.9	30	323.1	0.6
MT4-40	320	192	-	771	646.2	40	430.8	0.6
MT4-50	320	192	0.7	771	538.5	50	538.5	0.6
MT4-60	320	192	0.9	771	430.8	60	646.2	0.6
MT4-70	320	192	1.5	771	323.1	70	753.9	0.6
MT4-80	320	192	2	771	215.4	80	861.6	0.6
MT4-90	320	192	2.5	771	107.7	90	969.3	0.6

Her numune serisi farklı bir karışım özelliğine sahiptir ve her bir seri 12 adet standart küp numune ve 6 adet 100×100×100 mm küp numunelerden oluşmuştur. (Şekil 4.10) Her bir seri tek harmanda dökülmüştür.



Şekil 4.10 Kalıptaki numunelerin görünüşü

4.2.2. Mermer Tozunun İnce Agregaya (D<1 mm) ile Yer Değiştirilerek Kullanılması

Bu deney grubunda ise maksimum dane çapı 4 mm olan ince agreganın 0-1 mm'lik kısmı elenerek atık halinde bulunan Elazığ yöresine has vişne mermer tozuyla %0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 oranlarında ağırlıkça yer değiştirilmesiyle kullanılmıştır. W/C oranı ve 1000 dm³'lük hacim sabit tutulmuştur. Tablo 4.6 da karışım oranları verilmiştir.

Tablo 4.6 Karışım oranları

Seri Adı	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	SA (%)	İnce Agregaya (0-1mm) (kg/m ³)	İnce Agregaya (1-4mm) (kg/m ³)	İri Agregaya (4-16mm) (kg/m ³)	MT (%)	MT (kg/m ³)	W/C
RF-00	320	192	-	462	615	771	0	0	0.6
MT1-10	320	192	-	415.8	587.6	771	10	46.2	0.6
MT1-20	320	192	-	369.6	587.6	771	20	92.4	0.6
MT1-30	320	192	-	323.4	587.6	771	30	138.6	0.6
MT1-40	320	192	-	277.2	587.6	771	40	184.8	0.6
MT1-50	320	192	-	231	587.6	771	50	231	0.6
MT1-60	320	192	-	184.8	587.6	771	60	277.2	0.6
MT1-70	320	192	0.6	138.6	587.6	771	70	323.4	0.6
MT1-80	320	192	0.9	92.4	587.6	771	80	369.6	0.6
MT1-90	320	192	1.5	46.2	587.6	771	90	415.8	0.6
MT1-100	320	192	2	0	587.6	771	100	462	0.6

Blok halindeki taşları küçük parçalar haline getirmek maliyet gerektiren bir işdir. Elde edilmek istenen boyut küçüldükçe maliyet parabolik olarak artış göstermektedir. Maliyeti büyük oranlarda artırmak istemediğimiz için 1 mm'nin altında kalan kısım, atık halindeki mermer tozuyla yer değiştirilerek kullanılmıştır.

Her numune serisi farklı bir karışım özelliğine sahiptir ve her bir seri 12 adet 150×150×150 mm standart küp numuneden, 6 adet 100×100×100 mm küp numuneden oluşmuştur. Her bir seri tek harmanda dökülmüştür.

5. DENEY SONUÇLARI NIN DEĞERLENDİRİLMESİ

DeneySEL çalışmalar sonucunda elde edilen küp numuneler üzerinde 4. Bölümde de bahsedildiği gibi taze beton özelliklerini belirlemek için çökme deneyi, dayanım özelliklerini belirlemek için basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyi, durabilite özelliklerini belirlemek için de kılcal su emme ve böhme aşınma dayanıklılık deneyleri yapılmıştır. Elde edilen verileri uygulama alanlarında kolayca kullanabilmek için grafikler ve formüller oluşturulmuştur. Sonuçlar, Bölüm 4’de kullanılan deney başlıkları adı altında, değerlendirmeler sırasıyla aşağıda verilmiştir.

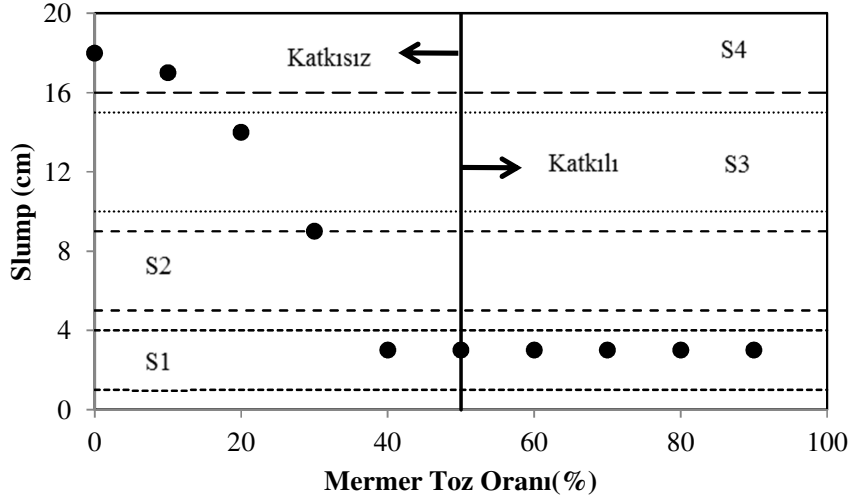
5.1. Mermer Tozunun İnce Agregayla (D<4 mm) Yer değiştirilerek Kullanımı

Türkiye ve Dünya için çevresel anlamda önemli bir tehlike olabilecek atık mermer tozu maksimum dane çapı 4 mm olan ince agregayla “belirli oranlarda ağırlıkça yer değiştirilerek, beton elde edilmiştir. W/C ve 1000 dm³’lük hacim sabit tutularak elde edilen beton numunelerin taze beton ve dayanım özellikleri Tablo 5.1 de verilmiştir. Tablo 5.1 ve Şekil 5.1 de de görüleceği üzere herhangi bir katkı maddesi kullanılmadan, % 50 oranına kadar mermer tozu kullanılabilmiştir. Çökmede meydana gelen azalmanın sebebi, ince malzeme miktarının artmasıyla, agregaların su ile temas eden yüzey miktarının arttığı ve böylece çökme değerinde azalma meydana geleceği şeklinde açıklanabilir. Amaç ekonomik ve çevreci bir beton üretmek olduğundan dolayı, bu orandan daha büyük oranlarla elde edilen karışımlarda maliyeti artırmamak için betonun minimum işlenebilirlik sınırı hedef alınmıştır.

Tablo 5.1 Mermer Tozunun Taze Beton ve Dayanım Özelliklerine Etkisi

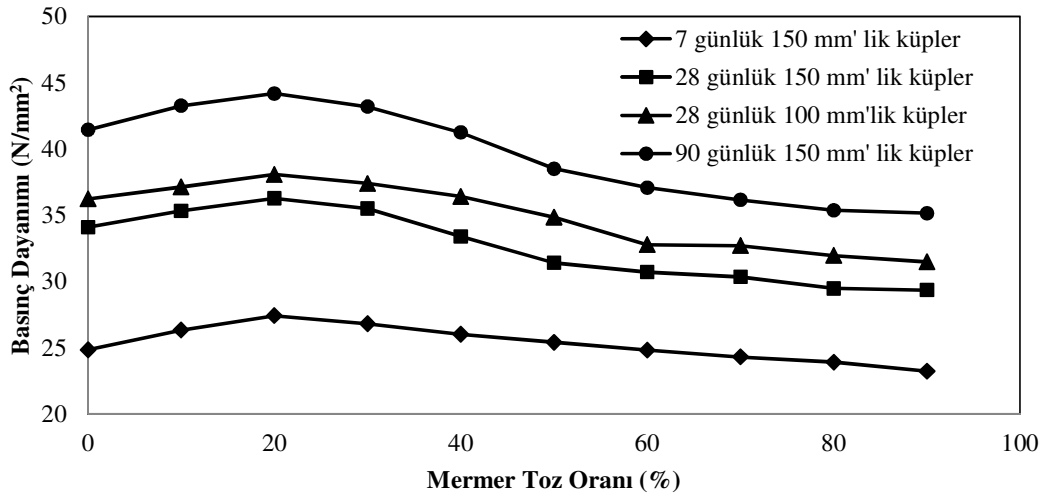
Seri Adı	Çökme (cm)	f _{cc}				f _t
		7g	28g	28g*	90g	28g
MTRF-00	18	24.83	34.10	36.22	41.44	2.61
MT4-10	17	26.32	35.32	37.14	43.27	3.05
MT4-20	14	27.41	36.27	38.08	44.19	3.22
MT4-30	9	26.80	35.50	37.40	43.20	3.10
MT4-40	3	26.00	33.40	36.42	41.24	2.80
MT4-50	3	25.40	31.41	34.85	38.51	2.58
MT4-60	3	24.80	30.70	32.77	37.07	2.50
MT4-70	3	24.30	30.34	32.70	36.16	2.44
MT4-80	3	23.90	29.47	31.96	35.37	2.40
MT4-90	3	23.22	29.34	31.48	35.15	2.35

* 100x100x100 mm’lik küp numunelere aittir.



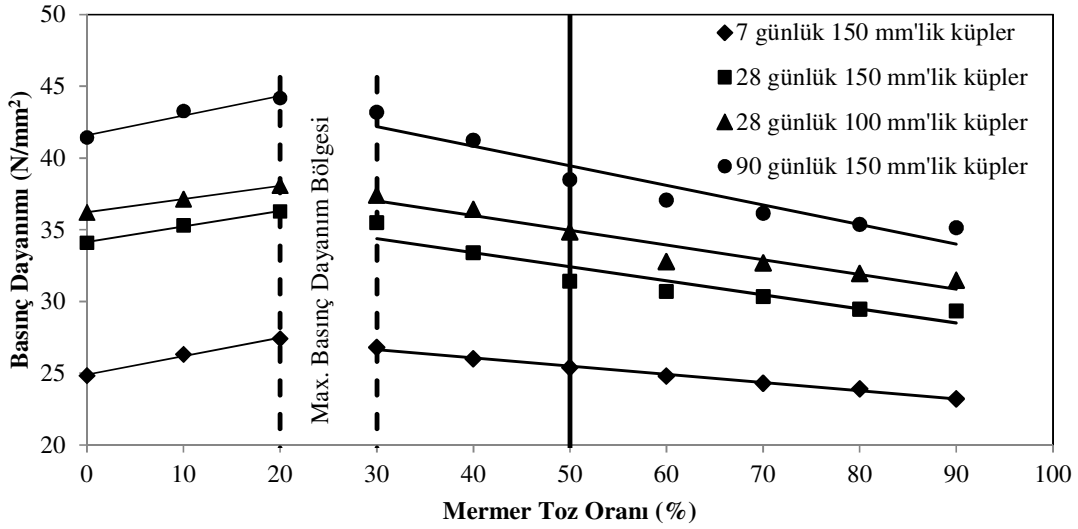
Şekil 5.1 Mermer tozunun oranı ile çökme değeri arasındaki ilişki

Basınç ve yarma dayanımlarının belirlenmesinde en az 2 numune kullanılmıştır. Şekil 5.2 ve 5.3 'ten de görüleceği gibi mermer tozu oranının artmasıyla basınç dayanımı mermer tozunun boşluk doldurma özelliğinden dolayı %20'lere kadar artmış, daha sonra dayanımda çok büyük değişimler olmadan azalmaya başlamıştır. Bu azalmanın nedeni ise agrega gradasyonunun bozulması olarak açıklanabilir. Ancak mermer tozu oranının artmasıyla meydana gelen dayanım düşmelerinin küçük olması mermer tozunun ince agrega yerine büyük oranlarda kullanılabileceği anlamına gelmektedir.



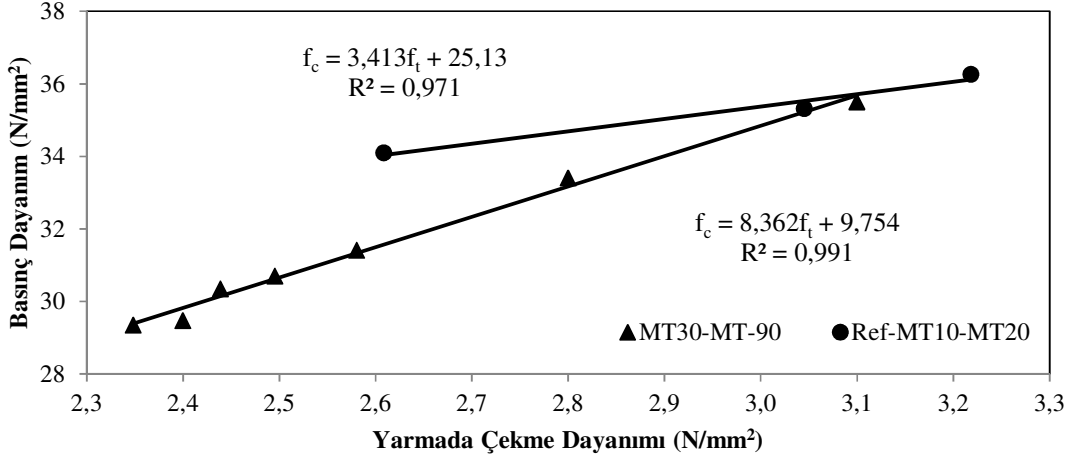
Şekil 5.2 Mermer tozu oranının basınç dayanımına etkisi

Şekil 5.2 de deney sonuçlarının yorumsuz hali görülmektedir. Mermer tozu oranı ile beton basınç dayanımı arasındaki değişim daha net bir şekilde Şekil 5.3 te ifade edilmiştir. Şekil 5.2 de de dikkat edilecek olursa %20 ile %30 arasında basınç dayanım eğrisi yön değiştirmiştir. Basınç dayanımı yönünden optimum aralığın %20 ile %30 arasında olduğu görülmektedir. Dayanımın maksimum olduğu mermer tozu oranı bu değerler arasında kaldığı rahatlıkla anlaşılmaktadır.



Şekil 5.3 Mermer tozu oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

Basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki Şekil 5.4' de gösterilmiştir. Basınç ve yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki iki farklı eğriyle ifade edilmiştir. Bu eğriler yardımıyla oluşturulan Denklem 5.1 mermer tozu oranının %0 ile %20 arasında kullanılması sonucunda basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişkiyi, Denklem 5.2' de ise mermer tozunun %30 ile %90 arasında kullanımı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. İki farklı denklem verilmesinin sebebi, dayanımlarda iki farklı eğim olmasıdır. Dayanımlarda artış olan bölge için ayrı azalma olan bölge için ayrı bir denklem elde edilmiştir.

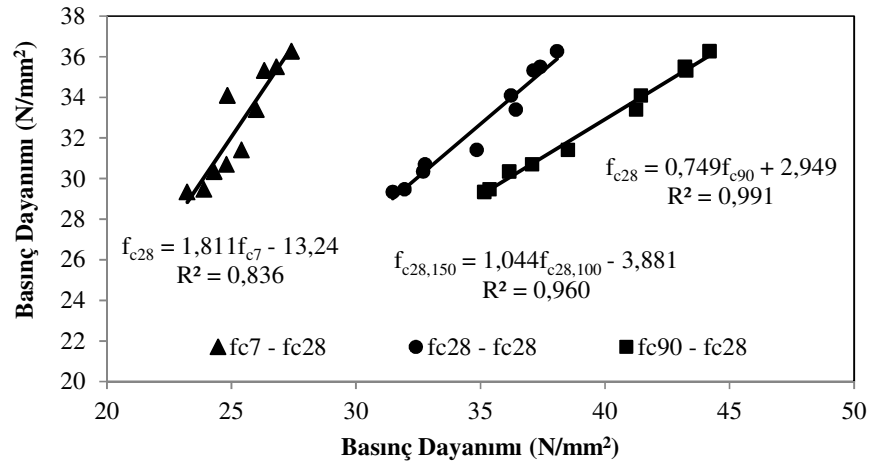


Şekil 5.4 Basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki

$$f_c = 3.413f_t + 25.13 \quad (5.1)$$

$$f_c = 8.362f_t + 9.754 \quad (5.2)$$

Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen ve Şekil 5.5 'te gösterilen bir diğer önemli sonuç ise farklı yaş ve geometriye sahip numuneler arasındaki basınç dayanımı ilişkileridir. Denklem 5.3 yardımıyla 7 ve 28 günlük farklı yaşlardaki standart küp numuneler arasındaki basınç dayanımı ilişkisi gösterilmektedir. Farklı geometriye sahip numuneler arasındaki basınç dayanımı ilişkisi Denklem 5.4 te verilmiştir. Denklem 5.5 yardımıyla ise 28 ve 90 günlük farklı yaşlardaki standart küp numuneler arasındaki ilişki yaklaşık olarak belirlenebilecektir.



Şekil 5.5 Farklı yaş ve geometriye sahip numuneler arasındaki basınç dayanımı ilişkisi

$$f_{c28} = 1.811f_{c7} - 13.24 \quad (5.3)$$

$$f_{c28,150} = 1.044f_{c28,100} - 3.881 \quad (5.4)$$

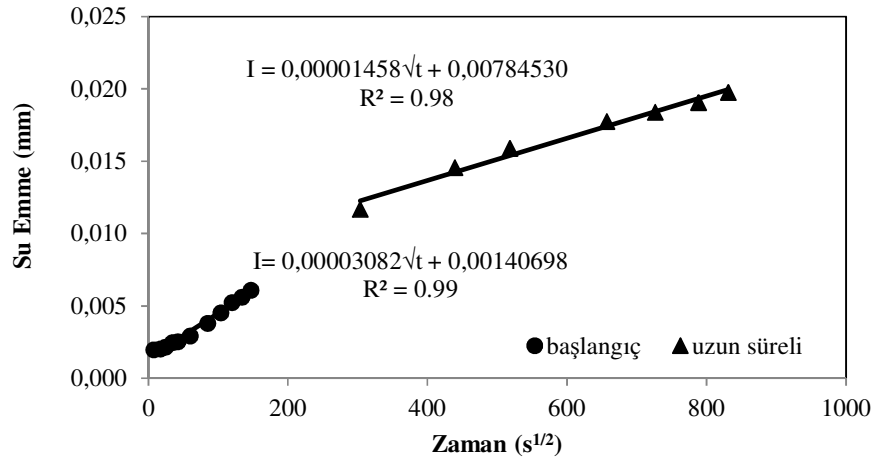
$$f_{c28} = 0.749f_{c90} + 2.949 \quad (5.5)$$

Kılcal su emme

Değişik türdeki yapılarda kullanılmakta olan beton, hizmet süresi boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok kimyasal ve/veya fiziksel etkenle karşılaşmaktadır. Bu etkenler, doğa koşullarından ve/veya betonun kullanıldığı ortamdaki kaynaklanmaktadır.

Sertleşmiş betonun su emme kabiliyeti, betonun hizmet süresi boyunca karşılaşabileceği yıpratıcı kimyasal ve fiziksel olaylara dayanıklılığını ve dayanımını etkilemektedir. Betonun içerisine dışarıdan sızan suların beton içerisinde ne kadar kolayca akış gösterebileceği, betonun ne ölçüde geçirimli bir beton olmasıyla ilgilidir. Deneysel çalışmalarda kullanılan mermer tozunun betonun geçirimliliğine dolayısıyla su emme kabiliyetinin (kapasitesinin) ne olduğunu öğrenmek için kılcal su emme deneyi ASTM-C 1585-04 esas alınarak yapılmıştır.

Sertleşmiş betonun su emme işleminde, önce büyük boyutlu kapiler boşluklar ve daha sonra da küçük boyutlu kapiler boşluklar suyla dolu duruma gelmektedir. O nedenle, betondaki su emme ilk zamanlarda büyük bir hızla, zaman ilerledikçe ise, giderek daha düşük bir hızla yer almaktadır. Bu yüzden Şekil 5.6 da referans betonuna ait su emme değerleri grafikte birincil ve ikincil su emme şeklinde iki farklı eğri ile ifade edilmiştir.



Şekil 5.6 Referans betonuna ait su emme –zaman ilişkisi

Tablo 5.2’de diğ er karışımlara ait su emme ve zaman ilişkisini gösteren formüller yine iki farklı eğri için verilmiştir. ASTM standardına göre deneyin güvenilir sonuçlar verebilmesi için R^2 değerinin 0,98’den büyük olması gerekmektedir. Tablo 5.2’ ye dikkat edilecek olursa belirlenen R^2 değerlerinin tamamı 0,98 ve üzeri olduğu görülmektedir.

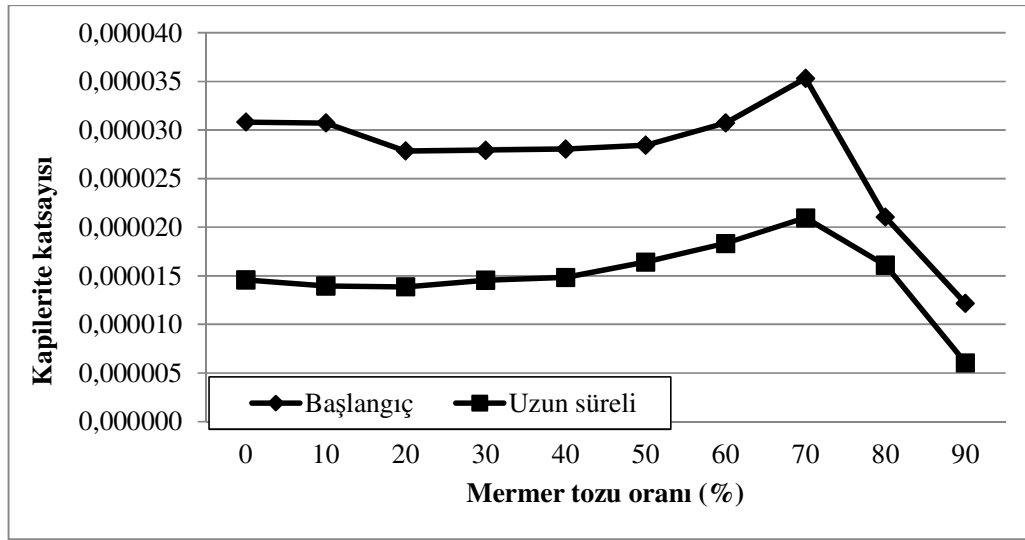
Tablo 5.2 Mermer tozunun başlangıç ve uzun süreli su emmesi arasındaki ilişki

Karışımlar	Başlangıç su emme		Uzun süreli su emme	
MTRF-00	$y = 0.00003082x + 0.00140698$	$R^2 = 0.99$	$y = 0.00001458x + 0.00784530$	$R^2 = 0.98$
MT4-10	$y = 0.00003074x + 0.00158577$	$R^2 = 0.99$	$y = 0.00001396x + 0.01166892$	$R^2 = 0.98$
MT4-20	$y = 0.00002786x + 0.00116031$	$R^2 = 0.99$	$y = 0.00001386x + 0.01134224$	$R^2 = 0.98$
MT4-30	$y = 0.00002793x + 0.00143513$	$R^2 = 0.99$	$y = 0.00001454x + 0.00705947$	$R^2 = 0.99$
MT4-40	$y = 0.00002805x + 0.00178305$	$R^2 = 0.99$	$y = 0.00001484x + 0.00354174$	$R^2 = 0.99$
MT4-50	$y = 0.00002845x + 0.00137724$	$R^2 = 0.99$	$y = 0.00001641x + 0.00128506$	$R^2 = 0.98$
MT4-60	$y = 0.00003074x + 0.00089198$	$R^2 = 0.99$	$y = 0.00001833x + 0.00612304$	$R^2 = 0.99$
MT4-70	$y = 0.00003533x + 0.00026389$	$R^2 = 0.99$	$y = 0.00002096x + 0.00797308$	$R^2 = 0.98$
MT4-80	$y = 0.00002105x + 0.00097968$	$R^2 = 0.98$	$y = 0.00001609x + 0.00371595$	$R^2 = 0.99$
MT4-90	$y = 0.00001216x + 0.00093106$	$R^2 = 0.98$	$y = 0.00000605x + 0.00020879$	$R^2 = 0.99$

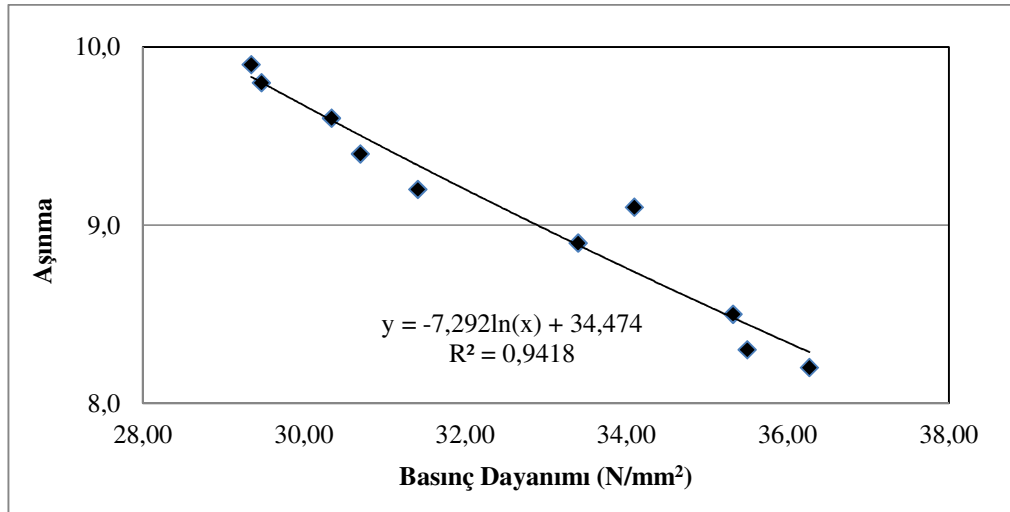
Tablo 5.2 ve Şekil 5.7’ye dikkat edilecek olursa hem başlangıç su emme hem de uzun süreli su emme için oluşturulan eğrilerin %50 oranına kadar birbirine yakın değerler verdiği gözlenmektedir. %50 ile %70 arasında su emme miktarının arttığı ancak daha sonra toz miktarı artmasına rağmen su emme miktarının oldukça azaldığı görülmektedir. Toz oranı beton içerisinde arttıkça genel anlamda boşluk miktarı azalacağından, su emme miktarının da azalması beklenir. Bahse konu bu artış ve azalışlar çok büyük miktarlarda olmamaktadırlar. Özellikle %40 ve fazlası mermer tozu kullanılan beton numunelerde su emme özelliğinin farklılık göstermesinin nedeni, beton içyapısı ile açıklanabilir. Özellikle %40 ve fazlası mermer tozu kullanılan beton için geleneksel beton tabirini kullanmak uygun olmayacaktır. Çünkü %50 ve fazla oranda mermer tozu kullanımı ile farklı özellikte bir beton elde edilmektedir. Adeta beton içerisinde farklı bir faz daha oluşmaktadır. Bu nedenle %50 ve fazlası mermer tozu kullanılan betonların, betonarme hesaba esas (elastisite modülü vb.) diğ er özelliklerinin de incelenmesi gerekir.

Aşınma dayanıklılığı

Betonun hizmet süresi boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek diğer bir fiziksel etki ise aşınmadır. Beton yüzeyinde sürtünme ve çarpma sebebiyle, yüzeyin erozyonuna neden olacak etkenler karşısında, betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti, aşınma dayanıklılığı olarak adlandırılmaktadır. Mermer tozunun aşınma dayanıklılığı üzerinde nasıl bir etkisinin olduğunu öğrenebilmek için TS 699' da belirtildiği şekilde böhme aşınma deneyi uygulanmış ve Şekil 5.8 e görüldüğü gibi, basınç dayanımı ile aşınma dayanıklılığı arasında ters orantı olduğu görülmüştür.



Şekil 5.7 Mermer tozu oranının başlangıç ve uzun süreli su emme miktarına etkisi



Şekil 5.8 Basınç dayanımı ile aşınma dayanıklılığı arasındaki ilişki

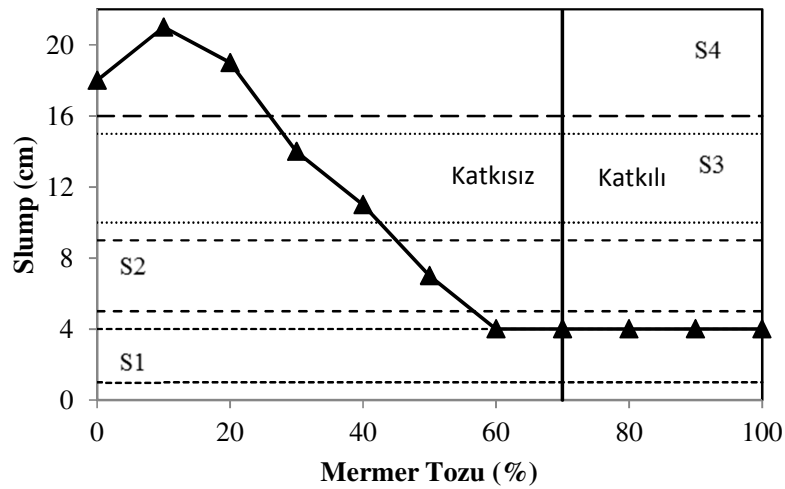
5.2. Mermer Tozunun İnce Agregayla (D<1 mm) Yer değiştirilerek Kullanılması

Deneysel çalışmanın ikinci grubunda ise yöreye has olarak bulunan Elazığ vişne mermerinin tozu kullanılmıştır. W/C ve 1000 dm³'lük hacim sabit tutularak elde edilen beton numunelerin taze beton ve dayanım özellikleri Tablo 5.3 te verilmiştir. Tablo 5.3 ve Şekil 5.9 dan da görüleceği üzere mermer tozu miktarının artmasıyla çökme değeri düşmüştür. Bunun sebebi, ince malzeme miktarının artmasıyla, agregaların su ile temas eden yüzey miktarının arttığı ve böylece çökme değerinde azalma meydana geldiği şeklinde açıklanabilir.

Tablo 5.3 Mermer Tozunun Taze Beton ve Dayanım Özelliklerine Etkisi

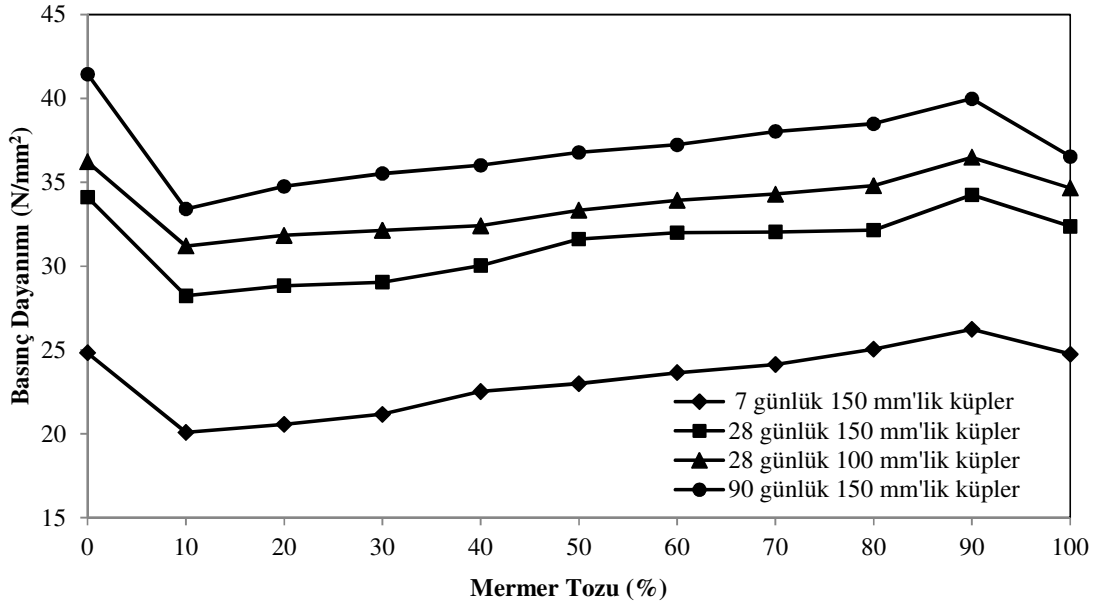
Seri Adı	Slump (cm)	f _{cc}				f _t
		7g	28g	28g*	90g	28g
MT1-00	18	24.83	34.10	36.22	41.44	2.61
MT1-10	21	20.09	28.23	31.20	33.40	2.45
MT1-20	19	20.56	28.83	31.84	34.76	2.48
MT1-30	14	21.17	29.04	32.13	35.52	2.50
MT1-40	11	22.53	30.03	32.41	36.01	2.52
MT1-50	7	23.00	31.61	33.33	36.79	2.57
MT1-60	4	23.65	31.99	33.93	37.23	2.59
MT1-70	4	24.14	32.04	34.29	38.03	2.61
MT1-80	4	25.05	32.15	34.79	38.49	2.65
MT1-90	4	26.23	34.24	36.49	39.97	2.70
MT1-100	4	24.75	32.37	34.66	36.53	2.61

* 100x100x100 mm'lik küp numunelere aittir.



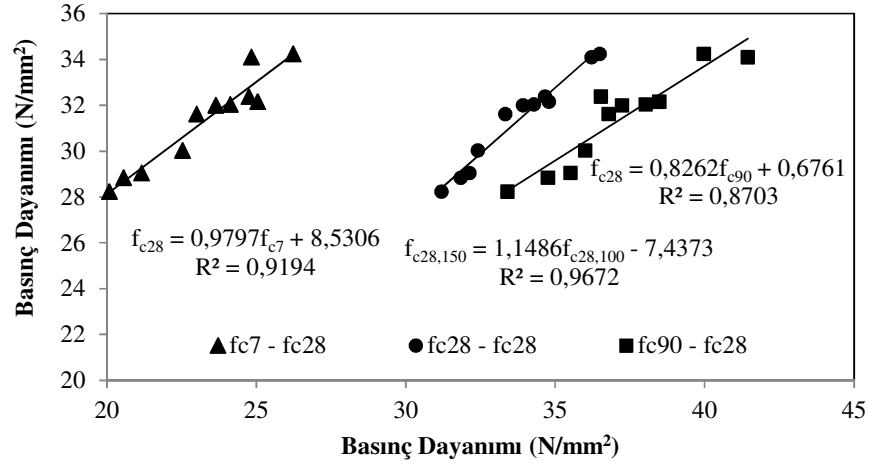
Şekil 5.9 Mermer tozunun oranı ile çökme değeri arasındaki ilişki

Şekil 5.10 a dikkat edilecek olursa mermer tozu oranının ilk değeri olan % 10'luk kullanımda basınç dayanımları referans betonuna göre ani bir düşüş göstermiş ve daha sonra %90'a kadar sürekli olarak artmıştır. Ani düşüşün sebebi agrega gradasyonunun bozulması olarak açıklanırken daha sonra meydana gelen dayanım artışı, boşluk oranının azalması olarak yorumlanabilir.



Şekil 5.10 Mermer tozu oranının basınç dayanımına etkisi

Şekil 5.11 'de gösterilen bir diğer önemli sonuç ise farklı yaş ve geometriye sahip numuneler arasındaki basınç dayanımı ilişkileridir. Denklem 5.6 yardımıyla 7 ve 28 günlük farklı yaşlardaki standart küp numuneler arasındaki basınç dayanımı ilişkisi gösterilmektedir. Farklı geometriye sahip numuneler arasındaki basınç dayanımı ilişkisi Denklem 5.7 de gösterilmektedir. Denklem 5.8 yardımıyla ise 28 ve 90 günlük farklı yaşlardaki standart küp numuneler arasındaki ilişki yaklaşık olarak belirlenebilecektir.



Şekil 5.11 Farklı yaş ve geometriye sahip numunelerin basınç dayanımları arasındaki ilişki

$$f_{c28} = 0.9797f_{c7} + 8.5306 \quad (5.6)$$

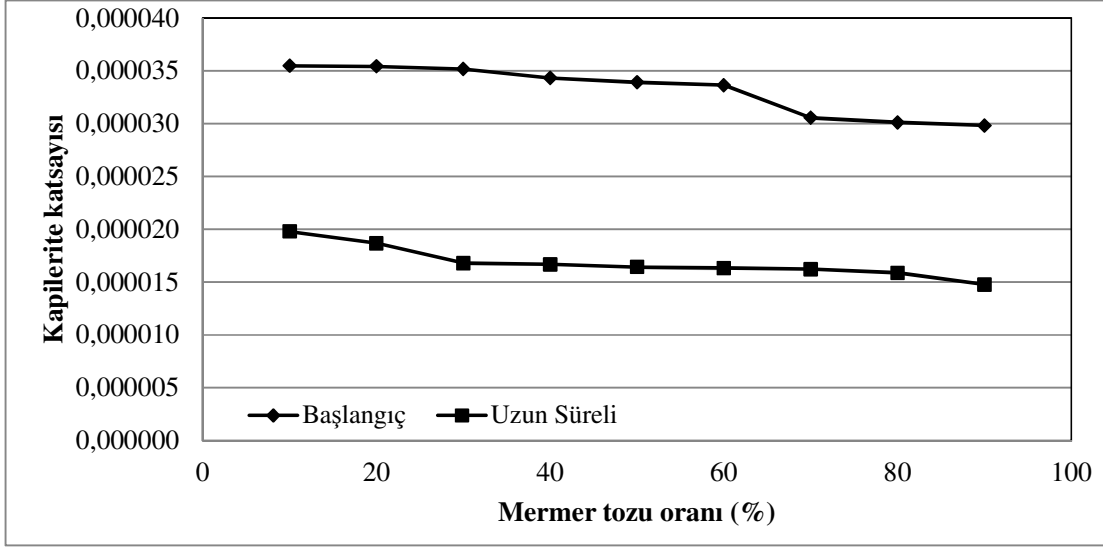
$$f_{c28,150} = 1.1486f_{c28,100} - 7.4373 \quad (5.7)$$

$$f_{c28} = 0.8262f_{c90} + 0.6761 \quad (5.8)$$

Tablo 5.4 ve Şekil 5.12 de mermer tozunun ince agregayla ($D < 1\text{mm}$) yer değiştirilmesi sonucunda meydana gelen başlangıç ve uzun süreli su emme değerleri arasındaki ilişki verilmiştir. %90 oranına kadar mermer tozu kullanılmasıyla su emme değerlerinin birbirine yakın değerler aldığı gözlemlenmiştir.

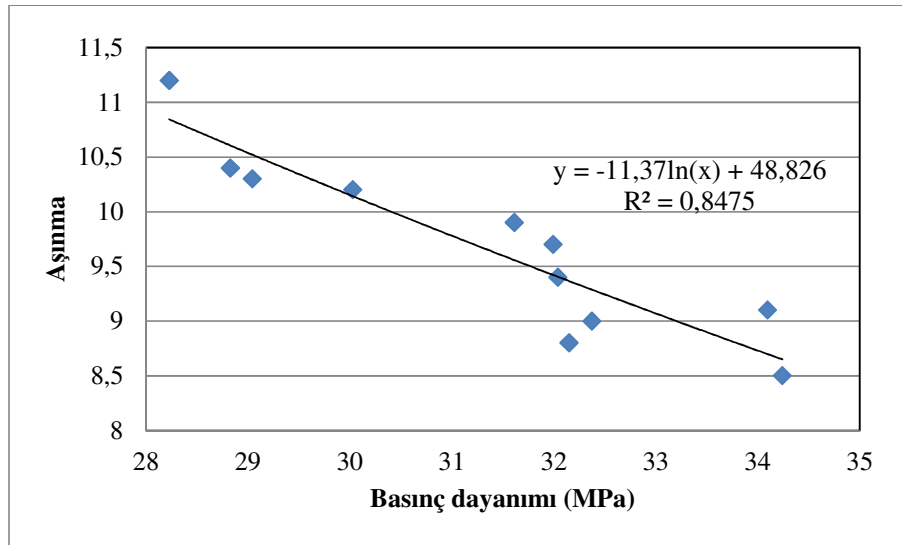
Tablo 5.4 Mermer tozunun başlangıç ve uzun süreli su emmesi arasındaki ilişki

	Başlangıç su emme		Uzun Süreli su emme	
	Y =	R ²	Y =	R ²
MTRF-00	$y = 0,00003082x + 0,00140698$	$R^2 = 0,98537605$	$y = 0,00001458x + 0,00784530$	$R^2 = 0,98126017$
MT1-10	$y = 0,00002983x + 0,00169364$	$R^2 = 0,99271672$	$y = 0,00001967x + 0,00779548$	$R^2 = 0,98278156$
MT1-20	$y = 0,00003011x + 0,00151521$	$R^2 = 0,99383327$	$y = 0,00001979x + 0,00769766$	$R^2 = 0,98159137$
MT1-30	$y = 0,00003517x + 0,00135146$	$R^2 = 0,99596588$	$y = 0,00001678x + 0,00934021$	$R^2 = 0,98186369$
MT1-40	$y = 0,00003548x + 0,00146744$	$R^2 = 0,99687193$	$y = 0,00001633x + 0,00906395$	$R^2 = 0,98182877$
MT1-50	$y = 0,00003542x + 0,00127920$	$R^2 = 0,99356905$	$y = 0,00001667x + 0,00751545$	$R^2 = 0,98235865$
MT1-60	$y = 0,00003364x + 0,00141204$	$R^2 = 0,99666033$	$y = 0,00001633x + 0,00606149$	$R^2 = 0,98146116$
MT1-70	$y = 0,00003391x + 0,00101307$	$R^2 = 0,99303006$	$y = 0,00001622x + 0,00771441$	$R^2 = 0,98505398$
MT1-80	$y = 0,00003431x + 0,00160205$	$R^2 = 0,99868578$	$y = 0,00001577x + 0,00884527$	$R^2 = 0,98439679$
MT1-90	$y = 0,00003056x + 0,00131967$	$R^2 = 0,99910906$	$y = 0,00001588x + 0,00551337$	$R^2 = 0,98232317$
MT1-100	$y = 0,00003278x + 0,00157624$	$R^2 = 0,99907885$	$y = 0,00001786x + 0,00614100$	$R^2 = 0,98137659$



Şekil 5.12 Mermer tozu oranının başlangıç ve uzun süreli su emme miktarına etkisi

Mermer tozunun aşınma dayanıklılığı üzerinde nasıl bir etkisinin olduğunu öğrenmek için TS 699’ da belirtildiği şekilde böhme aşınma deneyi uygulanmış ve Şekil 5.13 e görüldüğü gibi, basınç dayanımı ile aşınma dayanıklılığı arasında ters orantı olduğu görülmüştür.



Şekil 5.13 Basınç dayanımı ile aşınma dayanıklılığı arasındaki ilişki

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mermer işlenmesi sırasında büyük miktarlarda atık ve artık maddeler haline dönüşmektedir. Hem büyük bir ekonomik kayıp hem de tehlikeli bir çevre sorunu haline gelen bu atıklar birçok sektörde kullanılmakta ancak var olan tehlikeyi ortadan kaldıramamaktadır. Dünya genelinde yaklaşık 7 Milyar m³ beton üretildiği düşünülecek olursa beton sektöründe böyle bir atığı değerlendirmek uygun olacaktır. Buradan yola çıkarak hazırlanan tez çalışmasında, atık halinde bulunan mermer çamuruna çok büyük fiziksel kuvvet uygulanmadan toz haline getirilerek ince agrega yerine kullanılmıştır. Döküm yapılırken iki farklı mermer tozu iki farklı deney grubuyla kullanılmış 20 farklı karışım oluşturularak yaklaşık 400'e yakın numune elde edilmiştir. Elde edilen numunelerin hazırlıkları sırasında ve numunelere uygulanan deneylerin incelenmesinden sonra kazanılan bilgiler değerlendirilmiş ve sonuçları maddeler halinde ifade edilmiştir:

- Türkiye mermer rezervi ve üretimi konusunda dünyada önemli bir yere sahiptir. Üretim beraberinde atık malzemede getirmektedir. Türkiye de yaklaşık 33 İlde, 200'ü aşkın firma ile ocaklardan elde edilen mermer işlenmektedir. Bu işlemin sonucunda yılda yaklaşık 2.500.000 ton mermer tozu oluşmaktadır. Mermer tozu şu anda bile çevre için potansiyel bir tehlikedir. Depolanamayacak kadar çok olan bu atığın beton üretiminde kullanılabileceği görülmüştür. Betonda kullanılan mermer tozu ile olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan değerler dikkate alınarak, istenilen özellikte mermer tozlu betonlar elde edilebilir. Bu şekilde atık bir malzeme kullanılması çevre açısından çok önemli bir gelişmedir. Henüz çevreye vereceği zararlar bile tam olarak bilinmeyen bu tozun, beton gibi çok kullanılan bir malzemede kullanılması büyük bir avantaj teşkil etmektedir. Ayrıca atık malzeme kullanıldığı için beton maliyeti azalacak ve ülke ekonomisine olumlu katkıda bulunulacaktır. Mermer tozu ile çevreye duyarlı ve ekonomik bir beton elde etmek mümkün olduğu belirlenmiştir.
- Mermer tozu maksimum dane çapı 4 mm olan ince agrega ile yer değiştirilerek kullanıldığında, %50 oranına kadar kullanılmasının işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık açısından betona olumlu özellikler kattığı görülmektedir. %50 oranına kadar mermer tozu kullanılmış karışımlarla, referans betonun özelliklerine yakın

özellikler elde etmenin mümkün olduğu görülmüştür. Mermer tozunun böylesine önemli miktarlarda betonda kullanılabilmesi beton ekonomisi ve çevre açısından oldukça önemli bir gelişmedir.

- Mermer tozu ince agregaya ($D < 1\text{mm}$) ile yer değiştirilerek kullanıldığında, %90 oranına kadar kullanılmasının işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık açısından betona olumlu özellikler kattığı görülmektedir. %90 oranına kadar mermer tozu kullanılmış karışımlarla, referans betonun özelliklerine yakın özellikler elde etmenin mümkün olduğu görülmüştür. Günümüzde doğal malzeme yerine kırmataş kullanımı her geçen gün artmaktadır. Kırmataş elde edilmesi işleminde ise ince malzeme en pahalı malzeme bölümü olarak karşımıza çıkmaktadır. Mermer tozu kullanımı sayesinde ciddi bir ekonomik kazanç ve enerji tasarrufu sağlanacaktır.
- İnce agregaya ($D < 4\text{mm}$) ile %50 den fazla oranda mermer tozu yer değiştirilerek elde edilen betonlar özel bir beton grubu olarak incelenebilirler. Hatta farklı katkıları kullanılarak performansı yüksek özel bir beton türü elde edilebilir.
- Elde edilen iki farklı deney grubuna göre mermer tozunun $D < 4\text{mm}$ olan ince agregaya ile %50 oranına kadar, $D < 1\text{mm}$ olan ince agregayla %90 oranına kadar yer değiştirilerek kullanılacağı uygun olduğu belirlenmiştir. Ancak agregaya granülometrisi incelenecek olursa, maksimum dane çapı 4 mm olan ince agreganın %50'lik kısmı agregaya hacmi olarak yaklaşık %35 lik miktara karşılık gelirken, dane çapı maksimum 1 mm olan ince agreganın %90 lık kısmı agregaya hacmi olarak yaklaşık %20 lik miktara karşılık gelmektedir. Bu nedenle maksimum dane çapı 4 mm olan ince agregayla mermer tozunun yer değiştirilmesi atığın ortadan kaldırılması ve ekonomik beton üretilmesi için daha uygun olacağı önerilmektedir.

Sonuç olarak, atölye ve fabrikaların atık havuzlarında çamur halinde bulunan mermer tozlarının değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması amacıyla yapılan deneysel çalışmanın sonuçlarına göre; mermer tozlarının beton karışımında kullanılması beton kalitesinde olumsuz bir etki oluşturmadığı görülmüştür. Bu açıdan işleme sonucu açığa çıkan mermer atıkları diğer sanayilerde olduğu gibi hazır beton tesislerinde de ince malzeme olarak değerlendirilebilir. Böylece milli bir kayıp olan mermer atıklarının ekonomiye katkısının yanında çevresel kirliliğin azalmasına da büyük yararlar sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Filiz, M., Özel, C., Soykan, O. ve Ekiz, Y., 2010. "Atık Mermer Tozunun Parke Taşlarında Kullanılması", Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6, 57-72.
- [2] Erdoğan, T.Y., 2010." Beton", ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- [3] Özel, C., 2007. "Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Taze Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi", Doktora Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [4] Akman., S., 'Beton Teknolojisine Giriş' İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemeleri ABD, İstanbul.
- [5] Özcan, A., 2006. "Endüstriyel Atıklar ve Polipropilen Lif İçeren Saha Betonlarının Özelliklerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- [6] Mesci, B., Ergun, O. N., Çakıroğlu, M., 2007. "Bakır Endüstri Atıklarının Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması", 2. Yapılarda Kimyasal katkılar Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara, 299-309.
- [7] Şahin, S., Karaman, S., Örüng, İ., 2007. "Atık PVC Katkılı Hafif Betonların Özellikleri ve Tarımsal Yapılarda Kullanım Olanakları", Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi (Journal of Tekirdag Agricultural Faculty), 4 (2), 137-144.
- [8] Etxeberria, M., Pacheco, C., Meneses, J. M., Berridi, I., 2010. "Properties of Concrete Using Metallurgical Industrial By-Products as Aggregates", Construction and Building Materials, 24, 1594–1600.
- [9] Galvão, j. C. A., Portella, K. F., Joukoski, A., Mendes, R., Ferreira, E. S., 2010. "Use of Waste Polymers in Concrete for Repair of Dam Hydraulic Surfaces", Construction and Building Materials.
- [10] Hebhouh, H., Aoun, H., Belachia, M., Houari, H., Ghorbel, E., 2010. "Use of Waste Marble Aggregates in Concrete Construction and Building Materials".
- [11] Özel, C., Filiz, M., Sevinç, A. ve Kıran, C., 2011. "Betonda Fiber Katkı Olarak Polietilen Tereftalatın Kullanılabilirliğinin Araştırılması", SDU International Technologic Science, 3 (2), 17-28.
- [12] Kaya, G., Turan, S., "Yüksek Fırın Cürufunun Seramik Sektöründe Katma Değeri Yüksek Ürünlerin Eldesinde Değerlendirilmesi" Mühendis Ve Makine - Cilt: 45 Sayı: 536.
- [13] Demir, İ., "Mermer Tozunun Kullanım Alanları", bk.aku.edu.tr.
- [14] Çelik M. Y. ve Tur, Ş., 2009. "Afyonkarahisar Organize Sanayi Bölgesi Mermer Atıkları Depolama Sahasının Özellikleri", AKÜ Fen Bilimleri Dergisi, 1, 41-49.
- [15] Beycioğlu, A., Başyigit C. ve Subaşı, S., 2008. "Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması", Çevre Sorunları Sempozyumu, Kocaeli, 14-17 Mayıs, 1387-1394.
- [16] Baradan B., Yazıcı H. ve Ün, H., 2002. "Betonarme Yapılarda Kalıcılık", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.

- [17] DPT, 1996. "Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu", Ankara.
- [18] Kulaksız S., "Doğal Taş Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri.", der. Kulaksız S., 1-5, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 2005.
- [19] Sarıtaş A., 2006. "Burdur İli Mermer Sektörünün Kurumsal ve Ekonomik Yapısı", Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- [20] Gürsoy, S., 2005. "Muğla İlinde Mermercilik Sektörünün Gelişimi ve İl Ekonomisine Katkıları".
- [21] DPT, "Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu", Cilt-III (Mermer), Yayın No: DPT: 2434-: 491, Ankara, 1996.
- [22] Tosun, A., 2007. "Türkiye'nin Mermer İhracatını Arttırma Olanaklarının Araştırılması".
- [23] Kışman Z. A., ve Kan Ö. D., 2011. "Elazığ Mermeri Sektörel Araştırması", Fırat Kalkınma Ajansı Raporu, Elazığ, Türkiye.
- [24] DPT, "Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu", 2001.
- [25] ÜNLÜ, N., 1993. "Mermer İhracat İmkânları ve Dış Pazar Araştırması", İGEME, Ankara.
- [26] YEŞİLKAYA, L., 1995. "Mermer Madenciligi, Afyon Kocatepe Üniv. Yay., Afyon , s.6.
- [27] Erkek D., ve Özdemir S., 2011. "Mermer ve Traverten Sektörüne Küresel ve Bölgesel Yaklaşım"
- [28] T.S.E. 10449, 1992. "Mermer-Kalsiyum Karbonat Esaslı-Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanımı", Ankara
- [29] Şen, S., 2006. "Baltaşı-Palu (Elazığ) Travertenlerinin Tekno-Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [30] BİLGİNOĞULARI MAD. İNŞ. TUR.. TİC. VE SAN. LTD. ŞTİ. 2010. "Kalker Ocağı ve Kırma Eleme Tesisi, Öğütme Tesisi ve Hazır Beton Santrali Kapasite Artışı Çevresel Etki Değerlendirmesi Başvuru Dosyası", Eskişehir.
- [31] Özmen M., 2003. "Kasım 2000 – Şubat 2001 Ekonomik Krizleri ve Göller Bölgesi Mermer Sektörüne Etkileri" , Isparta.
- [32] Öztürk B., 2006. "Mermer Sanayisindeki İşletmelerin Üretim ve Pazarlama Sorunlarının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Muğla.
- [33] Satırcı Y., 1999. "Türkiye Mermer Sektörünün Sorunları ve Çözüm Önerileri", Kütahya.
- [34] Köktürk, U., 2002. "Endüstriyel Hammaddeler", Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Yayını, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir,.
- [35] Uyanık, T., 2001. "Doğaltaslar Dış Pazar Araştırması", T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı, İhracatı Geliştirme Etüt Merkezi Yayını, Ankara.

- [36] Onargan, T., Köse, H., Deliormanlı, A.H., 2005. “Mermer”, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, İzmir.
- [37] Bilgin, M., Çakır, E., 1998. “Mermer Araştırması”, İstanbul Ticaret Odası Yayın No: 1998-1, İstanbul.
- [38] Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, İ.T., Sarıışık, A., 1996. “Mermer Teknolojisi”, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 242s.
- [39] Kun N., 2000. “Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi”, İzmir Mermerciler Odası, İzmir.
- [40] T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, 1995. “Mermer ve Granit Sektör Araştırması, Ankara.
- [41] Altınççek, A., 2001. “Mermer Ocağı Açımında Temel Alınacak Bölgesel ve Yersel Kriterler”, Türkiye III. Mermer sempozyumu(MERSEM '2001) Bildiriler Kitabı, 235-247.
- [42] Türker, P., ve Erdoğan B., “Mermer Tozunun Çimentonun Hidratasyonuna ve Mikroyapısına Etkileri”, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 50-62.
- [43] 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001. “Madencilik Ö.İ.K. End. Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri 2 Çalışma Grubu Raporu”, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- [44] Bilecik Bölgesi Mermer Sektörünün Uluslararası Rekabetçilik Analizi: Sektörel Sorunlar ve Çözüm Önerileri,2008.
- [45] İMMİB Pazara Giriş Doğal Taş Sektörü Strateji Çalışması Ekim 2010.
- [46] İstanbul Ticaret Odası. Haziran 2003 www.ito.org.tr.
- [47] Alyamaç, K. E. ve İnce, R., 2007. Atık Mermer Çamurunun Kendiliğinden Yerleşen Betonda Toz Madde Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, TÇMB 3rd International Symposium , 821-832, İstanbul.
- [48] Acar, H. “Atıkların ve Artıkların Ekonomiye Kazandırılması İçin Gerekli Yasal Düzenlemeler”.
- [49] Ceylan, H., 2000. Mermer Fabrikalarındaki Mermer Toz Atıklarının Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta,Türkiye.
- [50] Lappa, Ş., Yıldız, A., Demirbilek, Ö., 1997, Mermercilikte Atık Sorunu, Atıkların Değerlendirilmesi ve Çevre İlişkileri, Mermercilik Semineri Raporu, Afyonkarahisar.
- [51] Büyüksağış, İ.S., 1995. Mermer İşleme Tesisleri Atık Sularının Arıtım Yöntemleri ve Ekonomikliklerinin İncelenmesi. Türkiye i. Mermer Sempozyumu Kitabı. 69- 76, Ankara.
- [52] Çelik, M. Y., 1996, Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi Afyonkarahisar.
- [53] Burdur Valiliği, Mahalli Çevre Kurulu Kararı, Burdur, 2006)
- [54] T.C Sayıştay Başkanlığı, 2007. “Türkiye’de Atık Yönetimi Ulusal Düzenlemeler ve Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi”, Performans Denetimi Raporu, Ankara.

- [55] Alyamaç, K. E. ve Çetişli, F., 2010. Atık Mermer Tozunun Beton İçerisinde Kum ile Yer Değiştirilerek Kullanılabilirliğinin Araştırılması, UKAY, 488-496.
- [56] Alyamaç, K. E., 2008. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Lineer Olmayan Kırılma Mekanik Prensipleriyle İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [57] Alyamaç, K. E., 2009. Atık Mermer Çamuru İçin Geniş Bir Kullanım Alanı: Beton Sektörü, 3. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 221-230, Ankara.
- [58] Yüçetürk, G., 2010. “Göller Yöresindeki Kayaçların Minerolojik ve Petrografik Özelliklerinin Yapay Mermer Kalitesine Etkileri”, Doktora tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [59] Önenç, D. İ., 1998. “Sedimanter Kaya Mermerciliğinde Bloklarda Ürün Alınmasını Engelleyen Jeolojik Oluşumlar”, Maden Tetkik ve Arama Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 1-2 61-63.
- [60] Kırgız, MS. 2007. “Mermer ve Tuğla Endüstrisi Atıklarının Çimento Üretiminde Minerolojik Katkı Olarak Kullanılması”, 228 S. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [61] Özdamar, Z., Yavuz, B., 2005. “Türk Yapı Sektörü Raporu”, Yapı-Endüstri Merkezi, İstanbul, 70-77, 100-102, 147-160.
- [62] Kırgız, M. S., 2009. “Minerolojik Katkıların Çeşitli Tanımları, Sınıfları, Özellikleri ve Kullanım Alanları, Trakya Univ J Sci, 10(2), 189,198.
- [63] Köse, HM., Diker, M., 1999. “Maden Ve Madencilğe Dayalı Sanayilerin Türkiye Ekonomisine Katkısı”. 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 1-5.
- [64] Bilgin, N., 2010. “MERMER TOZU ATIKLARININ YAPI MALZEMESİ ÜRETİMİNDE KULLANIMI”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [65] Ünal, O. ve Kibici, A. 2001. “Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması”, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem '2001) Bildiriler Kitabı, 317-325, Afyon.
- [66] Türk Standartları Enstitüsü, 2000, “TS EN 1097-2 Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin-Bölüm 2; Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar”, Ankara.
- [67] Türk Standartları Enstitüsü, 2001, “TS EN 1367-1 Agregaların Termal Bozunma Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 1; Donmaya ve Çözülmeye Karşı Direncin Tayini”, Ankara.
- [68] Türk Standartları Enstitüsü, 2003, “TS EN 1008, Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su da Dahil Olmak Üzere Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları”, Ankara.
- [69] Türk Standartları Enstitüsü, 2001, “TS EN 12350-2 Taze Beton Deneyleri - Bölüm 1; Çökme Deneyi”, Ankara.
- [70] Türk Standartları Enstitüsü, 2003, “TS EN 12390-3 Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini”, Ankara
- [71] Türk Standartları Enstitüsü, 2003, “TS EN 12390-6 Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini”, Ankara.

- [72] Annual Book of ASTM Standards, 2007,” ASTM C 1585-04 Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, United States.
- [73] Arslan, M., 2001. The Effects of Permeable Formworks With Sucker Liners on The Physical Properties of Concrete Surfaces. Construction and Building Materials 15 , 149-156.
- [74] Türk, K., Karatas, M., 2011. Abrasion Resistance and Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete With Different Dosages of Fly Ash/Silica Fume. Indian Journal of Engineering & Materials Sciences Vol.18, 49-60.
- [75] Türk Standartları Enstitüsü, 2009, “ Doğal Yapı Taşları- İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, Ankara.
- [76] Türk Standartları Enstitüsü, 1985, “TS 802 Beton Karışım Hesap Esasları, Ankara

ÖZGEÇMİŞ

Alp Buğra AYDIN, 1989 yılında Elazığ'da doğmuştur. İlk, orta ve lise öğretimini Özel Harput Koleji'nde tamamlamıştır. 2006 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne başlayıp, 2010 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl güz döneminde Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Yüksek Lisans eğitimine devam ederken, 2011 yılının Temmuz Ayı'nda Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Ana Bilim Dalı'na araştırma görevlisi olarak atanmıştır. 2012 Temmuz ayında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne araştırma görevlisi olarak atanmış ve halen bu görevi sürdürmektedir.