

Mermer Fabrikaları Toz Atıklarının Değerlendirilmesi

Murat Bilensoy

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2010

Evaluation of Waste Dusts of Marble Factories

Murat Bilensoy

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Mining Engineering

June 2010

Mermer Fabrikaları Toz Atıklarının Değerlendirilmesi

Murat Bilensoy

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı  
Cevher Hazırlama Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Muammer Kaya

Haziran 2010

## ONAY

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Murat Bilensoy'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Mermer Fabrikaları Toz Atıklarının Değerlendirilmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Muammer Kaya



**İkinci Danışman** : -----

### Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

**Üye** : Prof. Dr. Muammer KAYA



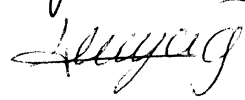
**Üye** : Prof. Dr. Ender SÖNMEZ



**Üye** : Prof. Dr. Sabiha KOCA



**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Derya ÖZ AKSOY



**Üye** : Yrd. Doç. Dr. M. Serhat BAŞPINAR



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Günümüzde madencilik sektörünün ortaya çıkardığı atıklar, bunların azaltılması ve geri kazanım uygulamalarıyla ilgili çalışmalar birçok araştırmaya konu olmaktadır. Özellikle doğal taş sektörünün kesim atıkları birçok araştırmacıyı bu konuya yönlendirmektedir. Yapı uygulamalarında sıkça kullanılan mermer, kesimi sırasında çıkan atıklar nedeniyle önemli ölçüde katı atık çıkaran bir endüstri kolu durumundadır. Günümüzdeki çevre bilincinin gelişimi ve dolgu sahalarındaki maliyetler nedeniyle mermer kesim tozlarının geri kazanımı ile ilgili önemli araştırmalar yürütülmektedir.

Bu çalışmada mermer kesiminden toz olarak çıkan atıkların cam suyu kullanılarak sıkıştırılabilirlikleri incelenmiştir. Bu amaçla filtre pres keki olarak alınmış kesim atıkları kurutulmuş ve topraklar dağıtılarak mermer tozu elde edilmiştir. Farklı oranlarda cam suyu kullanılarak presleme tekniği ile numuneler üretilmiştir. Numunelerin üretilmesi için bazı serilerde seyreltik cam suyu da kullanılmıştır. Farklı bir numune serisi olarak yine atık bir malzeme olan silis dumanı mermer tozuna ilave yapılarak numuneler üretilmiştir.

Sonuç olarak camsuyunun (sodyum silikat) uygun karıştırma yöntemi kullanılarak mermer tozuna katılmasıyla, mermer tozunun kolayca sıkıştırılabildiği görülmüştür. Camsuyunun atmosferle ilişkisine bağlı olarak meydana gelen hidratasyon neticesinde, mermer tozlarını önemli sağlamlıkta birbirine bağladığı gözlenmiştir. Cam suyu miktarındaki artış ile elde edilen preslenmiş ürünlerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerinde iyileşme gözlenmiştir. En yüksek katkı değeri olan %7 değerinde, maksimum mukavemet değeri olan 16,17 MPa değerine ulaşılmıştır. Bu değer ise bu yöntemle üretilebilecek ürünlerin yapı sektöründe birçok alanda alternatif malzeme olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Mermer tozu, cam suyu, sıkıştırılabilirlik, atık malzeme, yapı elemanı, çevre

## SUMMARY

Today waste materials from mining industry, waste minimization techniques and recycling strategies are important research fields for several researchers. Especially sawing dusts from natural stone industry play an important role for the investigations. Marble industry, which produces the basic construction elements for buildings, also produces important amount of waste material. Due to the increasing awareness on environment and increasing cost of land filling, there is an important effort for the recycling of marble sawing dust.

The main objective of this study is to investigate the compression ability of marble sawing dusts with water glass (sodium silicate). For this purpose; firstly filter cake of marble sawing dust were dried and then de-agglomerated by mechanical processing. Different sample series were produced by pressing technique using different amount of water glass addition. Diluted water glass was used for some tests. Some test series were performed by replacing some part of marble dust with silica fume which is an another inorganic waste material.

As a conclusion, easy compaction properties of marble dusts were observed when water glass is mixed with marble dust by proper mixing technique. Depending on the hydration of the water glass during atmospheric exposure, good bonding of marble powders to each other was observed. Physical and mechanical properties of the samples increased by increase in the water glass addition amount. Maximum compressive strength of 16,17 MPa value was measured for the sample series which contains maximum water glass addition of 7 %. Physical and mechanical properties of the samples shows that obtained products may be used in the construction industry as an alternative materials for several field.

Key words: Marble dust, water glass, compressibility, waste material, environmental

## TEŞEKKÜR

Gerek derslerimde ve gerekse tez alıőmalarında, bana danıőmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danıőmanım Sayın Prof. Dr. Muammer KAYA'ya teőekkürü bir bor bilirim.

Sadece lisansüstü eğitim çalıőmalarımnda değil, hayatımın her alanında yanımda ve en büyük desteğim olan sevgili eőim Ayőe BİLENSOY'a ayrıca teőekkürler.

Murat BİLENSOY

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	v
SUMMARY .....	vi
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE MERMER .....	2
2.1. Mermerlerin Tanımı .....	2
2.1.1. Bilimsel Tanım .....	2
2.1.2. Ticari Tanım .....	2
2.2. Dünyada Mermer .....	3
2.3. Türkiye’de Mermer ve Mermerciliğin Durumu .....	8
3. MERMERLER ATIK OLUŞUMU VE ÜRETİM KAYIPLARI .....	13
3.1. Mermer Blok Oluşumunu Etkileyen Faktörler (Jeolojik Faktörler).....	13
3.1.1. Birincil Jeolojik Faktörler .....	13
3.1.2. İkincil Jeolojik Faktörler .....	13
3.1.2.1. Foliasyon (Tabakalanma/Yapraklanma) Düzlemleri .....	14
3.1.2.2. Kapalı – Kılcal Süreksizlikler .....	14
3.1.2.3. Dolomitik Zonlar .....	15
3.1.2.4. Zımpara Mercekleri .....	15
3.1.2.5. Kalsit Mercekleri .....	15
3.1.2.6. Ayrışma .....	16
3.2. Bloklardan Ürün Alınmasını Etkileyen Jeolojik Faktörler .....	16

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2.1. Kayacın Renk ve Deseni .....	16
3.2.2. Çatlaklar .....	17
3.1.3. Kalsit Damarları .....	17
3.1.4. Zararlı Mineraller, Maddeler ve Elementler .....	17
3.1.5. Stilolitler .....	18
3.1.6. Gözeneklilik .....	19
3.3. Mermer Atıklarının Oluşumu .....	19
3.3.1. Oluşum Yerlerine Göre Mermer Atıkları .....	20
3.3.1.1. Ocaklarda oluşan atıklar .....	20
3.3.1.2. Fabrikalarda oluşan atıklar .....	20
3.3.2. Boyutlarına Göre Sınıflandırılan Atıklar .....	21
3.3.2.1. Molozlar .....	21
3.3.2.2. Kapaklar .....	22
3.3.2.3. Paldyenler .....	22
3.3.2.4. Tozlar .....	22
4. ATIK TOZ OLUŞTURAN ÜRETİM ÜNİTELERİ .....	23
4.1. Katrak Makineleri .....	23
4.1.1. Kumlu – Metal Granüllü Katrak Makineleri .....	23
4.1.2. Elmas Soketli Katrak Makineleri .....	24
4.3. Elmas Soketli Dairesel Testereler İle Kesim Yapan Makineler .....	24
4.4. Cilalama Üniteleri .....	25
5. MERMER İŞLEME TESİSLERİNDE ATIK SU ARITMA SİSTEMLERİ .....	26
5.1. Ardışık Havuz Sistemleri Yöntemi (Sedimentasyon Yöntemi) .....	26
5.2. Flokülasyon Yöntemi (Tam Otomatik) .....	27
5.2.1. Atık Su Kanalları ve Toplama Havuzu .....	27

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.2.2. Çökeltme Grubu .....	27
5.2.2.1. Çamur Pompası .....	27
5.2.2.2. Flokülant Hazırlama ve Dozajlama .....	28
5.2.2.3. Çökeltme Tankı .....	28
5.2.3. Temiz Su Grubu .....	30
5.2.4. Çamur Dehidrasyon grubu .....	30
5.2.4.1. Homojenizasyon Mikseri .....	30
5.2.4.2. Filtre Pres .....	31
6. MERMER ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLDİĞİ YERLER .....	33
6.1. İnşaat Sanayi .....	33
6.2. Seramik Sektörü .....	35
6.3. Çimento İmalat Sanayi .....	35
6.4. Plastik Sanayi .....	37
6.5. Kağıt Sanayi .....	38
6.6. Tarım ve Gübre Sanayi .....	39
6.7. Yem Sanayi .....	39
6.8. Boya Sanayi .....	40
6.9. Yol Yapımında .....	41
6.10. Demiryolu Zemin Malzemesi .....	41
6.11. Cam Sanayi .....	42
6.12. Kimya Sanayi .....	42
6.13. Diğer Kullanım Alanları .....	42
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	44
7.1. Malzeme ve Yöntem .....	44
7.1.1. Kullanılan Malzemeler .....	44

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
7.1.2. Yöntem .....	47
7.1.2.1. Numunelerin Hazırlanması .....	47
7.1.2.2. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi .....	50
7.1.2.3. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi .....	51
7.1.2.4. İç Yapı ve Mineralojik Yapının Belirlenmesi .....	54
7.2. Bulgular .....	55
7.2.1. Hacim Ağırlığı (Bulk Yoğunluğu) .....	55
7.2.2. Su Emme .....	56
7.2.3. Görünür Gözeneklilik (Porozite) .....	57
7.2.4. Basınç Mukavemeti .....	58
7.2.5. Dona Dayanım .....	59
7.2.6. Üç Nokta Eğme Mukavemeti .....	61
7.2.7. Şekillendirme Sonrası XRD Analizleri .....	62
7.2.8. İçyapı İnceleme Sonuçları .....	63
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	65
KAYNAKLAR .....	67

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Türkiye'deki bazı mermer türlerinin kimyasal bileşimi, (İMMİB, 2001). .....	2
Çizelge 2.2. Avrupa kıtasında doğaltaş potansiyeli bulunan ülkeler ve türleri .....	4
Çizelge 2.3. Asya kıtasında doğaltaş potansiyeli bulunan ülkeler ve türleri .....	5
Çizelge 2.4. Afrika kıtasında doğaltaş potansiyeli bulunan ülkeler ve türleri .....	5
Çizelge 2.5. Amerika kıtasında doğaltaş potansiyeli bulunan ülkeler ve türleri .....	6
Çizelge 2.6. Okyanusya kıtasında doğaltaş potansiyeli bulunan ülkeler ve türleri .....	6
Çizelge 2.7. Dünya doğaltaş üretiminde ilk 10 Ülke ve Üretim Miktarları .....	8
Çizelge 2.8. Türkiye işletilebilir mermer rezervleri .....	9
Çizelge 2.9. Türkiye işletilebilir kireçtaşı rezervleri .....	9
Çizelge 2.10. Türkiye işletilebilir traverten rezervleri .....	10
Çizelge 2.11. Türkiye işletilebilir oniks rezervleri .....	10
Çizelge 2.12. Türkiye doğaltaş blok üretim miktarları .....	11
Çizelge 2.13. Türkiye doğaltaş ihracat miktarları .....	12
Çizelge 3.1. Standart blok ölçüleri .....	22
Çizelge 6.1. SEKA-Dalaman kağıt fabrikasında kaplama işleminde kullanılacak CaCO <sub>3</sub> 'ün fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	38
Çizelge 7.1. Hazırlanan numunelerin içerikleri .....	48
Çizelge 7.2. Dona dayanım testinde çevrim sayısına bağlı kalıcı ağırlık yüzdeleri .....	60

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.1. Katrak Makinesi .....	24
Şekil 4.2. S/T Makinesi .....	25
Şekil 4.3. Cilalama Makinesi .....	25
Şekil 5.1. Tam otomatik arıtma yöntemi ile atık su arıtma şeması .....	32
Şekil 7.1. Deneylerde kullanılan mermer kesim tozunun XRD analiz sonucu .....	45
Şekil 7.2. Mermer tozlarına uygulanan ön hazırlama işlem şeması .....	46
Şekil 7.3. Mermer tozunun tane boyut dağılım eğrisi .....	47
Şekil 7.4. Hobart tipi mikser .....	48
Şekil 7.5. Şekillendirme işleminde kullanılan hidrolik pres ve kalıp .....	49
Şekil 7.6. Numune hazırlama akım şeması .....	49
Şekil 7.7. Dona dayanım deneylerinin yapıldığı dondurma – çözme dolabı .....	53
Şekil 7.8. 3 nokta eğme mukavemeti testlerinin yapıldığı pres .....	54
Şekil 7.9. Cam suyu ilavesine bağlı olarak hacim ağırlığındaki değişim .....	55
Şekil 7.10. Cam suyu ilavesine bağlı olarak su emme değerlerindeki değişim .....	57
Şekil 7.11. Cam suyu ilavesine bağlı olarak görünür gözeneklilik değerlerindeki değişim .....	58
Şekil 7.12. Cam suyu ilavesine bağlı olarak basınç mukavemeti değerlerindeki değişim .....	59
Şekil 7.13. Dona dayanım testi sonucu numunelerin kalıcı ağırlık oranları .....	60
Şekil 7.14. Cam suyu ilavesine bağlı olarak 3 nokta eğme mukavemeti değerlerindeki değişim .....	60
Şekil 7.15. Su camı ile şekillendirilmiş numunelerin XRD analizi .....	62
Şekil 7.16. Kalsit taneleri arasındaki bağlayıcı fazın SEM görüntüsü .....	63
Şekil 7.17. MT7 ve MT7/50 numunelerinin SEM görüntüleri .....	64

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, 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.

Mermerlerin düzgün geometrik şekil alabilmesi için kesilmesi gerekmektedir. Kesme işlemi sonunda ise mermer tozu ortaya çıkmaktadır. Mermerlerin kesimi sırasında soğutma suyu kullanıldığından ve toz bastırıcı olarak sulu kesim yapıldığından, mermer kesiminden çıkan şlam boyutundaki parçacıklar başlangıçta ıslak olarak depolanmakta ya da doğrudan araziye bırakılmaktadır. Dolayısıyla çevre kirlenmesi söz konusudur. Son yıllarda yapılarda mermerin kullanımı giderek artmakta ve mermere olan talebi karşılamak amacıyla, mermer işleme tesislerinin sayısında da bir artış gözlenmektedir. Özellikle mermer işleme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerdeki mermer atıkları, kamuoyu gözünde çevre kirliliği ve doğal güzelliğe zarar verdiği gerekçesiyle tepkilere neden olmaktadır.

## 2. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE MERMER

### 2.1. Mermerlerin Tanımı

Mermerin bilimsel ve ticari olmak üzere iki tanımı yapılmaktadır.

#### 2.1.1. Bilimsel Tanım

Başkalaşım süreci geçiren ve başkalaşımın izlerini taşıyan, Kalker ( $\text{CaCO}_3$ ), Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) gibi karbonat bileşimli kayalara mermer denilir.

#### 2.1.2. Ticari Tanım

Ticari standartlara uygun boyutlarda blok verebilen, kesilip parlatılabilen ya da yüzeyi işlenebilen ve taş özellikleri (malzeme özellikleri) kaplama taşı normlarına uygun olan her türden taş (tortul, magmatik ve metamorfik) ticari dilde mermer olarak bilinmektedir. Bu tanım uyarınca kalker, traverten, kumtaşı gibi tortul; gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik; granit, siyenit, serpantin, andezit, bazalt gibi magmatik kayalar da mermer olarak isimlendirilmektedir.

Çizelge 2.1. Türkiye'deki bazı mermer türlerinin kimyasal bileşimi, (İMMİB, 2001).

Oksit	Afyon Beyaz	Afyon Menekşe	Muğla Beyaz	Muğla-Milas Kavaklıdere	Marmara Beyaz	Balıkesir-Manyas Beyaz
$\text{SiO}_2$	0,24	0,49	<0,10	0,14	0,01	0,20
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,02	0,30	<0,10	0,32	0,15	0,13
$\text{CaO}$	49,53	55,40	55,50	50,95	55,25	54,45
$\text{MgO}$	2,21	İz	0,20	4,17	0,72	0,50

## 2.2. Dünyada Mermer

Dünyada mermer rezervleri incelendiğinde, 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 (serttaş) rezervlerinin İspanya, Norveç, Finlandiya, Ukrayna, Rusya, Pakistan, Hindistan, Çin, Brezilya ve Güney Afrika'da kümelenildiği görülmektedir.

Dünyada mermer sektöründe lider ülke İtalya'dır. Gerek rezerv gerekse üretim ve işleme teknolojisi açısından dünya mermerciliğinin merkezi durumundadır. Son yıllarda rezervlerinin azalması, çevreci grupların baskısı ve değişik türdeki mermerlerin dünya pazarlarına sunma isteği nedeniyle İtalya, dünyanın en büyük blok ithalatçısı durumundadır. Türkiye, Yunanistan, İspanya, Portekiz, Brezilya, Arjantin, Çin, Hindistan, Tayvan, Güney Kore işlenmiş mermer ihraç eden ülkelerdir. İsrail, Suudi Arabistan, Fas, Fransa, Almanya, Belçika, İngiltere, Finlandiya, Japonya, Avustralya, Yeni Zelanda, kendi üretimleri yanında blok ithal eden ülkelerdir. Rusya, Orta Asya Cumhuriyetleri, Nepal, İskandinavya Ülkeleri, Güney Afrika Ülkeleri zengin rezervlerini değerlendiremeyen ve blok olarak satan ülkelerdir.

Dünyada üretilen mermerin hemen hemen tamamına yakını tüketilmekte olup önemli bir stok yapılmamaktadır. Bu nedenle dünya bazında, mermer üretim ve tüketim miktarını eşit kabul etmek yanlış olmayacaktır.

Kıtalar itibariyle ülkelerin sahip oldukları ve işlettikleri taş türleri Çizelgeler 2.2.'den Çizelge 2.6.'ya kadar olan çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 2.2. Avrupa kıtasında doğaltaş potansiyeli bulunan ülkeler ve türleri, (DPT 2001).

Ülke Adı	Doğaltaş Varlıkları
Almanya	Halen işletilmekte olan kalker, granit, diyorit ve diğer magmatik taş rezervleri bulunmaktadır.
Avusturya	Bej ve gri renkli kalker yatakları ile serpantin rezervleri bulunmaktadır.
Belçika	Kireçtaşı rezervleri içerisinde özellikle devoniyen yaşlı siyah kalker rezervleri önemlidir.
Bulgaristan	Mermer, kireçtaşı ve granit oluşumları bulunmaktadır.
Çek Cumhuriyeti	Kalker, breş ve granit yatakları mevcuttur.
Finlandiya	Granit, siyenit ve labradorit yatakları bulunmaktadır.
İngiltere	Değişik renk ve litolojide mermer yatakları ile halen işletilmekte olan gri renkli granit yatakları bulunmaktadır.
İspanya	Kireçtaşı, mermer ve granit rezervleri vardır.
İsveç	Granit, siyenit ve labradoritten oluşan magmatik taş yatakları bulunmaktadır.
İsviçre	Bej ve gri renkli kireçtaşı yatakları bulunmaktadır.
İtalya	Her çeşit 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 yatakları bulunmaktadır.
Yugoslavya	Kireçtaşı, mermer ve traverten yataklarına sahiptir.
Yunanistan	Kalker, mermer ve serpantin yataklarına sahiptir.

Çizelge 2.3. Asya kıtasında doğaltaş potansiyeli bulunan ülkeler ve türleri, (DPT 2001).

Ülke Adı	Doğaltaş Varlıkları
Azerbaycan	Granit oluşumları bulunmaktadır.
Çin	Değişik renk ve desenlerde kireçtaşı, mermer ve magmatik taş rezervlerine sahiptir.
Güney Kore	Değişik renk ve desende kalker ve granit rezervleri vardır.
Hindistan	Değişik renkli kalker ve mermer, granit, gabro ve diyorit rezervleri bulunmaktadır.
Hong Kong	Kalker ve magmatik taş rezervleri bulunmaktadır.
İran	Kalker, mermer, oniks ve traverten rezervleri bulunmaktadır.
Japonya	Kalker, gabro, granit ve diyorit rezervleri vardır.
Kuzey Kore	Değişik renk ve desende kalker ve graint rezervleri vardır.
Suudi Arabistan	Kalker ve son yıllarda işletilmeye başlanan granit rezervleri bulunmaktadır.
Türki Cumhuriyetler	Kalker ve magmatik taş rezervleri bulunmaktadır.

Çizelge 2.4. Afrika kıtasında doğaltaş potansiyeli bulunan ülkeler ve türleri, (DPT 2001).

Ülke Adı	Doğaltaş Varlıkları
G. Afrika Cum.	Farklı renk ve desende çok geniş granit ve diğer magmatik taş rezervlerine sahiptir.
Kongo	Kalker, granit, gabro, diyorit ve amfibolit rezervleri bulunmaktadır.
Mısır – Sudan	Kalker, granit, siyenit, gabro ve diyorit rezervleri bulunmaktadır.
Mozambik	Kalker, granit ve siyenit rezervleri bulunmaktadır.
Nijerya	Kalker ve granit rezervleri bulunmaktadır.

Çizelge 2.5. Amerika kıtasında doğaltaş potansiyeli bulunan ülkeler ve türleri, (DPT 2001).

Ülke Adı	Doğaltaş Varlıkları
A. B. D.	Kalker, breş, konglomera, granit; siyenit, serpantin ve diyabaz oluşumları bulunmaktadır.
Arjantin	Zengin oniks, kalker ve granit rezervleri bulunmaktadır.
Brezilya	Çok geniş granit rezervleri bulunmaktadır.
Kanada	Granit ve serpantin rezervleri bulunmaktadır.
Meksika	Oniks, traverten ve kalker rezervleri bulunmaktadır.

Çizelge 2.6. Okyanusya kıtasında doğaltaş potansiyeli bulunan ülkeler ve türleri, (DPT 2001).

Ülke Adı	Doğaltaş Varlıkları
Avustralya	Çok farklı türlerde mermer ve son yıllarda işletilmeye başlanan granit yatakları bulunmaktadır.
Endonezya	Bazı adalarda kalker, granit ve diyorit rezervleri bulunmaktadır.
Yeni Zelanda	Kalker ve granit oluşumları bulunmaktadır.

Dünya genelinde mermer ve doğal taşların yapı ve dekorasyon malzemesi olarak kullanımının artması, doğal taş üretiminde artışı da beraberinde getirmiştir. 1986 yılında 21,7 Milyon ton olan doğal taş blok üretimi, 1998 istatistiklerine göre 51 Milyon ton, 2005 yılında ise 86,5 Milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Geçen bu süreçte dünya üretiminin hızla artmasında Hindistan, İspanya, Türkiye ve Çin'in payı büyük olmuştur. 2003, 2004 ve 2005 yıllarına ait, üretici konumundaki ilk 10 ülke ve üretim miktarları Çizelge 2.7.'de verilmiştir (DPT 2001).

1998 yılı verilerinde, dünya blok taş üretiminin % 50'sini Avrupa, % 30'unu Asya ve % 14'ünü ise Amerika kıtası gerçekleştirmekte iken 2005 yılına gelindiğinde üretimin büyük kısmı Asya kıtasına kaymıştır. Bu dönemde Asya kıtası toplam blok taş üretiminin % 44' ünü gerçekleştirirken, Avrupa kıtasında gerçekleştirilen blok taş

üretimi toplam üretimin % 42' si oranında olmuştur. Asya kıtasında başta Çin Halk Cumhuriyeti olmak üzere, Hindistan ve İran önemli üretim potansiyelin sahiptir. Avrupa kıtasında ise İtalya, İspanya, Türkiye ve Portekiz doğal taş üretimi ve ticaretinde söz sahibi ülkelerdir.

Seçici piyasalar ve kaliteli ürünlerdeki uluslararası rekabet, geleneksel ülkeler olan İtalya, İspanya, Portekiz ve Yunanistan dışında son iki yıldır önemli gelişmeler gösteren Türkiye, Hindistan ve Çin arasında da yaşanmıştır. Dünya doğal taş üretimindeki arz fazlalığı fiyatların düşmesine neden olmuştur. Özellikle Çin'de maliyet faktörü gözetenmeden gerçekleştirilen üretim artışı tüm dünyayı etkilemiştir.

2006 yılında dünya doğal taş ihracatı bir önceki yıla göre % 46 artarak 12,8 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir. Bu değer yaklaşık 2,9 milyar doları ham blok taş ihracatına, 9,9 milyar doları ise işlenmiş ürünlere aittir. İtalya, İspanya, Çin, Fransa, Hindistan, Türkiye ve Portekiz her iki ürün grubunda da önemli ihracatçı ülkeler olmuştur. 2006 yılında dünya ham blok mermer ürün ihracatında İspanya toplam ihracatın % 24'ünü gerçekleştirerek ilk sırada yer almıştır. Türkiye % 17,6'lık ihracatla ikinci sırada yer almıştır. Türkiye'yi sırasıyla İtalya, Mısır, Yunanistan ve İran izlemiştir. Dünya işlenmiş doğal taş ihracatında ise ilk üç sırayı Çin (% 29), İtalya (% 21), Brezilya (% 7,72) paylaşırken Türkiye (% 7) dördüncü sırada yer almıştır. Bu sırayı Hindistan, İspanya ve Portekiz izlemiştir.

Dünya doğal taş ithalatı ise 2006 yılında 13,9 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir. Bu değer 4 milyar doları ham blok taş ithalatına, 9,9 milyar doları ise işlenmiş ürün ithalatına aittir. Önemli ithalatçı ülkeler ham blok taş ithalatında Çin, İtalya, İspanya, Hindistan ve Tayvan olmuştur. Dünya işlenmiş doğal taş ithalatı 2006 yılında %16'lık artış göstermiştir. Bu gruptaki en büyük alıcı % 39'luk oranla ABD' dir. Japonya (% 9), Kore (% 6) ve Almanya (% 5) diğer önemli alıcılar olmuştur (Uyanık 2008).

Çizelge 2.7. Dünya doğal taş üretiminde ilk 10 ülke ve üretim miktarları (Milyon ton), (Uyanık 2008).

Ülkeler	2003	2004	2005
Çin	18,6	20,6	22
Hindistan	11,2	11,2	12,5
İran	10	10,4	10,4
İtalya	10,8	10,9	10,2
İspanya	7,6	8,6	8,7
Türkiye	6,2	7,7	8,2
Brezilya	6	6,4	6,9
Portekiz	2,8	3	3
Mısır	2	2,2	2,5
Yunanistan	2,1	2,1	2,1

### 2.3. Türkiye'de Mermer ve Mermerciliğin Durumu

Ülkemiz zengin doğal taş rezervlerine sahiptir. Jeolojik rezerv içindeki işletilebilir (görünür) rezervin oranı ülke geneli için belli değildir. Türkiye’de masif niteliği gösteren metamorfik temeller içinde küçük ya da büyük yayımlı mercek şeklinde mermer yatakları bulunmaktadır. Buna ek olarak ülkeye dağılmış durumda Devoniyen, Triyas, Jura, Kretase ve Paleojen yaşlı kireçtaşları yüzeilenmektedir. Traverten ve oniks rezervleri ülkemizin bilinen kırık hatları boyunca gelişmiştir. Ayrışma, kırıklı yapı, anklav içeriği, renk ve homojenlik yönünden sorunlu olan magmatik taş (serttaş) rezervlerimiz için ayrıntılı araştırma yapılmamıştır. Kırklareli, Kapıdağ, Ezine, Ayvalık, Kırşehir, Yozgat, Aksaray, Ordu, Giresun, Rize ve Artvin dolaylarında açılan çok sayıdaki ocak işletmesinden Kırşehir ve Aksaray’dakilerden olumlu sonuç alınmıştır. Magmatik taş rezervlerinin artırılması açısından ülkemizin çok sayıda araştırmaya ihtiyacı vardır. Ülkemizin bilinen mermer, kireçtaşı, traverten ve oniks rezervleri sırasıyla Çizelge 2.8., 2.9., 2.10. ve 2.11.’de verilmiştir (DPT 2001).

Çizelge 2.8. Türkiye işletilebilir mermer rezervleri, (DPT 2001).

<b>Bölge</b>	<b>İl</b>	<b>Rezerv (1000 m<sup>3</sup>)</b>
Marmara	Balıkesir	1.300.000
	Bursa	135.000
	Kırklareli	33.500
Ege	Afyonkarahisar	135.000
	Aydın	9.000
	İzmir	1.500
	Muğla	181.000
	Kütahya	200.000
	Uşak	500.000
	TOPLAM	

Çizelge 2.9. Türkiye işletilebilir kireçtaşı rezervleri, (DPT 2001).

<b>Bölge</b>	<b>İl</b>	<b>Rezerv (1000 m<sup>3</sup>)</b>
Marmara	Adapazarı	3.500
	Balıkesir	7.500
	Bilecik	640.000
	Bursa	240.000
Ege	İzmir	175.000
	Manisa	500
Akdeniz	Adana	7.000
	Burdur	2.000
	Hatay	60.000
İç Anadolu	Ankara	16.000
	Eskişehir	475.000
	Kayseri	3.000
	Konya	70.000
Karadeniz	Bartın	1.000.000
Doğu Anadolu	Elazığ	20.000
Güneydoğu Anadolu	Diyarbakır	9.000
TOPLAM		2.720.000

Çizelge 2.10. Türkiye işletilebilir traverten rezervleri, (DPT 2001).

Bölge	İl	Rezerv (1000 m <sup>3</sup> )
Marmara	Bursa	1.200
Ege	Afyonkarahisar	120.000
	Denizli	500.000
	Burdur	75.000
İç Anadolu	Çankırı	210.000
	Nevşehir	100
	Sivas	75.000
Karadeniz	Karabük, Bolu	10.000
TOPLAM		995.300

Çizelge 2.11. Türkiye işletilebilir oniks rezervleri, (DPT 2001).

Bölge	İl	Rezerv (1000 m <sup>3</sup> )
Karadeniz	Bolu	300
Ege	Manisa	1.000
	Balıkesir	7
TOPLAM		1.307

Türk mermeri, farklı renk skalası ve kalitesiyle dünyanın pek çok ülkesinde, dünyaca tanınmış mekânlarda kullanılmaktadır. Vatikan'ın en önemli kiliselerinden biri olan Saint Pierre kilisesinin girişindeki sütun ve kaplamalarda Afyon İncehisar mermerleri kullanılmıştır. ABD'de Beyaz Saray'da yetkililerin basın açıklamaları yaptıkları alanda kullanılan mermer Elazığ'da üretilen Elazığ Vişne'dir. Alman Parlamentosu, Fransa Parlamentosu ve ABD Temsilciler Meclisi Elazığ vişnenin kullanıldığı diğer mekânlardır. Dünyanın en önemli eğlence merkezlerinden Disneyland' da 18 bin metrekare Türk mermeri kullanılmıştır. Dünyanın dört bir yanındaki pek çok lüks otelin ıslak zeminlerinde Türk mermeri tercih edilmektedir.

Sektör, yüksek ihracat potansiyeli, iç piyasa tüketimi, doğal taş makineleri üretimi ve ihracatı ile Türkiye ekonomisine önemli bir katkı sağlamaktadır. Özellikle son dönemde mermer üretiminde, klasik mermer üretim yöntemlerinin değişmeye başlaması, nitelikli işgücü ve ileri teknolojiye dayanan modern üretim yöntemlerinin daha çok kullanılmaya başlanması, büyük firmaların yapmış oldukları yatırımlarla birlikte bütünleşmiş üretim yapan tesislerin de devreye girmesiyle işlenmiş mermer

üretiminde büyük artış kaydedilmiştir. Uygulanmaya başlanan modern ocak üretim yöntemleri ve son teknikler sayesinde rekabetin çok yoğun olduğu dünya doğal taş pazarına uygun üretim ve pazarlama yapabilecek ürünler hazırlayan tesis sayımız artmıştır ve Türkiye dünya doğal taş üretiminde lider yedi büyük üreticiden biri konumuna gelmiştir.

Üretimin tamamına yakın kısmı özel sektör tarafından yapılmaktadır. Türkiye’de yıllık blok üretimi 550,000 ton civarında olup işleme tesislerinin toplam plaka üretim kapasitesi 6,5 milyon m<sup>2</sup> civarındadır. Maden İşleri Genel Müdürlüğü verilerine göre 2006 yılında Türkiye’de en fazla üretilen doğal taş çeşitleri arasında mermer, andezit ve bazalt yer almaktadır. Bir önceki yıla göre üretimin en fazla artış gösterdiği ürünler ise kayrak taşı ve oniks olmuştur. Türkiye’ nin 2004 – 2006 yılları arasındaki doğal taş üretim miktarları Çizelge 2.13.’de verilmiştir.

Çizelge 2.12. Türkiye doğal taş blok üretim miktarları (m<sup>3</sup>), (Uyanık 2008).

Doğal Taş Cinsi	2004	2005	2006
Diyabaz	790	458	0
Mermer	1.207.584	1.578.730	1.855.740
Oniks	57	451	2.578
Traverten	601.068	696.545	1.017.672
Tüf Taşları	39.820	5.282	19.730
Toplam	1.949.319	2.281.466	2.895.720

İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri’nin verilerine göre, 2008 yılında Türkiye’den 5,1 milyon ton doğal taş ihracatı gerçekleşirken, 2009 yılında bu miktar 4,9 milyon tona gerilemiştir (Çizelge 2.13). Mermer ve traverten ham blok ihracatında en büyük pazar Çin Halk Cumhuriyeti’dir. Bu ülke Türkiye’den 2008 yılında 1,2 milyon ton, 2009 yılında ise 1,5 milyon ton mermer ve traverten blok ithalatı gerçekleştirmiştir. Benzer şekilde yarı işlenmiş mermer ve traverten malzemeler için de en büyük pazar Çin Halk Cumhuriyeti olarak görülmektedir. İşlenmiş mermer ve traverten ürünleri için

en büyük pazar olan A.B.D. ise 2008 yılında ithal etmiş olduğu toplam 460 bin ton mamule karşılık 2009 yılında 340 bin ton mamul almıştır (İMMİB 2010).

Çizelge 2.13. Türkiye doğal taş ihracat miktarları, (İMMİB 2010).

Doğal Taş Grubu	2008		2009	
	Miktar (kg)	Tutar (USD)	Miktar (kg)	Tutar (USD)
Blok Mermer ve Traverten	2.396.121.873	307.574.371	2.495.736.571	318.870.185
Granit Blok	1.631.146	164.073	1.052.389	90.968
Kayağan Taşı Ham Blok	2.203.791	476.545	2.436.441	477.632
Mermer ve Traverten Yarı Mamul	794.578.121	139.524.191	843.191.440	158.465.041
Granit Yarı Mamul	170.055.911	13.660.605	140.533.542	10.219.469
Mermer Mamul	1.420.581.225	824.836.663	1.173.839.859	573.495.172
Traverten Mamul	93.351.728	56.312.112	198.991.715	108.930.034
Granit Mamul	37.388.517	25.675.143	32.270.653	18.564.426
Kayağan Taşı Mamul	803.147	4.040.979	979.279	2.896.819

### **3. MERMERLERDE ATIK OLUŞUMU VE ÜRETİM KAYIPLARI**

Mermer kesme ve işleme fabrikalarında ortaya çıkan atık ve/veya atıklar, üretim kayıplarının sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Ülkemizdeki mermer rezervlerinin büyüklüğü ve günümüzde mermer kullanımının yaygınlaşması, mermer fabrika ve işleme tesislerinin hızla artmasına sebep olmuştur. Artan üretim ile birlikte fabrika ve işleme tesislerinde mermer atıklarının oluşumunda da artış olmuştur. Ülkemizde kesilen ve işlenen doğal taşların % 30 oranında atık olarak ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların çevreye olumsuz etkilerinin yanında ekonomik olarak da bir kayıp oluşturdukları bir gerçektir. Günümüzde değişik kollarında kullanım alanı bulabilen bu atıklar, alternatiflerinin yerine kullanıldığı taktide çok daha ucuz bir girdi olabilmektedir.

#### **3.1. Mermer Blok Oluşumunu Etkileyen Faktörler (Jeolojik Faktörler)**

##### **3.1.1. Birincil Jeolojik Faktörler**

Birincil jeolojik parametreler mermer ocakları içerisindeki, blok boyutlarını direk olarak sınırlayan süreksizlik düzlemleridir (ilksel tabakalanma, tektonik kırık ve çatlaklar).

##### **3.1.2. İkincil Jeolojik Faktörler**

İkincil jeolojik parametreler ise, blok mermer üretimi esnasında kaya üzerinde oluşan gerilmeler neticesinde, buldukları yüzeyler boyunca kırılmalara neden olan ve blok mermer üretimi dışında, üretilen kaya bloklarının fabrikalarda kesilmesi / işlenmesi aşamalarında da sorun yaratan jeolojik parametrelerdir.

### **3.1.2.1. Foliasyon (Tabakalanma / Yapraklanma) Düzlemleri**

Mermer ocaklarında blok mermer üretimini etkileyen en önemli parametrelerden birisi foliasyon düzlemleridir. Bunlar, kesilen kaya bloklarının devrilmesi ya da taşınmaları esnasında gelişen darbelerin etkisiyle, buldukları yüzeyler boyunca ve genellikle birbirlerine paralel düzlemler oluşturacak şekilde kırılmalara neden olmaktadır. Diğer bir olumsuz etkisi ise, kaya blokların fabrikalarda işlenmeleri esnasında ortaya çıkabilmektedir. Bu kaya bloklarının fabrikalarda kesilmesi ve işlenmesi esnasında büyük üretim zayıatları gelişmekte yada bloklar tümüyle değerlendirilememektedirler.

### **3.1.2.2. Kapalı – Kılcal Süreksizlikler**

Mermerler içerisinde metamorfizma öncesi ya da sonrasında gelişmiş tektonik aktiviteler neticesinde oluşmuş kapalı kılcal süreksizlik düzlemleri yer alabilir. Metamorfizma öncesi gelişen türleri metamorfizmanın etkisi ve şiddetine bağlı olarak kısmen ya da tamamen kapanmış olabilir. Bu süreksizlikler kayalar içerisinde anizotropi oluşturmakta yani bu düzlemler boyunca kayaların kesme direnci zayıflamaktadır. Bunun sonucunda bu süreksizlik düzlemlerini içeren kaya blokları foliasyon düzlemlerinde olduğu gibi, devrilmeleri ya da taşınmaları esnasında gelişen darbelerin etkisiyle, buldukları yüzeyler boyunca kırılmalara neden olmaktadır. İçerilerinde yer aldıkları kaya kütlelerini değişik açılarda kesen kapalı ve genellikle düşük devamlılığa sahip (5-50 cm) bu süreksizlik düzlemleri parlatılmış beyaz renkli mermer yüzeylerinde kahverengi ile gri renk tonlarında çizgiler şeklinde gözlenebilmektedirler. Bu süreksizlik düzlemlerinin kırılma yüzeyleri kaygan bîr görünüm sunmaktadır. Bu nedenle mermer sektöründe bu düzlemler yağlı kesik tabiri ile tanımlanmaktadır. Arazide kaya mostralarda ve hatta kesilmiş kaya bloklarında bile tespiti zor olan bu süreksizlik düzlemleri mermer ocakları ile fabrikalarının üretim zayıatlarını son derece yüksek oranlarda arttırmaktadırlar.

### **3.1.2.3. Dolomitik Zonlar**

Mermerler içerisinde gözlenen yönlenmelere paralel konumlu ya da değişik boyut ve konumlarda bant ve mercekler şeklinde gelişmiş dolomitik zonlar yer alabilmektedir. Pembe-sarımsı pembe renklerinde gözlenen dolomitik bant ve mercekleri, kayaç içerisinde renk ve desen homojenitesini bozmaktadırlar. Ayrıca içerisinde yer aldığı mermerlere oranla daha sert olan bu dolomitik zonlar, fabrikalarda ve özellikle kesilen levhaların parlatılması aşamasında sorunlar üretmektedirler. Bu nedenle, içerisinde dolomitik bantlar ya da mercekler içeren mermer blokları, genellikle değerlendirilememektedir.

### **3.1.2.4. Zımpara Mercekleri**

Mermerler içerisinde değişik kalınlık ve devamlılık sunan zımpara mercekleri yer almaktadır. Zımpara, kayaç içerisinde değişik boyutlarda mercekler şeklinde yer alabildiği gibi, süreksizlik dolgusu şeklinde de yer alabilmektedirler. Ocak içerisinde gözlenen zımpara mercekleri blok mermer üretimini olumsuz yönde etkilemektedirler. Zımparaların oldukça sert olması nedeniyle, buldukları zonlar boyunca blok mermer üretiminde kullanılan elmas telin aşınmasına ya da kopmasına neden olmaktadır. Ayrıca zımpara içeren kaya blokları da benzer gerekçe ile fabrikalarda kesilememekte ve değerlendirilememektedirler.

### **3.1.2.5. Kalsit Mercekleri**

Özellikle Muğla yöresinde yer alan birçok mermer ocağının pasa sahasında yapılan incelemelerde, çok sayıda mermer bloğu içerisinde, iri kalsit kristallerinden oluşmuş kalsit merceklerin yer aldığı gözlenmiştir. Ocak şev aynalarında dikkatli bir inceleme sonucunda gözlenebilen kalsit merceklerinin kalınlıkları, 10 cm ile 50 cm arasında değişmektedir. Kayaç içerisinde renk ve desen homojenitesini bozmaları ve düşük dayanıma sahip olmaları nedeniyle, kalsit merceği içeren mermer blokları kullanılamamaktadır.

### **3.1.2.6. Ayrışma**

Ayrışma sonucunda kayacı oluşturan mineraller değişime uğrayarak yeni mineraller oluşur, kayacın yapısal özellikleri değişir ve porozitesi ile boşluk oranı artan kayacın birim hacim ağırlığı ile dayanımı azalır. Mermerlerdeki en yaygın görülen ayrışma türü şekerleme ayrışmasıdır. Kayacın orijinal görünümünü kısa sürede değiştiren ayrışma iki ayrı şekilde gelişir. İri kristalli mermerlerde, kayacın içerdiği kalsit taneleri birbirlerinden bağımsız hale gelir ve kayacın yüzeyi iri kalsit kristallerinden oluşan bir kum halini alır. İkinci türde ise kayacın yüzeyi içerdiği kalsit parçalarından kopan kalsit tanelerinden oluşmuş bir toz ile kaplanır. Mermer işletmeciliğinde ayrışma profilinin üst seviyelerine yanık zon adı verilmektedir. Ocaklardaki üretim bu seviyenin altında yapılması nedeniyle ayrışma genel olarak ve ayrışma profilinin derinliğine bağlı olarak üretimin ilk aşamalarında, üretim maliyetini arttırmaktadır. Ancak mermer ocaklarında devamlı ve açık süreksizlik düzlemlerine bağlı olarak gelişen ve kayacın iç kısımlarında da etkili olan düşey ayrışma zonları gelişmiş olabilir. Genellikle dar alanlarda gözlenen bu zonlar mermer ocaklarının üretim maliyetlerini zaman içerisinde arttırabilir (Balcı ve Göksu 2006).

## **3.2. Bloklardan Ürün Alınmasını Etkileyen Jeolojik Faktörler**

### **3.2.1. Kayacın Renk ve Deseni**

Sedimanter kayaçların renkleri, bünyelerine girmiş bulunan mineral ve elementlerin cinsine göre oluşur. Katkı maddesi bulunmayan kayaçlar genelde beyaz renkli olup, resif türü özellikler sunarlar. Kayaçlar bütünüyle tek renkli (homojen) olabildikleri gibi değişik renkler gösteren bantlar, tabakalar, damarlar, benekler halinde de bulunabilirler. Mermercilikte ürünün renk ve desen yönüyle homojen olması talep edilir. Karışık renkli de ise, ürünün tümünde aynı renk ve desen talep edilir. Kayacın

desenini kayacı oluşturan taneleri, fosilleri, çimentosu ve taşınmış yabancı maddeler belirler.

### **3.2.2. Çatlaklar**

Çatlaklar, muhtemelen basınca maruz kalan kristallerin zayıf yerlerinden kırılmasıyla meydana gelir. Kayada 4 türlü çatlak sistemi oluşabilir. Bunlar; enine, boyuna, verevine ve morfolojik etkenlerle oluşmuş çatlaklardır. Boyuna çatlaklar tabakalaşmaya paralel, enine çatlaklar tabakalaşmaya dik ve verevine çatlaklarda tabakalaşmayı kat eder. Morfolojik etkenlerle kayacın dış yüzeyinde oluşmuş devamsız çatlaklar genellikle yanık zon içinde kalırlar. Enine çatlaklarda ürün kaybı fazladır. Çünkü; basamak rıhtı ve kaplama alınamaz. Ancak döşemeye kesilebilir. Bloktaki boyuna çatlaklar ürün verimini düşürmez, çünkü tabakalaşmaya uygundur. Verevine çatlaklı bloklarda ise ürün alımı çok düşüktür.

### **3.2.3. Kalsit Damarları**

Karbonat kayalarındaki kalsit damarları; diyajenez aşamasında ve sonrasında, belirli blokların uzaklaşması, boşluklarda veya damarlarda blokların yer değiştirmesinde ve yakınlaşmaları ve yeniden kristalleşmeyle oluşurlar. Farklı renklerdeki kalsit damarları kayaç rengi ile uyumsuzluk arz ediyorsa, istenmez. Kalsit damarlarını içeren kayacı farklı yönlerde keserek belirli desenler elde edilmesi sonucunda iç mimaride kullanılabilir.

### **3.2.4. Zararlı Mineraller, Maddeler ve Elementler**

Mermercilikte bunlar; mika taneleri, bandı ve mercekleri, kil bantları ve dolguları, kuvars taneleri ve damarı, pirit ve dolomit bandı, uranyum, kükürt, demir, arsenik, kobalt ve bakırdır.

Mika oluşumlarının gözlenmesine mermer iliği denir. Kayaçta farklı sertlik oluşturduğu ve polisaj hattında çok çabuk aşınacağından dolayı boşluklar oluşturması istenmez.

Kil veya çamurlar kayaçlarda bantlar halinde veya jeodları dolduran (elma çürüğü) şekillerde bulunur. Suyu karşı duyarlı olduklarından çok çabuk aşınırlar, istenmezler. Kuvars minerali tane, damar ve jeodları dolduran şekillerde olabilir. Farklı sertlik oluşturduklarından dolayı kaya mermerciliğinde istenmez. Bazen de kayaç içindeki fosil kavrıkları silisli olabilir. Dolomit kayada tane ve bant şeklinde bulunur. Mermercilikte "kemik" tabiri ile kullanılır. Bant halinde oluşanları çok sert olup kesimde sorun yaratırlar. Dolomit oranının artmasıyla mamul kesimlerin kenarlarında atma ve kopmalar gözlenecektir. Pirit, limonit ve hematit gibi mineraller kayaçları boyayacağından renk bozulmalarına sebebiyet verecektir. Uranyum, kobalt, arsenik, kükürt ve bakır insan sağlığı açısından zararlı olduklarından dolayı istenmez.

### **3.2.5. Stilolitler**

Stilolitleşmenin mermercilikteki tabiri "karınca yeniği" dir. Basınç ve tektonik stilolitler kayaçlarda yaygın bir şekilde izlenir. Basınç stilolitleri taneler arası sıkışma esnasında oluşur. Stilolitler bazen kil, çamur veya kalsit ile dolu olabilir. Tabakalaşmaya paraleldir. Basınç stilolitlerinin çamur veya kil ile dolu olanlarına katılma damarları denir. Çamur veya kil ile dolu olan stilolitler su ile temaslarında dağılırlar ve kesimde büyük sorun yaratırlar. Bu nedenle istenmeyen bir jeolojik oluşum şeklidir. Basınç stilolitleri limonitle dolu ise fabrika kesimlerinde, bu kısımlarından atma yapacaktır. Bazı kayaçlarda oluşan basınç stilolitleri üst seviyelerde çok sık olup derinlere doğru azalır ve kaybolur. Tektonik stilolitler tabakalaşmayı dikine, verevine ve enine keser durumda bulunurlar, kalsitle dolu olanları açma göstermez.

### 3.2.6. Gözeneklilik

Gözeneklilik; taneleri arasında, fosillerde, erime esnasında meydana gelir. İyi nitelikli bir mermerde gözeneklilik % 0.0002 ile % 0.5 arasında değişir. Dış etkilere maruz kalacak mermerlerde gözenekliliğin çok az olması istenir. Zira gözeneklilik fazlalığı suları emmek suretiyle mermerlerde renk değişikliğini sağlar. Travertenlerde gözeneklilik %12'yi geçmemelidir.

Genel olarak baktığımızda; birçok doğal taşta tozu ve nemi içine çeken, taş yüzeyini ve kesitini çaprazlamasına geçen ince, kılcal çatlaklar bulunmaktadır. Bazı çatlaklar o kadar incedir ki, gözle görülür olmamasına rağmen kırılma eğilimi gösterirler. Bazı tip çatlaklar ise kil içerir. Arasına kil ve benzeri malzeme dolmuş çatlaklar tamiri en güç çatlaklardır. Kırılma problemi yaratmayan ancak, yüzeyde açıklıklara yol açan "kanal" tipi çatlaklar da aslında bir çeşit gözenek olarak kabul edilebilir. Mikro gözenekler belirgin şekilde fark edilmese de taşın istenilen düzeyde cilalanmasını engellerler. Buna en çok granit türlerinde rastlanır ve bu sorunu çözebilmek için cilalamadan önce, uygun reçine uygulaması yapılmalıdır. Gözenek çapının taş kalınlığından büyük olduğu çoğu durumda problem "delik" olarak karşımıza çıkar. Bu durumda öncelikle taşın bünyesindeki delik tıkanır, daha sonra dolgu işlemi yapılır. Bu işlemlerde; jeolojik sorunların engellenmesinde bir nevi çözüm olarak yapılabilir (JMO 2003).

### 3.3. Mermer Atıklarının Oluşumu

Mermer doğada blok üretimi yapılarak çıkarılır. Bulunduğu yerde sayılama makineleri ile boyutlandırılması yapılan mermer bloklar, mermer kesme ve işleme tesislerinde işlenerek plaka, yer karosu, fayans ve değişik amaçlarda kullanıma sunulmaktadır. Bu süreç içerisinde geriye birçok atık kalmaktadır. Bu atık parçalarının ve tozlarını şekil ve boyutlarına göre değişik amaçlarla kullanılması kısıtlı olsa yapılmaktadır.

### **3.3.1. Oluşum Yerlerine Göre Mermer Atıkları**

#### **3.3.1.1. Ocaklarda 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. Mermer tozu çoğu zaman ocaklardan patlatma yöntemiyle özel olarak da elde edilen moloz büyüklüğündeki mermer parçalarının kırılıp öğütülmesiyle elde edilir.

Ocaklarda mermer atıklarının oluşmasına diğer bir etken de sayalama işlemidir. Ocakların tektonik yapısına uygun olarak elde edilen çok büyük ve şekilsiz parçalar, çeşitli yöntemlerde istenilen ebatlarda alt, üst ve yanlardan kesilirler. Kesim sonucu ortaya çıkan bu atıklara da ocakta oluşan tüm diğer atıklar gibi bir tarafta biriktirilirler. Genel olarak pasa adı verilen bu artıklar, yükleyiciler vasıtasıyla damperli kamyonlara yüklenerek ocak pasa döküm sahasına dökülerek yığın oluşturulur.

Yaklaşık ocak üretim miktarının % 50'sini oluşturan bu atıkların tamamının değerlendirilmesi şu ana kadar mümkün olmadığından, mermer ocak işletmelerinin etrafında bir taş toprak yığını halinde bekletilmektedir (Lappa vd, 1997).

#### **3.3.1.2. Fabrikalarda 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.

Bazı durumlarda da kesilen ve ebatlandırılan plakaların bünyesinde bulunan çatlaklardan dolayı birbirinden ayrılarak kırılmaktadır. Bu durumda küçük levha parçaları açığa çıkmaktadır. Bu tür mermer plaka atıklarına paledyen adı verilir. (Lappa vd 1997)

### **3.3.2. Boyutlarına Göre Sınıflandırılan Atıklar**

#### **3.3.2.1. 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. Bazı mozaik ve karo imalatçıları molozları kullanmak yerine kendi özel ocaklarından delme patlatma yöntemiyle blok yerine moloz üretmekte ve onları kullanmaktadır. Bunun sebeplerinden en önemlisi ise ocaklardan artık olarak atılan mermer molozların herhangi bir itina gösterilmeden taş ve toprakla beraber yığılmasıdır. Bunu önlemek için işe yarayabilecek molozların ayrı ayrı yerlerde stoklanması gerekir. Köşe kırıkları, delik kanallı görünür kusurları ve geometrik bozuklukları çıkarıldıktan sonra geriye kalan hacim “standart blok” olarak adlandırılır (Çizelge 3.1.) (Çelik, 1996).

Çizelge 3.1. Standart blok ölçüleri (Çelik, 1996)

<b>Boy</b>	230 - 330 (cm)
<b>En</b>	110 – 160 (cm)
<b>Yükseklik</b>	90 – 150 (cm)
<b>Min. Blok Hacmi</b>	2,3 m <sup>3</sup>
<b>Max. Blok Hacmi</b>	6,4 m <sup>3</sup>

### **3.3.2.2. 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.

### **3.3.2.3. Paledyenler**

Mermer işleme tesislerinde, ocaklardan getirilen bloklar katarlar ve S/T Makinesi yardımıyla plakalar halinde kesilirler. Kesilen bu plakalar yan kesme ve baş kesme makinelerinde maksimum alan edilecek şekilde ebatlanır. Bu ebatlama esnasında geriye kalan ve düzgün geometrik şekilde elde edilemeyen plakalara denir.

### **3.3.2.4. Tozlar**

En küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerine blokların ve plakaların kesilmesi esnasında açığa çıkan ve büyük çoğunluğu 1mm altında mermer taneleridir. Kesme işleminin su ile yapılması sebebiyle bu atıklar direkt olarak suya karışır ve şlam halinde çöktürme havuzlarında arıtma tesislerinden alınır (Çelik, 1996).

## 4. ATIK TOZ OLUŞTURAN ÜRETİM ÜNİTELERİ

Mermercilik sektörünün en önemli sorunlarından birisi mermerin kesilmesi sırasında kesme işlemini gerçekleştiren kesicilerin mermer bloğunun plakaları kesmesi esnasında oluşan küçük boyutlu mermer tozu atıklarıdır. Bu atıklar testerelerin soğutulması ve oluşan bu tozların ısıtılması amacıyla verilen suya karışarak, su ile birlikte çöktürme kanallarından geçerek çöktürme havuzlarına taşınmaktadır. Oluşan bu mermer taneciklerini su çöktürme ve dinlendirme havuzlarında veya bazı modern tesislerde bulunan atık su tesislerinde de kek olarak alınmaktadır. Alınan bu atıklar boş arazilerde rastgele depolanmaktadır. Kesme işlemi yapılan makine cinsine göre bu mermer tozları çeşitli boyutlarda olabilmektedir.

Sulu kesim yapılması nedeniyle şlam halinde oluşan mermer tozu artıklarının oluşum üniteleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

### 4.1. Katrak Makineleri

#### 4.1.1. Kumlu – Metal Granüllü Katrak Makineleri

Kumlu kesim işlemi, 1 mm ya da daha küçük tanelere sahip zımpara tozları, metal granüllü katraklarda ise 1 – 5 mm boyutlu metal granül parçacıkları ile yapılmaktadır. Kesme işleminde esas olan çelik lamaların yaptığı gel – git hareketi sırasında aşındırıcı tanelerin (katrak türüne bağlı olarak, zımpara tozları ya da metal granüller) mermer yüzeyine sürterek aşınma oluşturmasıdır. Bu tür katraklarda yapılan kesimlerde 0,3mm ve daha küçük boyutlu mermer tozları oluşmaktadır.

#### 4.1.2. Elmas Soketli Katrak Makineleri

Bu tip katraklarda (Şekil 4.1) kesme işlemi çelik lamaların üzerine kaynak edilmiş elmas soketlerle gerçekleştirilmektedir. Lamaların hareketleri sonucu mermer yüzeyine sürttürülen elmas soketler aşındırma ve koparma işlemi yapmaktadırlar. Kesme işlemi sonucu açığa çıkan mermer tozu tanecikleri genelde 0,1 mm ya da daha küçük boyutlara sahiptir. Bu tür kesmede kesilen mermerleri oluşturan minerallerin kristallerinin fiziksel özellikleri boyutları tanelemede önemli rol oynar. Elmas soketleri aşınmasına uygun olarak tanecikler 0,1mm den küçük boyutlarda oluşurlar (Bozkurt, 1989).



Şekil 4.1. Katrak Makinesi

#### 4.2. Elmas Soketli Dairesel Testereler ile Kesim Yapan Makineler

S/T, başkesme, yankesme ve köprükesme denilen makinelerdir. Çelik gövdeli dairesel diskin ucuna 2-3 cm aralıklarla kaynak yapılmış 2-4 cm büyüklükteki elmas soketlerin mermer yüzeyine sürttürülmesi sonucunda, mermer taneciklerinin kopartılmasıyla kesme işlemi gerçekleştirilmektedir (Şekil 4.2). Kesme işlemi sonucu açığa çıkan mermer tanecikleri genellikle 0,15 mm ve daha küçük boyutlardadır. Soketlerin aşınması sonucu 0,1 mm veya daha küçük boyutlarda da olabilmektedir.



Şekil 4.2. S / T Makinesi

### 4.3. Cilalama Üniteleri

Değişik boyuttaki aşındırıcı tozların manyezit veya sentetik bağlayıcılarla bağlanılarak, belirli şekil ve boyutta imal edilen ve “Abrasive” denilen aşındırıcı parçalar kullanılmaktadır. Abrasivlerin yüksek hız ve basınçla plaka üzerinde dönmesiyle mermer yüzeyinden tanecikler koparılarak cilalama işlemi yapılmaktadır (Şekil 4.3). Bu ünitelerde açığa çıkan mermer artıklarının tane boyutu  $75\mu$  veya daha küçüktür (Bozkurt, 1989).



Şekil 4.3. Cilalama Makinesi

## 5. MERMER İŞLEME TESİSLERİNDE ATIK SU ARITMA SİSTEMLERİ

Mermer işletme tesislerinde üretim proseslerini oluşturan kesme, yıkama, silme ve cilalama sonucunda ham proses atık suları ortaya çıkmaktadır. Bu atık suların arıtımında yaygın olarak fiziko-kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Katrak ünitesinde kesilen mermer plakaları, basınç altında temiz kullanma suyu ile yıkanmaktadır. Yıkama ve katrak (kesme) ham proses atık sularının ön çökeltim fiziksel işlemlerinden sonra çöktürme tanklarına pompalanmaktadır. Burada toplanan atık sularının içerisindeki partiküllerin çöktürmelerini gerçekleştirmek için değişik ticari isimler taşıyan flokülant-flokülasyon (çökeltme sırasında tanelerin topaklar halinde dibe çökmesi) maddeler ilave edilmektedir. Çöktürme işleminde oluşan fiziko-kimyasal karakterli çamur, tank dibine çökmekte, ön çamur karıştırıcıya aktarılmakta ve buradan susuzlaştırmak amacıyla filtre preslere gönderilmektedir.

### 5.1. Ardışık Havuz Sistemleri Yöntemi (Sedimentasyon Yöntemi)

Bu yöntemde tesislerden gelen atık su, birbirine ardışık olarak bağlantılı 4–6 veya daha fazla gözlü ve derinlikleri 2-10 m arasında değişebilen havuzlara verilmektedir. İlk 2–4 göz genelde küçük, diğer gözler ise illere göre daha büyük olmalıdır. Kapasiteleri 100- 1000 m<sup>3</sup> arasında değişebilmektedir. Atık su içerisindeki iri taneler graviteye bağlı olarak ilk gözlerde toplanmakta, ağırlık olarak daha küçük ve ince taneler ise son gözlerde toplanmaktadır. Son gözlerde nispeten arıtılmış su bir pompa ile tesise geri sirküle edilmektedir. İlk gözlerde biriken çamur, periyodik olarak, çamur pompası yardımıyla boşaltılmaktadır.

Bu sistemde gözlerin çabuk dolması ve sık sık bunların boşaltılması için tesisin durdurulması gerekmesinden dolayı tam ve sürekli bir arıtma sağlanamaması dezavantajı, düşük maliyet ve işletme giderleri ise avantajlıdır. Cilalama üniteleri olmayan küçük ve orta ölçekli mermer işleme tesislerinde yaygınca kullanılmaktadır (Büyüksağış, 1994).

## **5.2. Flokülasyon Yöntemi (Tam Otomatik)**

Büyük ölçekli entegre tesislerde oldukça yoğun su tüketimi olmakta ve çok gözlü havuz sistemleri kapasite olarak ve kullanılacak suyun istenilen berraklığını karşılayamamaktadır. Bu nedenle tesislerde şu an modern olarak anılan çökeltme tankları ve sedimentasyon yöntemi yapılmaktadır. Bu sistemi dört ana gruptan oluşmaktadır.

### **5.2.1. Atık Su Kanalları ve Toplama Havuzu**

Su kanalı fabrikadan atılan kirli suyun rahatlıkla toplama havuzuna akabileceği asgari ve azami eğim koşullarını sağlamalı ve gerektiğinde kolay temizlenebilir kesitte olmalıdır. Toplama havuzunun geometrisi seçilen çamur pompasının verimli çalışmasına uygun olmalı, çökmeyi önleyecek bir geometriye sahip olmalı ve tabanı ve yan yüzeyleri mermer çamurunun tutunamayacağı şekilde düzgün ve pürüzsüz yapılmalıdır.

### **5.2.2. Çökeltme Grubu**

#### **5.2.2.1. Çamur Pompası**

Kanallar yardımıyla toplama havuzunda biriken çamuru çökeltme tankına basan araçlardır. Atık su yoğun miktarda aşındırıcı malzeme içerdiğinden, aşınmaya karşı özel malzeme ile üretilmiş pompalar seçilmelidir. Pompa emme ağzında bir mekanik filtre bulunmalı ve pompanın basamayacağı büyüklükteki parçalar tutulmalıdır. Emniyet için pompanın debisi sistemin kapasitesinden % 5 – 10 daha büyük olmalıdır. Pompa kapasitesi dinlenmeli çalışmak suretiyle fabrikalardan gelen suyun akış debisine cevap verebilmelidir.

### **5.2.2.2. Flokülant Hazırlama ve Dozajlama**

Çökelmeyi hızlandırmak amacıyla atık suya flokülant ilavesi yapmak gerekir. Flokülantın doğrudan toplama havuzuna ilavesi, floklaşan katı partiküllerin pompanın daha hızlı aşınması ve veriminin düşmesinin yanı sıra, toplama havuzu içerisinde de çamur çökmesine neden olacağı için doğru değildir. Öte yandan, doğrudan çökeltme tankına yapılan enjeksiyonlarda ise flokülantın homojen şekilde dağıtılması mümkün olmaz. Bu yüzden flokülant, çamur pompası çıkışı ile çökeltme tankı girişi arasında uygun bir noktadan enjekte edilmelidir. Flokülant enjeksiyon borusu pompa çıkışındaki çamuru çökeltme tankına taşıyan boruya, uygun bir açı ile, bağlanmalıdır. Flokülantların piyasaya ticari sunumu toz halindedir ve bu malzeme 1/1000 – 1/3000 oranında seyreltilerek bir çözelti oluşturulur ve hazırlanan çözelti atık su içerisine enjekte edilir. Kapasitesi 300 l/dak' dan küçük arıtma sistemlerinde bu seyreltme ve çözelti hazırlama işlemi yatay silindirik tanklarda manuel olarak yapılabiliyorken, daha büyük kapasiteli sistemlerde otomatik olarak yapılmalıdır.

### **5.2.2.3. Çökeltme Tankı**

Sistemin verimini etkileyen ana ünedir. Arıtma işlemi esas olarak çökeltme tankında gerçekleşir.

Flokülant katılmış atık su bir difüzör ile tankın konik dibine yönlendirilir. Bu yönlendirmede katı partikülleri dibe itecek ancak önceden çökelmiş olan çamuru tekrar karıştırmayacak bir hareket oluşturulmalıdır. Dolayısıyla difüzör geometrisi atık su debisine ve partikül büyüklük dağılımına uygun olmalı, tank konisi ile doğru mesafe ve pozisyonda konumlandırılmalıdır.

Tank konisinde çökelen çamur birikir. Koni açısı çamurun çeperlere tutunarak sıvanmasını engelleyecek kadar dik olmalı ve yeterli çamur biriktirme hacmini sağlamalıdır.

Difüzörle dibe yönlendirilen atık su, flokleşmiş katı partiküllerini dibe bıraktıktan sonra difüzör dış yüzeyi ile tank iç yüzeyi arasından tankın üst kısmına doğru hareket eder. Bu yukarı doğru hareketin hızı, dibe çökelmiş partikülleri tekrar yukarı sürüklemeyecek kadar düşük olmalıdır. Gerekli akış hızı tank çapı ile sağlanır. Tank silindir boyu difüzör geometrisi ve difüzörün tank konisi ile pozisyonlandırılması sonucunda ortaya çıkar.

Tankın üst kısmında biriken temiz suyu, türbülans yaratmadan almak için savaklar kullanılır. Bunun için savağın laminar akış şartlarını sağlayacak şekilde tasarlanması gerekir. Çamur pompasını azami anlık debisi esas alınarak savak hesapları yapılmalı ve savak alanının tamamının verimli kullanılabilmesi için terazide durmasına dikkat edilmelidir.

Tank konisinde biriken çamurun boşaltılması otomatik kontrollü deşarj vanası ile yapılır. Vana belirli aralıklarla otomatik olarak açılıp, belirlenen süre boyunca açık kalarak çamurun tank içerisinden boşaltılmasını sağlar.

Çökeltme tankını dibinde bulunan daha viskoz ve daha az hareketli çamurlu su donmaya eğilimlidir. Donma riskini azaltmak için sistemi sürekli çalışır tutmak en kolay tedbirdir. Buna rağmen yoğun kış şartlarının yaşandığı bölgelerde kurulu olan arıtma sistemlerinde, çökeltme tankının konisinin donmasını engelleyecek, donma sıcaklığına düşüldüğünde deşarj vanaları ve tank konisi bölgesinde lokal bir ısınmayı sağlayacak izolasyonlu ısıtma sistemleri kullanılmalıdır.

### **5.2.3. Temiz Su Grubu**

Çökeltme tankının yanına yerleştirilen ikinci bir tank içerisinde temiz su biriktirilir ve bu tank sistemin su deposu vazifesini görür. Su dağıtım ağının direnci ve makinelerin su sarfiyat noktalarında istenen su basıncı dikkate alınarak bu tank yeterli bir yüksekliğe konumlandırılmalıdır. Bu durumda gerekli şebeke basıncı sağlanarak sistemin başka bir pompa, hidrofor ya da depo ihtiyacını ortadan kaldırır, uzun vadede enerji ve bakım maliyetleri açısından avantaj sağlar. Ancak bu tankın kotu doğru hesaplanmaz ve gerektiğinde daha yüksek bir noktada konumlandırılırsa, tüm sistemin yüksekliği de buna bağlı olarak artacağından, gerek ilk yatırımdaki temel ve betonarme giderleri, gerekse toplama havuzundan çökeltme tankına atık su basmak için gerekli olan çamur pompasının büyütülmesi ihtiyacı sonucunda pompa ilk yatırım ve enerji maliyetleri de artacaktır.

### **5.2.4. Çamur Dehidrasyon Grubu**

#### **5.2.4.1. Homojenizasyon Mikseri**

Çamur tankında boşaltılan çamur, filtre prese basmak üzere çamurun depolandığı ve içine flokülant katılmış olduğu için katılaşmaya eğilimli çamurun sürekli karıştırılarak akışkanlığının korunduğu bir mikserle sahip olan homojenizasyon tankına alınır. Bu tank aynı zamanda sistemin otomasyonunda önemli bir yere sahiptir. Tank içerisine yerleştirilmiş olan seviye ölçme elektrotları hem çökeltme tankında çamur deşarjına, hem de homojenizasyon tankından filtre prese çamur basılmasına yönelik sinyaller üreterek sisteme komuta eder.

#### **5.2.4.2. Filtre Pres**

Filtre presin çamur hacmi ve filtrelerin dirençleri arıtma sisteminin kapasitesine ve filtre presten önceki ünitelerin özelliklerine uygun olmalıdır. Filtre direnci, çamur pompası kapasitesi ve göze alınan su kaybı dikkate alınarak filtrasyon süresi hesaplanarak bu süre içerisinde sistemdeki çamuru susuzlaştırabilecek yeterli hacim pres plakaları arasında oluşturulmalıdır.

Suyu sıkılarak kek haline getirilmiş çamur paneller açıldığında yerçekimi etkisi ile pres altına konulmuş toplama ekipmanlarının (konteyner, römork, kamyon vb) içine dökülür. Dökülmeyi kolaylaştırmak ve panellerin tamamen temizlenmesini sağlamak amacıyla, panelleri her açıldığında yeterli güçte ve sürede silkeleyecek bir otomatik silkeleme tertibatı bulunmalıdır.

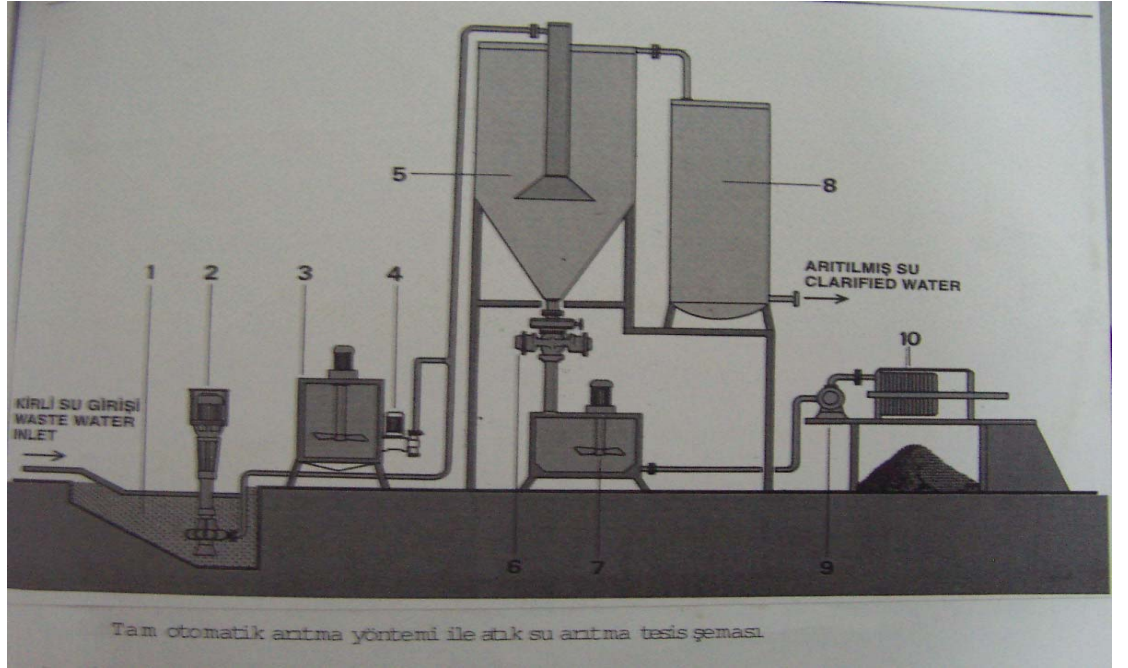
Çamurun sıkılması sırasında panel aralarında su sızması gerekir. Bunu sağlamak üzere filtre bezleri aynı zamanda conta vazifesi görebilecek bir malzemedir olmalıdır. Bu amaçla çoğu zaman çift kat filtre bezi kullanılır ve iç bez filtrasyon, dış bez ise conta görevini yerine getirir.

Filtre preste sıkma işlemi, homojenizasyon tankından prese çamur beslemesi yapan çamur pompasının oluşturduğu basınçla yapılır. Pres yapısında bulunan hidrolik silindir bu sırada plakalara etki eden açma kuvvetini dengeleyerek plakaların kapalı ve sızdırmaz kalmasını sağlar. Bu nedenle elde edilecek olan kekin kuruluk derecesi öncelikle çamur pompasının kapasitesine bağlıdır. Filtre preste sıkılan su atık su toplama havuzuna geri döner, proste direkt olarak kullanılmaz. Bu nedenle, sıkılan suyun içerisinde partiküllerin bulunması sistemde kullanılan suyun kalitesi belirlemede önemli olmamakla beraber, filtre pres bezlerinde bir deformasyonun habercisi olabilir.

Filtre pres sadece atıkları kek haline getirmeye yarayan bir makine değildir. Filtre pres sayesinde çökeltme tankı sık sık deşarj edilerek, tank dibindeki çamurun seviyesinin yükselmesi ve temiz suya karışmaya başlaması engellenmiş olur. Filtre pres olmaksızın, sistemin su kalitesini sağlamak amacıyla, çok fazla deşarj yapılması,

sistemin su kaybının çok yüksek olmasına ve arıtma sisteminin bir geri dönüşüm sistemi olmaktan çıkmasına neden olur (TÜMMER, 2005).

Şekil 5.1. Tam otomatik arıtma ile atık su arıtma akım şemasını göstermektedir.



Şekil 5.1. Tam otomatik arıtma yöntemi ile atık su arıtma şeması

- 1-Kirli su havuzu
- 2-Kirli su transfer pompası
- 3-Çökeltici hazırlama tankı
- 4- Çökeltici dozaj pompası
- 5-Çökeltme tankı
- 6-Çamur çıkış valfi
- 7-Çamur mikseri
- 8-Temiz su depolama tankı
- 9-Filtre prosesi besleme pompası
- 10-Filtre presi

## 6. MERMER ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLDİĞİ YERLER

### 6.1. İnşaat Sanayi

İnşaat alanında mozaik, yapıtaşı, çimento, harç ve sıva olarak kullanıldığı gibi kireç elde edilen en önemli hammaddelerden birisidir. “Suni Mermer” olarak da bilinen “yer karoları”nın imalatında ana hammadde olarak doğal mermerler kullanılmaktadır. Uygun boyutlardaki mermer parçalarının bağlayıcılar ile beraber, mermer agregalı karo üretiminin temelini oluşturmaktadır. Mermer parçalarının yanı sıra %10–12 oranında, boyutu 0,5 mm. altında olan mermer tozu da kullanılmaktadır.

Karo imalatçıları; kullandıkları mermer parçalarını ve mermer tozunu hazır olarak diğer imalatçılardan aldığı gibi bazılarında kendi özel ocaklarında delme patlatma metoduyla mermer tozları üreterek kendi kırma ve öğütme tesislerinde boyut küçültme işlemine tabi tutulmaktadır.

Mermer toz atıklarının derz dolgu malzemesi (fuga) üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla yapılan çalışmada bu atıklarda bulunması gereken özellikler olan, tane boyut dağılımı, kimyasal bileşiminin uygunluğu (yüksek CaCO<sub>3</sub> oranı), beyazlık (yabancı madde içermeme) ve nem oranı değerlendirilmiştir. Çıkan sonuçlara göre mermer fabrikası toz atıkları, kurutma, zenginleştirme, öğütme ve boyuta göre sınıflandırma işlemlerini takiben bu sektörde kullanım alanı bulabilir (Ceylan vd, 2001).

Ünal ve Uygunoğlu (2003) atık mermer tozu katkılı betonların donma – çözülme etkisinde mekanik özelliklerinin araştırıldıkları çalışmalarında, mermerlerin fabrikada işlenmesi sırasında açığa çıkan mermer tozunun betona % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında, karışımdaki ince malzeme ile hacimce yer değiştirmek suretiyle ilave etmişlerdir. Su /çimento oranlarını 0,65 ve çimento dozajını 300 ve 350 olarak belirleyerek üretilen tüm numuneleri kalıp alındıktan 28 gün sonunda 1 hafta ile donma – çözülme deneyine tabi tutmuşlardır. Numuneler üzerinde yaptıkları su emme, ultra

ses hızı ve basınç dayanımı deneyleri sonucunda, mermer tozunun betona %5 – 15 oranında ince malzeme olarak ilave edilmesiyle ve çimento dozajının 350 seçilmesiyle betonun dayanımını olumlu bir şekilde arttırdığını gözlemişlerdir.

Mermer tozu, genişmiş perlit ve bağlayıcı olarak değişik oranlarda katılan kireç – alçı malzemeler ile hazırlanan hafif yapı blokları numuneleri üzerinde uygulanan fiziksel ve mekanik testler sonucunda, kendi grubuna giren hafif beton duvar malzemeleri ile karşılaştırıldığında ekonomik şartlarda ve yeterli mekanik özellikleri sağlayan hafif duvar elemanı üretilebileceği belirlenmiştir (Demir ve Başpınar, 2003).

Mermer fabrikalarının atığı olan mermer tozunun zemin iyileştirmesi için katkı maddesi olarak düşünüldüğü çalışmada, zemin numunesi olarak kullanılan Meşelik Kilinin kuru ağırlığına göre atık mermer tozu ile belirli oranlarda karıştırılması sonucunda, atık mermer tozunun killerin şişme potansiyelini etkilediği ve zemin iyileştirmesinde kullanılabilir bir malzeme olduğu ortaya çıkmıştır (Zorluer ve Usta, 2003).

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde mermer tozunun dolgu malzemesi olarak kullanılmasının araştırıldığı çalışmada, mermer tozunun yanı sıra uçucu kül ve taş tozunun da kullanılmasıyla başka seriler de üretilerek, taze beton ve sertleşmiş betonda deneyler yapılmıştır. Taze beton üzerinde yayılma tablası, L-box ve V-hunisi deneyi; sertleşmiş betonlar üzerinde de eğilme ve basınç deneyleri yapılarak uçucu kül, taş tozu ve mermer tozunun kullanıldığı deney sonuçları karşılaştırılmıştır (Ünal vd, 2006).

İnşaatlarda kaba sıva, ince sıva ve hatta boya işlemlerini tek kalemde çözen hazır sıva ve macun üretiminde kullanılan kalsitin yerine mermer tozunun alçı, çimento ya da toz polimerlerle karıştırılması uygun sonuçları verdiği takdirde, bu malzemenin en büyük miktarda kullanılabileceği alanlardan biri olacaktır. İnşaat sektöründe;

- Sıva harcı karışımında,
- Dolgu malzemesi olarak,

- Mozaik üretiminde,
- Kaplama ve döşeme,
- Kireç üretiminde,
- Mıdır olarak,
- Paldyen olarak ve
- Kara ve demir yollarında, kullanım alanları bulmaktadır (Çelik, 1996).

## 6.2. Seramik Sektörü

Seramik üretiminde %5–6 oranında mermer kullanılmaktadır. Seramik bünye ve sırlarında CaO olarak bünyeye alınan hammadde kaynakları genel olarak kalsit, dolomit ve mermerdir. Karışık ve kalsitli akçini çamurlarının mineralojik biçiminde %5–20 arasında CaCO<sub>3</sub> kullanılır. Bu CaCO<sub>3</sub> çok ince öğütölmüş mermer halinde bileşime katılır. İri taneli ve iyi dağılmamış kalsit çamur içinde hatalara yol açar. Özsüz seramik hammadde olan kalsit türleri, seramik çamurlarında artan sıcaklık ile birlikte gözenekliliği azaltır.

CaO sırdaki SiO<sub>2</sub> ile reaksiyona girerek bir ara tabaka oluşturur. Bu ara tabaka seramik teknolojisinde çok önemlidir. CaO sır içindeki diğer oksitlerle birleşerek cam oluşumuna yardımcı olur (Çelik, 1996).

## 6.3. Çimento İmalat Sanayi

Çimento; CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve eser halde MgO ihtiva eder, esas itibariyle kalker ve kil karışımı olan, klinkerleşme sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra, gerektiğinde alçı, vb. katkı maddeleri karıştırılıp öğütölerek toz halinde elde edilen bir malzemedir. En önemli özelliği %11-15 su ile karıştırıldığı zaman belli bir süre sonra sertleşerek karışımdaki diğer malzemelerin birbirine bağlanmasını sağlar. Çimento sanayinde her ne kadar çok miktarda CaCO<sub>3</sub> bileşimli hammaddeler kullanılırsa da,

mermer sadece Beyaz Portland çimentosu yapımında kullanılmaktadır. Normal portland çimentosu bileşimindeki kalker yerine hammadde olarak mermer, kil yerine de kaolen kullanılmasıyla beyaz portland çimentosu elde edilmiş olur (Çelik, 1996).

Kavas ve Kibici (2001) yaptıkları çalışmada, Afyon bölgesi mermer atıklarının portland kompoze çimentosu üretiminde katkı maddesi olarak kullanım olanaklarını araştırmıştır. TS 12140 standardında Portland Kalkerli Çimento ile ilgili değerler;

CaCO<sub>3</sub> % 75

2 günlük basma dayanım değeri > 10 N/mm<sup>2</sup>

28 günlük basma dayanım değeri > 32,5 N/mm<sup>2</sup> olarak verilmiştir.

% 3, % 6 ve % 9 oranında mermer tozu katkı oranları ile hazırlanan çimento örnekleri ile yapılan testler sonucunda, şahit numuneye en yakın değerlere % 3 mermer tozu katkılı numunede ulaşılmakla beraber, tüm numunelerin basma dayanım değerleri ilgili standardı karşılayacak şekilde çıkmıştır.

Afyon bölgesi mermer atıklarının Kalsiyum Alüminalı (CA; CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) çimento üretiminde bir hammadde olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada, Afyon bölgesinde üretim yapan farklı mermer işleme tesislerinin toz atıklarının aynı miktarda katılımıyla oluşturulan numunelerden farklı oranlarda kullanılarak üç değişik reçete hazırlanmıştır. Bu reçetelerden üretilen üç farklı kalitede (düşük, orta ve yüksek) Kalsiyum Alüminalı (CA) çimento üzerinde standart çimento deneyleri olan kimyasal analiz, yoğunluk, incelik (Blaine), priz başı ve sonu ile 6 ve 12 saat sonrası basma dayanımı gibi deneylerin yanı sıra XRD, DTA ve SEM analizleri yapılmıştır. Sonuçlar uluslararası refrakter çimento piyasasında önemli bir paya sahip SECAR firması tarafından piyasaya sunulan aynı sınıf CA çimentosu (Fondu, Secar 51 ve Secar70) katalog değerleriyle karşılaştırılmış ve karşılaştırma sonrasında atıklar kullanılarak üretilen CA çimentolarının SECAR firması tarafından piyasaya sunulan CA çimentosu değerlerini kazandığı gözlemlenmiştir (Kavas vd, 2003).

#### 6.4. Plastik Sanayi

Dünyada plastik ihtiyacının artması sonucu, üreticiler, kaliteyi düşürmeden maliyeti azaltmak için 1970'li yıllardan itibaren mineralleri dolgu malzemesi olarak kullanmaya başladılar. Bu minerallerden biri de  $\text{CaCO}_3$ 'dür. Ancak inorganik malzeme olan minerallerle organik malzeme olan polimerlerin bir arada kullanımı yüzey gerilim farklarından ötürü bazı sorunlar oluşturmuştur. Bu sorunları önlemek için mineralleri kaplama yoluna gidilmiştir. Bugün yaklaşık 100 çeşit yüzey kaplama yöntemi vardır.  $\text{CaCO}_3$  için yüzey kaplaması, yaygın olarak stearik asit ile yapılmaktadır. Kaplanmış  $\text{CaCO}_3$ 'ün plastiğe getirdiği avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

Hidrofobik yapı,  
Düşük yüzey enerjisi,  
Kolay disperse olması,  
Yüksek homojenizasyon sağlaması,  
Bazı mukavemetleri yükseltmesi,  
Daha parlak ve düzgün yüzey oluşumu sağlaması ve  
Makine aşınmalarının azalması.

Plastik üretiminde, dolgu malzemesi olarak % 45 oranında  $\text{CaCO}_3$  kullanılabilir. Ancak, bu malzemenin polimerlerde yaşlanmaya sebep olan ağır metalleri içermemesi ve yüksek kimyasal saflığa sahip olması gerekmektedir. Mermer toz atıklarının plastik üretiminde kullanılabilmesi için min. % 97 oranında  $\text{CaCO}_3$  içermesi gerekmektedir.

Polypropilen (PP), Polyamid (PA), Termoplastik (TPES) ve PVC reçineleri esas itibariyle kalsitin dolgu olarak kullanıldığı plastik türleridir. ABD ve Avrupa'da plastik sektöründe kalsit dolgusu yılda 3 milyon tonun üzerinde kullanılmaktadır (DPT, 2001).

## 6.5. Kâğıt Sanayi

Mermer tozlarının, kâğıt üretiminde, dolgu ve kaplama malzemesi olarak kullanılma imkanı vardır. Burada kullanılan mermer tozlarının 2  $\mu$  altı boyutta ve % 30–98 arasında  $\text{CaCO}_3$  içermesi istenmektedir. Dolgu amaçlı kullanımda  $\text{CaCO}_3$  oranı, % 40–80 arasında değişebilirken ilk veya mat kaplamalarda bu oran % 60 civarındadır. Tek kat veya üst kat kaplamalarda ise 2  $\mu$  altı ve % 98  $\text{CaCO}_3$  oranı istenmektedir.

Çizelge 6.1. de SEKA-Dalaman Kâğıt Fabrikasında kaplamada kullanılacak  $\text{CaCO}_3$ 'ın kimyasal ve fiziksel özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 6.1. SEKA-Dalaman kâğıt fabrikasında kaplama işleminde kullanılacak  $\text{CaCO}_3$ 'ın fiziksel ve kimyasal özellikleri

KİMYASAL ÖZELLİKLER	
$\text{CaCO}_3$	%95 min.
$\text{MgCO}_3$	%2 max.
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	% 0,5 max.
Asitte çözünmeyen	% 0,5 max.
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
Nem	% 1 max.
Beyazlık	% 95 min.
Sarıklık	%4 max.
Viskozite	700 max.
Tane boyutu < 2 $\mu$	% 80 min.
>10 $\mu$	%2 max.
>45 $\mu$	—
Aşındırma (mg)	25 max.

Dünyada son teknolojik gelişmeler sonucu, kâğıt üretiminde proses değişikliği olmuş, asit sistemden alkali sisteme geçiş başlamıştır. Asit sistemde  $\text{CaCO}_3$  kullanılmazken alkali sistemde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu gelişmeler,  $\text{CaCO}_3$ 'a olan talebi arttırmış ve arttırmaya devam etmektedir. Dünyada birçok ülke asit sistemden alkali sisteme geçmeye hazırlanmakta ve bu yönde planlama yapmaktadır. Bu gelişme, mermer toz atıklarına, bu sektörde bir pazar oluşturmaktadır.

$\text{CaCO}_3$ , özellikle sigara kâğıdı başta olma üzere gazete kâğıdı, kaliteli dergi kâğıtları üretiminde kullanılmaktadır. Yağ emme özelliğinden dolayı matbaa mürekkebinin hızlı kurumasını sağlamaktadır. Kâğıt sektöründe dolgu veya kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır.  $\text{CaCO}_3$  veya  $\text{MgCO}_3$ , kullanılması kâğıdın daha düzenli yanmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte  $\text{CaCO}_3$  ile yapılan kâğıtlar daha dayanıklı olmaktadır. Kâğıt imalatında selülozun pişirilmesi sırasında sıvının hazırlanmasında mermer kullanılmaktadır. Pişme sıvısı, kireç taşı ile  $\text{SO}_2$  arasında oluşan reaksiyon sonucu meydana gelir.

Türkiye’de kağıt sektöründe 2 mikron altı % 42-44 ve kuru öğütülmüş kalsit dolguda kullanılmaktadır, hatta bazı kağıt üreticileri 2 mikron altı %36-38 civarında kalsitler bile kullanılmaktadır. Türkiye’de kağıt sektörü tahmini tüketimi 50.000 ton olmaktadır (DPT, 2001).

## 6.6. Tarım ve Gübre Sanayi

Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri, üzerinde yetişen ürünler açısından büyük önem taşır. Toprağın katı kısmı %1,5–5 oranında organik madde ve %95–99 oranında mineral maddeleri ihtiva eder. Kalsiyum oranı toprağın yapısı bakımından etkili olduğu kadar, kimyasal nitelikleri üzerinde de etkili olduğundan toprağa yeterli bir kalsiyum düzeyi sağlaması gerekir. Doğal olarak sularla yıkanma yüzünden durmadan kireç kaybettiği için toprağa zaman zaman (3–6 yılda bir) kireçli madde vermek gerekir. Kireçle toprak ıslahı için, kalsiyumlu maddeler kullanılır. Bunlar; kalsiyum karbonat, kalsiyum oksit ve hidroksil veya dolomit gibi maddeler kullanılır (Çelik, 1996).

## 6.7. Yem Sanayi

Özellikle yumurta yemlerinde  $\text{CaO}$  veya  $\text{CaCO}_3$  olarak boyutu 2 mm altında olan toz katılmaktadır. Bu oran % 10–12 arasındadır. Düşük kalsiyum oranlı yemler

tavuklarda yumurta verimini önemli ölçüde etkilemektedir. Türk Standartları Enstitüsünün TS60 standartlarına göre mermer tozu hayvan yemi olarak kabul edilmektedir. Buna göre bileşiminde en az % 92 CaCO<sub>3</sub> bulunan mermerler bu amaç için kullanılırlar (Çelik, 1996).

Sabah ve Çelik (2001) İsehisar (Afyon) mermer artıklarının hayvan yemi katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırılmış ve ortaya çıkan sonuçları hayvan yemi katkı maddesi olarak kullanılan mermer tozu için TSE standardı (TS 8606)' na göre değerlendirerek, bu atık tozların yem katkı maddesi olarak kullanılabilceği sonucuna varmışlardır.

## 6.8. Boya Sanayi

Boyalar dört ana hammaddeden oluşur;

- Bağlayıcı
- Çözündürücü
- Pigment
- Yardımcı maddeler

Bağlayıcı olarak reçine kullanılmaktadır. Boyacılar boya içindeki çözünmeyen pigmentlerin homojen ve sürekli bir film şeridi oluşturmasını, sürüldüğü yüzeye iyice yapışmasını ve parlaklık vermesini sağlar. Boya imalatında katkı maddesi olarak kullanılan kalsit (CaCO<sub>3</sub>), özellikle sulu boyalar için önemlidir. Bunun için 10 mikronun altında ve çok saf kalsit kullanılmaktadır. Kalsitin içindeki demir oksit oranı %0,03'de az olması istenir (Çelik, 1996).

Çelik ve Ersoy (2006), iri kristalli beyaz mermerlerden üretilen ve boya üretiminde kullanılan mikronize kalsitin tane boyut dağılım eğrisi dikliğinin boya

kalitesi üzerine etkilerini literatür verileri ile irdelemiş ve ülkemizdeki bazı ürünlerle mukayese etmişlerdir.

### **6.9. Yol Yapımında**

Stabilizasyon malzemesi olarak yollarda kullanılır. Yol zeminindeki kil mineralleri ile birleşerek plastisite, genleşme ve kabarma katsayılarına etki eder. Ayrıca mıcır olarak da yol yapımında kullanılır.

Türkiye’de doğal taş işleyen endüstrilerden yaklaşık olarak yılda 2,7 milyon ton atık çamur ortaya çıkmakta ve bu atıklar boş arazilere veya vadilere boşaltılmaktadır. Yapılan çalışmada (Yıldız vd, 2006), mermer atık çamurunun zemin stabilizasyon malzemesi olarak değerlendirilebilmesi için yol inşaatında teknik açıdan uygulanabilirliği incelenmiştir. Analiz için toprak numuneleri, Antalya, Burdur, Isparta ve Afyon il sınırları içerisinde bulunan yol güzergahından ve atık çamur örnekleri, aynı bölgedeki mermer işletmelerinden toplanmıştır. Deney numuneleri, toprak örnekleri içerisine %0 ile 40 arasında değişen oranlarda doğal taş toz atıklarının çamur halinde ilavesi ile hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler için elek analizi, özgül ağırlık, Atterberg limitleri, standart proktor, kesme kutusu ve Kaliforniya taşıma oranı (CBR) testleri uygulanmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarında; endüstride uygulanan işlemler nedeniyle kısmi kireç özelliği gösteren atıkların, yol zemini inşaatında kullanılan toprak malzemeleri önemli derecede iyileştirdiği gözlemlenmiştir (Yıldız vd, 2006),

### **6.10. Demiryolu Zemin Malzemesi**

Demiryoluna sağlam bir zemin oluşturmak için öncelikle zemine balast denilen yeterli sağlamlıkta ve boyutlandırılmış granül taş döşenir. Böylece demiryolu üzerindeki yükler rahat bir şekilde karşılanırken, demiryolları yapım malzemeleri olan travers ve raylar suyun etkisinden korunmuş olur.

### 6.11. Cam Sanayi

Magnezyum ve kalsiyumca zengin kireçtaşları kullanılır. Kalsiyumca zengin olan malzeme şişe ve pencere camı, Mg'ca zengin olanlar özel cam imalinde kullanılır. Cam sanayiinde kullanılacak kireçtaşları şu özellikleri taşıması gerekir;

- $\text{CaCO}_3$  %98,5
- $\text{FeO}$  %0,2
- Organik madde %0,3
- Bakiye silikat %1,0

### 6.12. Kimya Sanayi

Karpit yapımında kullanılır. Karpit, elektrik fırınlarında kireçtaşı ve kok kömürlerinin şarjı sonucu elde edilir. Kok ile kireçtaşı % 40–60 arasındadır. Bu işlem için kullanılacak kireçtaşı saf ve yüksek kalsiyumlu olmalıdır.

### 6.13. Diğer Kullanım Alanları

Bu alanlar dışında; soda imalinde, refrakter malzeme imalinde, oto lastiği imalinde, patlayıcı malzeme imalatında, temizlik malzemeleri, haşere öldürücü ilaçlarda kullanılır. Ayrıca madencilikte;

- Yeraltı işletmeleri,
- Cüruf yapıcı,
- Flotasyon ve
- Kalsine dolomit üretiminde kullanılır.

Farklı kullanım alanları ile ilgili yapılan bir çalışmada, traverten fabrika atıklarının dolgu işlemlerinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Traverten örnekleri üzerinde, çimento dolgu olarak nitelendirilen dolgunun karakteristik malzemeleri kalsit, portland çimentosu, kaolen gibi malzemeler ile hem mermer fabrika atıklarının değerlendirilmesi hem de dolgu maliyetinin düşürülebilmesi için dolgu karışımında kayacın kendi toz artığının (kek) farklı yüzde oranlarında kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, tasarlanan dolgu karışımlarının uygulandığı traverten malzemelerde fiziksel ve mekaniksel değişim ve gelişmeler değerlendirilmiştir (Kun vd, 2006).

## 7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 7.1. Malzeme ve Yöntem

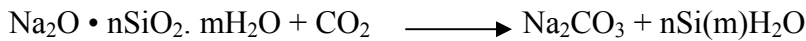
#### 7.1.1. Malzeme

Çalışmada kullanılan mermer kesim tozları Afyon bölgesinde faaliyet gösteren bir mermer fabrikasından alınmıştır. Su camı olarak ise 5 mol su içeren teknik sodyum metasilikat pentahidrat ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) kullanılmıştır.

Su camı içerisinde yüzde 20 ila 50 arasında sodyum silikat ihtiva eden sulu bir çözeltidir. Sodyum silikat suda çözünen bir cam türüdür ve zaten bu nedenle de su camı diye de bilinir.

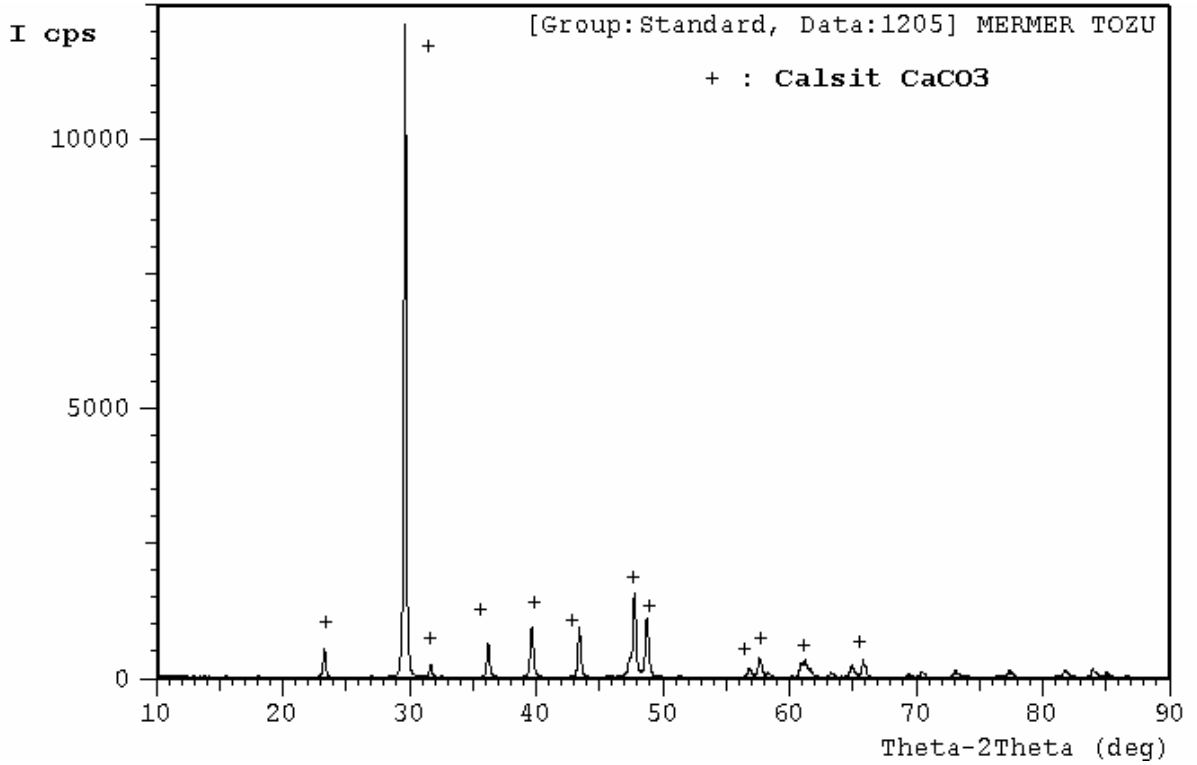
Değişik türlerde sodyum silikatlar bulunur. Bunlardan en yaygın olanı sodyum ortosilikat ( $\text{Na}_4\text{SiO}_4$ ), sodyum metasilikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), sodyum disilikat ( $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ )'dır. Yüksek sıcaklık ve basınç altında su içerisinde çözünerek bünyesine su alır. Bu nedenle genel kimyasal formülü  $x\text{Na}_2\text{O} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$  olarak gösterilebilir. Su camının piyasaya arz şekli genellikle şeffaf sulu çözelti halindedir. Silikajel yapımında kullanılır. Ayrıca döküm sektöründe kalıp kumunu bağlamada kullanılan bir bağlayıcı türüdür. Su camı; kağıt ve sabun sanayinde dolgu maddesi olarak, yanmaz boyaların yapımında, yumurtaların saklanması için kullanılır. Ayrıca çimentoya ve bazı koruyucu maddelere de katılır.

Su camının  $\text{CO}_2$  ile reaksiyonu sonucu aşağıda gösterilen reaksiyon meydana gelir;



Reaksiyon sonucunda oluşan silika jelin bağlayıcılık özelliği vardır.

Deneylerde kullanılacak mermer tozların mineralojik analizleri XRD tekniği (Schimadzu XRD-6000, Cu  $K_{\alpha}$  1.544 °A) ile yapılmış ve sonucu Şekil 7.1.'de gösterilmiştir. Analiz sonucunda malzemenin büyük bir bölümünün kalsit mineralinden oluştuğu tespit edilmiştir.

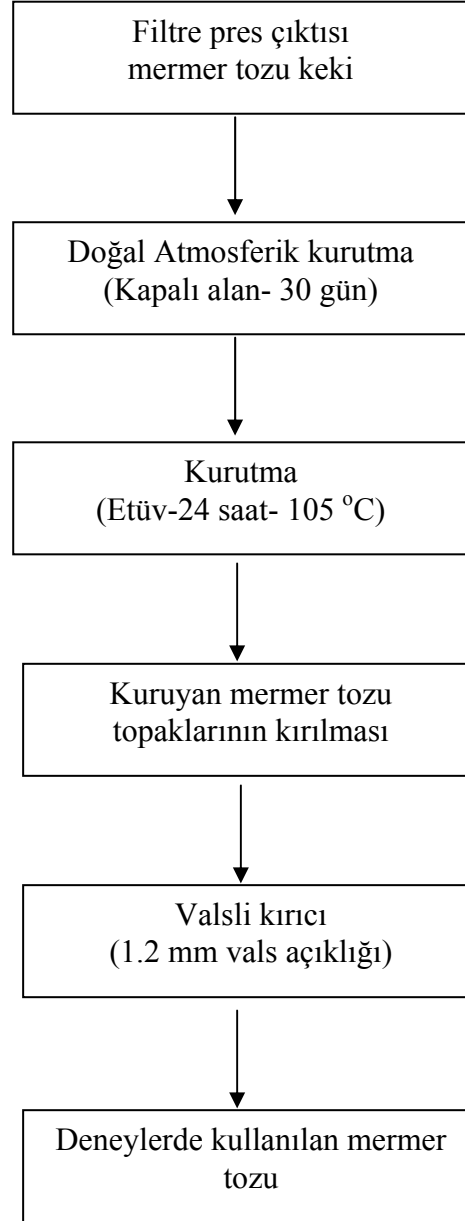


Şekil 7.1. Deneylerde kullanılan mermer kesim tozunun XRD analiz sonucu.

Mermer tozlarının fabrikadan temin edildiği hali filtre pres çıktısı olduğu için içerisinde belli oranda serbest nem bulunmaktadır. Bu nedenle temin edildiği durumda mermer tozlarından numuneler hazırlanmadan önce ön hazırlama işlemi yapılmıştır. Ön hazırlama işleminin akım şeması Şekil 7.2.'de gösterilmiştir. Yapılan nem tayininde temin edildiği durumda mermer tozu kekinin % 21,2 oranında nem içerdiği tespit edilmiştir.

Mermer tozu keki önce ceviz büyüklüğünde parçalara el ile ayrıldıktan sonra kapalı bir mekanda oda sıcaklığında (laboratuar ortamında) 30 gün süreyle kurutulmuştur. Oda şartlarından sonra yapılan nem analizinde mermer tozlarının % 8,7

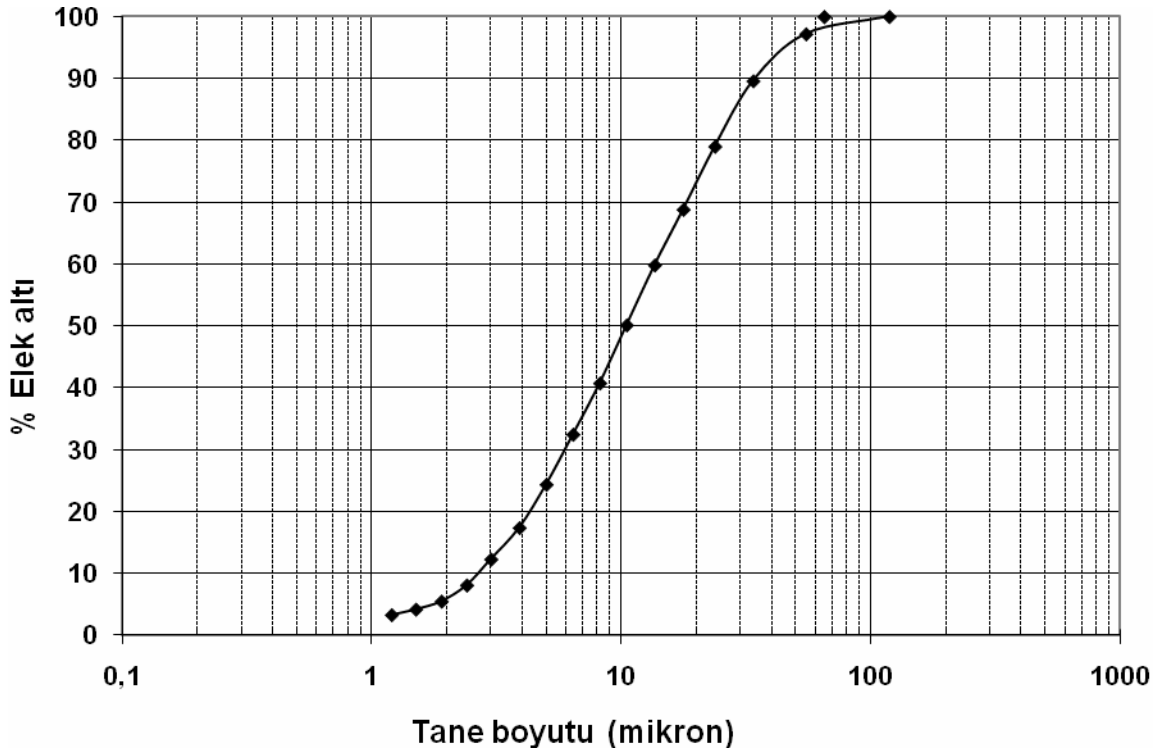
oranında neme sahip oldukları belirlenmiştir. 105 °C’de etüvde kurutma sonucunda malzeme tamamen etüv kurusu haline getirilmiştir. Kuruyan mermer tozu topakları çekiç yardımıyla küçültüldükten sonra 1,2 mm açıklıklı valsli kırıcıya beslenmiş ve mermer tozları elde edilmiştir.



Şekil 7.2 Mermer tozlarına uygulanan ön hazırlama işlem şeması.

Deneylerde kullanılan mermer tozlarının tane boyut analizleri Lazer tane boyutu (Malvern mastersizer 2000) belirleme cihazı ile tespit edilmiştir. Elde edilen tane boyut

dağılım eğrisi Şekil 7.3’de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi mermer tozunun tamamı 118,4  $\mu\text{m}$ ’nin altındadır. Mermer tozunun  $d_{50}$  boyutu 10,5  $\mu\text{m}$  ve  $d_{80}$  boyutu 15  $\mu\text{m}$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.3. Mermer tozunun tane boyut dağılım eğrisi.

## 7.1.2. Yöntem

### 7.1.2.1. Numunelerin Hazırlanması

Deneylerde kullanılmak üzere 4 ayrı seri numune hazırlanmıştır. Farklı serilere ait karışım oranları Çizelge 7.1’de gösterilmiştir. Hazırlanan birinci seri numunelerde ağırlıkça % 97 oranında mermer tozu kullanılmıştır. Daha sonraki numune serilerinde ağırlıkça artan oranlarda su camı ilavesi yapılmıştır. MT7/50 serisinde ise öncelikle su camı hacimce % 50 oranında saf su ile seyreltilmiştir. Bunun için manyetik karıştırıcıda su camına su ilavesi yapılarak karışım hazırlanmıştır. Seyreltme işlemiyle temin

edildiği halde akıcılığı nispeten zor olan su camının akıcılığının artırılması ve karışım içinde mermer tozları ile karıştırılabilirliğinin artırılması hedeflenmiştir.

Çizelge 7.1. Hazırlanan numunelerin içerikleri

Seri Kodu	Mermer tozu (% ağırlıkça)	Su camı (% ağırlıkça)
MT-3	97	3
MT-5	95	5
MT-7	93	7
MT-7/50	93	7 (%50 su ile seyreltilmiş)

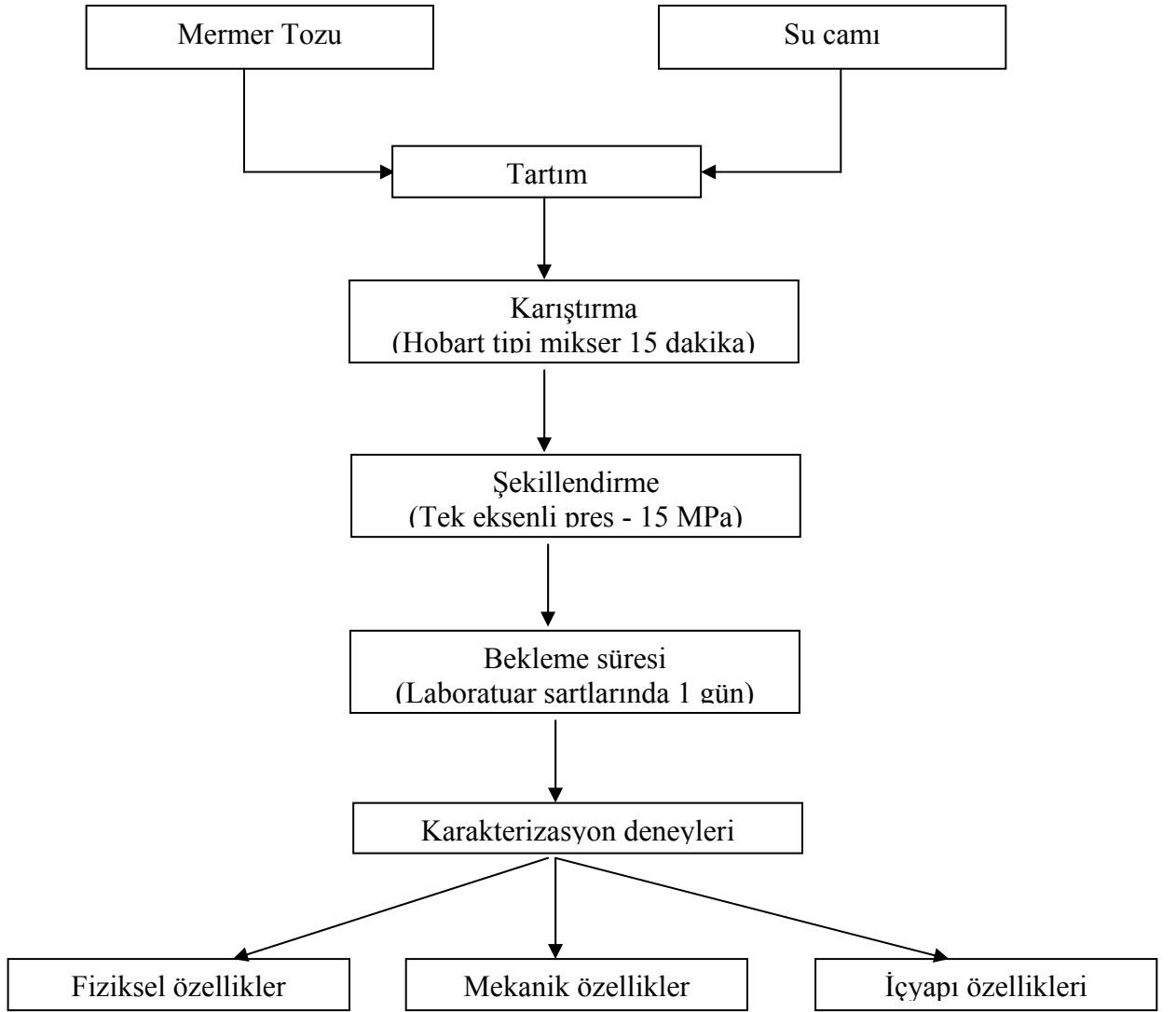
Numune serilerini hazırlamak için mermer tozu ve su camı Hobart tipi karıştırıcıda (Şekil 7.4.) 15 dakika süreyle karıştırılarak su camı ve mermer tozlarının homojen olarak karışması sağlanmıştır. Deney numunelerinin üretilmesi için tek eksenli hidrolik pres ve çelik kalıp kullanılarak (Şekil 7.5.), 30 mm çap x 60 mm yüksekliğe sahip silindirik numuneler kuru presleme tekniğine uygun olarak şekillendirilmiştir. Şekillendirme işlemi için herhangi bir bağlayıcı yardımcı malzeme kullanılmamıştır. Tüm numuneler 15 MPa sabit basınç altında şekillendirilmiştir. Şekillendirilen numuneler basınç mukavemeti testi öncesi 1 gün süreyle laboratuvar şartları altında bekletilmiştir. Daha sonra karakterizasyon işlemlerine geçilmiştir. Numune hazırlama akım şeması Şekil 7.6'te gösterilmiştir.



Şekil 7.4. Hobart tipi mikser



Şekil 7.5. Şekillendirme işleminde kullanılan hidrolik pres ve kalıp.



Şekil 7.6. Numune hazırlama akım şeması

### **7.1.2.2. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi**

Örneklerin, su içinde asılı ağırlıkları, yüzeyi kuru halde doygun ağırlıkları ve kuru ağırlık tartımları yapılarak ilgili numunelerin su emme, görünür gözeneklilik ve bulk yoğunlukları Arşimet yöntemi yardımıyla hesaplanmıştır.

#### **Su Emme**

Malzemenin birim ağırlık veya hacminin emmiş olduğu su yüzdesi olarak belirtilir.

Numunelerin su emme değerini tespit etmek için sırasıyla şu işlemler yapılır:

- Numuneleri 105 °C’ de etüvde kurutma, 0,0001 gr hassasiyetle tartma ( $m_0$ ),
- İçi su dolu bir kaba koyarak 24 saat bekletme,
- Sudan çıkarılan numunelerin su emmiş ağırlıklarının ( $m_1$ ) belirlenmesi,
- Su emme deneyi yapılmış numunelerin su içerisindeki ağırlıklarının ( $m_2$ ) belirlenmesi .

Test numunelerinin ağırlıkça su emme değerleri aşağıdaki formül yardımıyla belirtilir

$$\% \text{Su emme} = (m_1 - m_0 / m_0) (\times 100) \dots \dots \dots (1)$$

#### **Görünür Gözeneklilik (Porozite)**

Numunelerin görünür gözenekleri aşağıda verilen formül’e göre hesaplanır;

$$\% P = (m_1 - m_0 / m_1 - m_2) \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

Burada;

$m_0$ : Numunenin kuru ağırlığı (gr),

$m_1$ : Numunenin suya doymuş ağırlığı (gr),

$m_2$ : Numunenin su içerisindeki ağırlığı (gr),

P: Numunenin görünür gözenekliliği

### Hacim Ağırlığı (Bulk Yoğunluk)

Numunelerin birim hacim ağırlıkları aşağıda verilen formül'e göre hesaplanır;

$$B.H.A = \frac{m_0}{m_1 - m_2} \dots \dots \dots (3)$$

Burada;

$m_0$ : Numunenin kuru ağırlığı (gr),

$m_1$ : Numunenin suya doymuş ağırlığı (gr),

$m_2$ : Numunenin su içerisindeki ağırlığı (gr),

B.H.A: Numunenin birim hacim ağırlığı (gr/cm<sup>3</sup>),

### 7.1.2.3. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

#### Basınç Mukavemeti

Basma gerilmesi malzemenin basmaya karşı gösterdiği dirençtir. Gerilme değeri kuvveti kesit alanına bölerek bulunur. Bir malzemenin basmaya karşı gösterdiği maksimum direnç basma deneyi ile bulunur. Basma deneyinin diğer bir avantajı da çok küçük numunelerin bile kullanılabilmesidir. Basma numunelerinde yükün kullanıldığı alt ve üst yüzeyler numunenin düşey eksenine dik ve birbirine paralel olmalıdır. Örneklerin basınç mukavemet değerleri aşağıda verilen formül (4) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma_b = P_k / A_0 \text{ (N/mm}^2\text{- MPa)} \dots \dots \dots (4)$$

$\sigma_b$ : Basınç mukavemeti (N/mm<sup>2</sup>- MPa)

$A_o$ : Basınç uygulanan yüzeyin alanı (mm<sup>2</sup>)

$P_k$ : Kırılma anındaki kuvvet (N)

### **Dona Dayanım**

Seramik karo teknik özellikleri uluslararası standartlar ve onlarla eş Türk standartları tanımları çerçevesinde şekillenmektedir. TS-EN 87 su emme oranlarına göre ürünleri gruplamaktadır. Buna göre birinci grup su emme oranı % 3'ten az olanları, II a grubu % 3 ve % 6 arasında, II b grubu % 6 ile % 10 arasında , III grup ise su emme oranları %10' dan büyük olanları gruplamaktadır.

Deneylerde üretilmiş olan numunelerin su emme değerleri %12,6 ile % 35,71 arasında değişmektedir. Bu nedenle seramik karo ürün grubu referans alındığında TS-EN 87 standardında belirtilen III. grup karo sınıfına girmektedir. Bu tip ürünler için TS EN 202 standardında dona dayanım için -15°C ile +15°C arasında elli kez donma ve çözülmeye dayanıklı olması gerektiği belirtilmektedir.

Dona dayanım testi için 30 mm çap x 60 mm yüksekliğe sahip silindirik numuneler kullanılmıştır. Dona dayanım testi için test numuneleri önce 105°C'de kurutulmuş ve kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra numuneler 24 saat boyunca su içinde bekletilmiş ve su ile doyurulmuştur. Numuneler 4 saat içinde -15°C'ye gelen derin dondurucuda tutulduktan sonra 15°C'de sabit tutulan su banyosuna konulmuş ve çözünme için 1 saat beklenmiştir. Böylece bir çevrim tamamlanmıştır. Her 10 çevrimden sonra numuneler kurutulmuş ve ağırlık kayıpları ölçülmüştür. Numunelerin ilk ağırlıklarına göre % ağırlık kayıpları hesaplanmış ve çevrim sonrası kalan ağırlık yüzdeleri cinsinden değerlendirmeler yapılmıştır. Numunelerde meydana gelen bozulmalar gözlenmiştir.



Şekil 7.7. Dona dayanım deneylerinin yapıldığı dondurma – çözme dolabı

### Üç Nokta Eğme Mukavemeti

3 nokta eğme mukavemetleri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır. Mesnetler arası açıklık 10 mm yükleme hızı 0,1 mm/dk olacak şekilde deneyler yapılmıştır. 3 nokta eğme mukavemeti testi için 15 MPa basınç altında 150x25x10 mm (boy x en x yükseklik) ebadında karo numuneler şekillendirilmiştir.

$$\sigma = \frac{3 F.L}{2 bh^2}$$

$\sigma$ =Eğilme dayanımı (MPa)

F= Kırılma kuvveti değeri (N)

L=Mesnetler arası açıklık (mm)

b=Genişlik (mm)

h=Kalınlık (mm)



Şekil 7.8. 3 nokta eğme mukavemeti testlerinin yapıldığı pres

#### 7.1.2.4. İçyapı ve Mineralojik Yapının Belirlenmesi

Test numunelerinin üretilmesinde kullanılan tozların ham olarak şekillendirme öncesi ve su camı ile karıştırıldıktan ve 1 gün bekledikten sonrasındaki tozların mineralojik faz yapıları XRD cihazı yardımı ile tespit edilmiştir. Bu çalışmada Shimadzu marka XRD-6000 cihaz ve bakır  $K_{\alpha}$  ( $\lambda=1.544 \text{ \AA}$  dalga boyu) ışınması kullanılarak toz difraksiyon analizleri yapılmıştır. Su camı ile şekillendirilen numuneler daha sonra tekrar kırma işlemlerinden geçirilerek tüm numune  $100 \text{ \mu m}$  altına getirilmiştir.

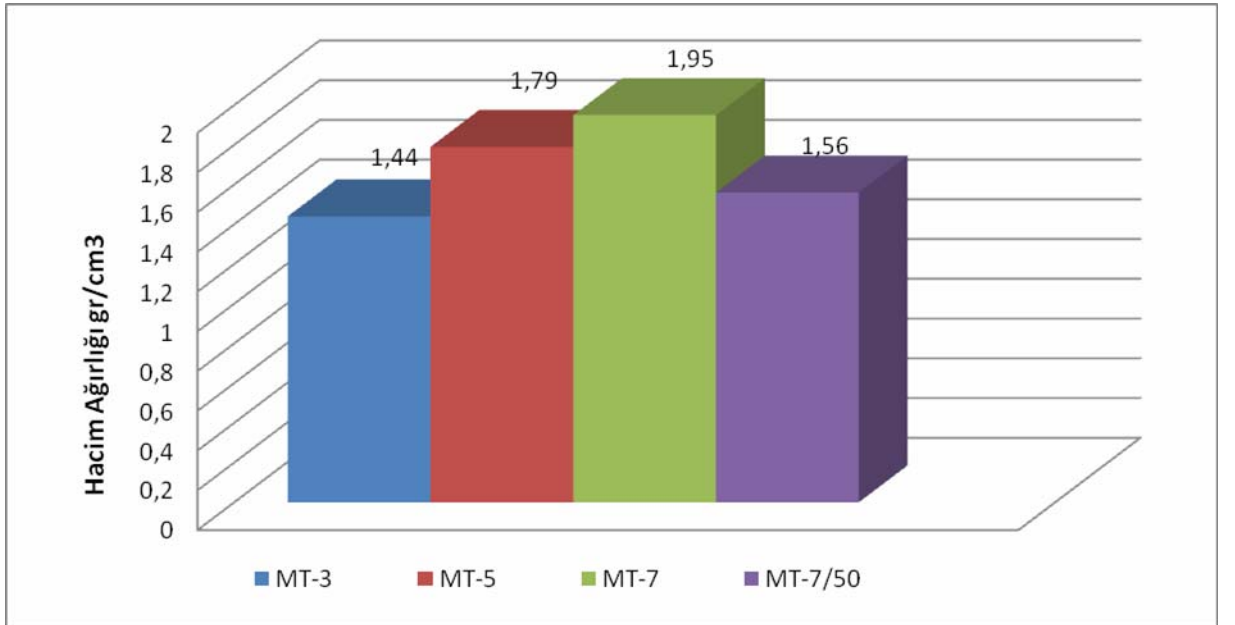
Şekillendirilen numunelerin içyapılarının incelenmesi ve camsuyu katkısına bağlı olarak taneler arasındaki bağlanma yapısını görmek ve gözenekliliklerindeki değişimi incelemek için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelemeler yapılmıştır. Bu amaçla şekillendirme sonrasında alınan numuneler kırılmış ve taze kırık

yüzeyle elektron mikroskobundaki prensip gereği yüzeyde iletkenlik sağlamak için karbon ile kaplanmıştır.

## 7.2. Bulgular

### 7.2.1. Hacim Ağırlığı (Bulk Yoğunluk)

Malzemelerin birim hacim ağırlığı özellikle yapı malzemesi olarak kullanılacak malzemelerde önemlidir. Statik yükler bakımından öneminin yanı sıra hacim ağırlık değerleri malzemenin kararlılığının da bir göstergesidir. Malzemenin teorik yoğunluk değerine ne kadar yaklaşıldığını belirleme imkanının yanında mekanik özellikleri ile olan korelasyonu nedeniyle üretim sonrasında ölçülmesi gereken önemli fiziksel bir özelliktir. Mermer tozuna yapılan su camı ilavesi ile üretilen numunelerin hacim ağırlıklarında artış olduğu gözlenmiştir (Şekil 7.9). En yüksek hacim ağırlığı değeri %7 su camı içeren MT-7 numunesinde  $1,95 \text{ gr/cm}^3$  olarak ölçülmüştür. En düşük hacim ağırlığı değeri %3 su camı içeren MT-3 numunesinde  $1,44 \text{ gr/cm}^3$  olarak ölçülmüştür.

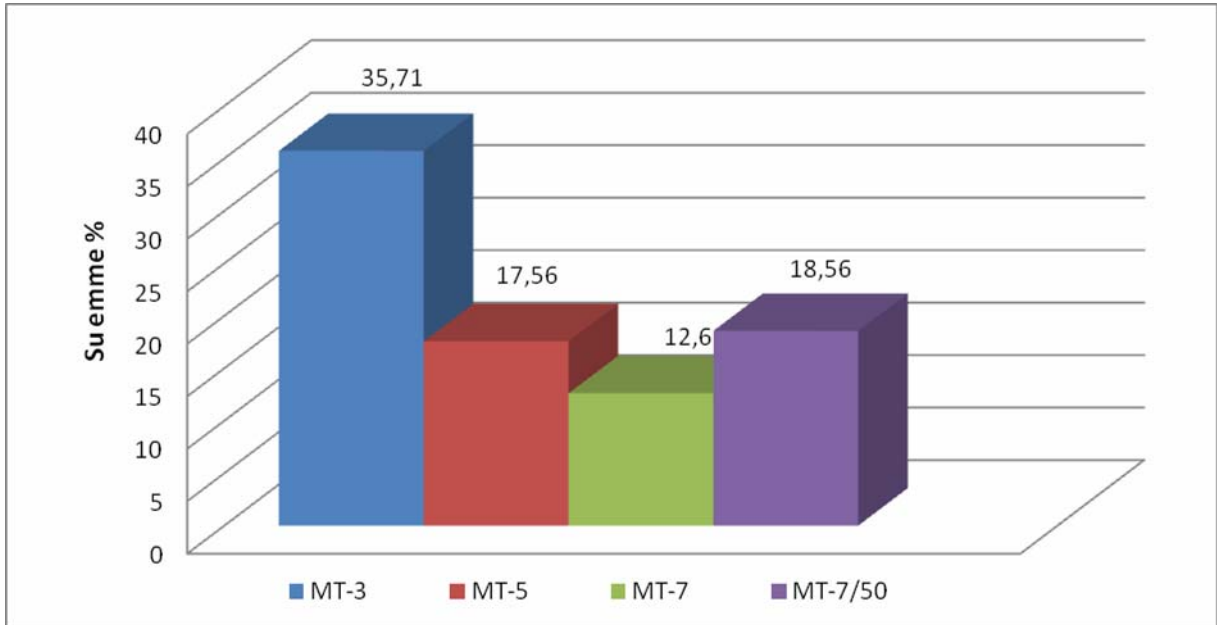


Şekil 7.9. Su camı ilavesine bağlı olarak hacim ağırlığındaki değişim.

Katılan su camının % 50 oranında saf su ile seyreltilmesi ve bu şekilde kullanılmasıyla şekillendirilen numunelerin hacim ağırlıklarında azalma olduğu gözlenmiştir. Seyreltilmiş su camı diğer serilere göre daha akışkan olması presleme şartlarını iyileştirmiş olsa da, su camının getireceği bağlayıcılık özelliğindeki azalma nedeniyle daha düşük hacim ağırlığı değerleri ölçülmüştür. Kalsitin teorik yoğunluğu olan  $2,71 \text{ gr/cm}^3$  değeri ile karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluğa sahip MT-7 serisinde teorik yoğunluğun %72'sine ulaşabildiği görülmüştür.

### 7.2.2 Su Emme

Yapı malzemesi olarak kullanılacak ürünlerde malzemenin bazı fiziksel özellikleri ve aynı zamanda durabilitesi hakkında görüş sahibi olunmasını sağlayan önemli bir özelliktir. Su emme testi ile açık gözeneklere sızan su miktarı hesaplanır. Bu nedenle su emme değerleri gözenekliliğin bir fonksiyonudur. Şekil 7.10.'da su camı ilavesine bağlı olarak numunelerin su emme değerlerindeki değişim grafiği verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi artan su camı ilavesinin getirdiği kalsit taneleri arasındaki bağlanmadaki artışa bağlı olarak su emme değerlerinde azalma gözlenmiştir. En yüksek su emme değeri %3 su camı içeren MT-3 numunesinde % 35,71 olarak ölçülmüştür. En düşük su emme değeri ise %7 su camı içeren MT-7 numunesinde % 12,6 olarak ölçülmüştür.

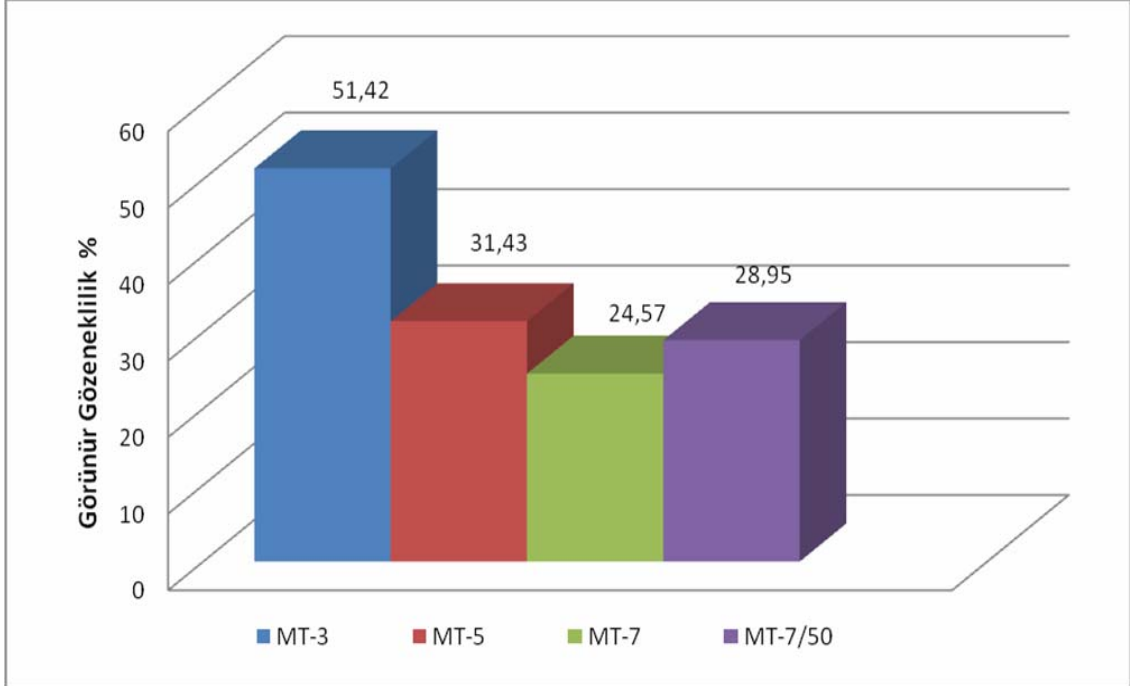


Şekil 7.10. Su camı ilavesine bağlı olarak su emme değerlerindeki değişim.

Özellikle % 7 camsuyu içeren numunelerde ölçülen % 12,6 mertebesindeki su emme değeri, bu şekilde üretilebilecek bir malzemenin dış cephe şartlarında kullanılabilirlik açısından dikkat çekici olarak değerlendirilmiştir.

### 7.2.3. Görünür Gözeneklilik (Porozite)

Görünür gözeneklilik yapı ürünlerde önemli bir kalite kriteridir. Yapı ürünlerinde gözeneklilik bir çok özelliği belirleyen önemli bir fiziksel özelliktir. Malzemenin gözeneklilik miktarı mukavemet özelliklerini doğrudan etkiler. Yoğunluk değerleri de gözeneklilik ile doğrudan alakalıdır. Bazı yapı ürünlerinde malzemenin gözenekli olması o malzemenin ses ve ısı iletkenliğini de belirler. Şekil 7.11’de mermer tozuna yapılan su camı ilavesine bağlı olarak görünür gözeneklilik değerleri ve değişim grafiği gösterilmiştir.



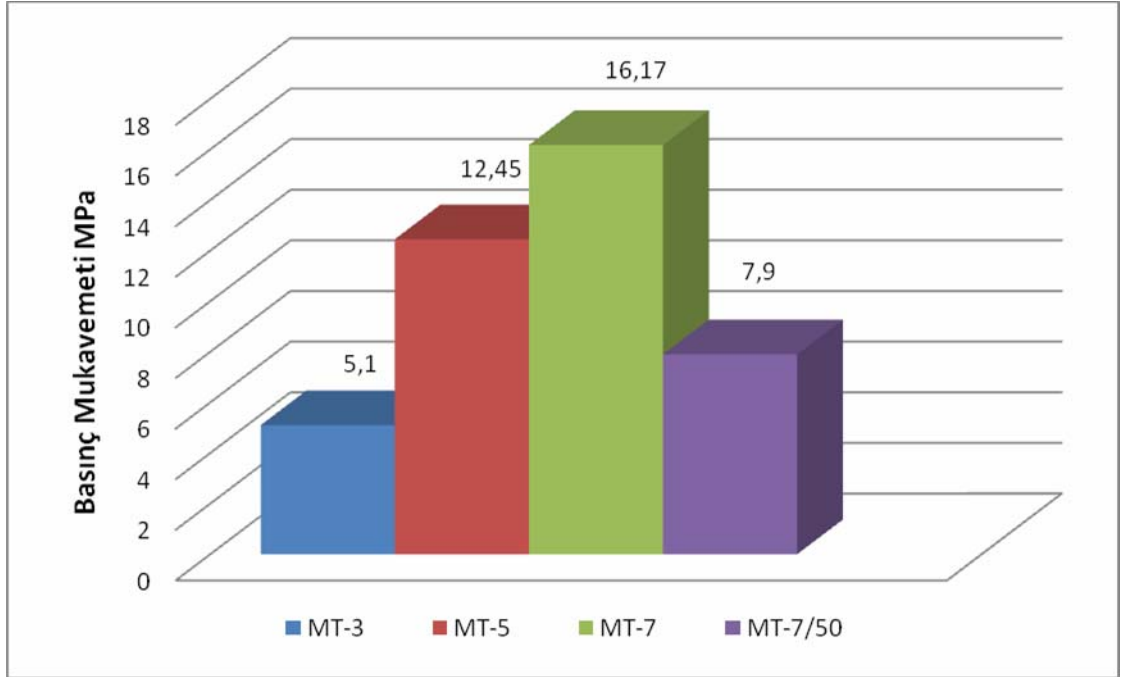
Şekil 7.11. Su camı ilavesine bağlı olarak görünür gözeneklilik değerlerindeki değişim.

Şekilden de görüleceği gibi artan su camı ilavesinin getirdiği bağlanma özelliğindeki artışa bağlı olarak görünür gözeneklilik değerlerinde azalma gözlenmiştir. Taneler arasındaki boşlukları camsuyunun doldurması bu tür bir gözeneklilik oluşumunu doğurmuştur. Katılan su camının seyreltilmesi ise sabit sıvı oranında gözenekliliğin artmasına neden olmuştur. En yüksek görünür gözeneklilik değeri % 3 su camı içeren MT-3 numunesinde % 51,42 olarak ölçülmüştür. En düşük su emme değeri ise % 7 su camı içeren MT-7 numunesinde % 24,57 olarak ölçülmüştür.

#### 7.2.4. Basınç Mukavemeti

Yapı malzemelerinin basınç mukavemetleri yapı statik hesabı için önemli bir parametredir. Yüksek mukavemet için genelde yapı içerisindeki gözenekliliğin az olması gerekir. Mermer tozuna yapılan artan orandaki su camı ilavesi ile taneler arasındaki gözeneklerin dolduğu ve gözenekliliğin azaldığı gözlenmiştir. Bununla birlikte su camı miktarındaki artışa bağlı olarak artan bağlanma yeteneği sayesinde su

camı ilavesinin artışıyla numunelerin mukavemet değerleri de artmıştır. İlave edilen su camının seyreltilmesi ise mukavemet değerlerinde azalmaya neden olmuştur. En yüksek basınç mukavemeti %7 su camı içeren MT-7 numunesinde 16,17 MPa olarak ölçülmüştür. En düşük basınç mukavemeti değeri ise %3 su camı içeren MT-3 numunesinde 5,1 MPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.12. Su camı ilavesine bağlı olarak basınç mukavemeti değerlerindeki değişim.

Basınç mukavemeti deneyi sonucunda elde edilen değerler dikkate alındığında mermer tozlarını su camı ile bağlama yönteminde yüksek mukavemet sahip yapılar olduğu söylenebilir. 16,17 MPa seviyesindeki mukavemet değerinin birçok yapısal uygulama için yeterli olduğu görülmektedir.

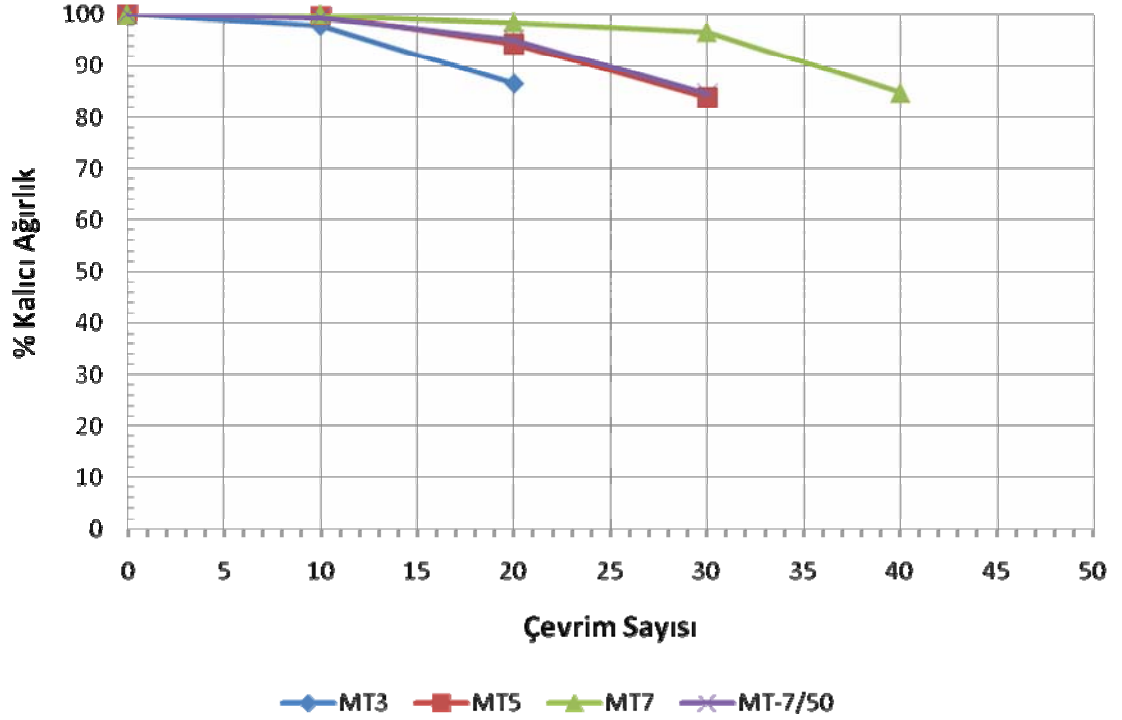
### 7.2.5. Dona Dayanım

Dona dayanım testinde hiçbir numune serisi 50 çevrimlik dona dayanım testine dayanamamıştır. Seriler arasında en iyi dona dayanım davranışını MT 7 serisi göstermiştir. MT 7 serisi için 40 çevrim sonunda numunelerin dağılmasından dolayı test

sonlandırılmıştır. En çok su emme değerine sahip olan MT3 serisi 20 çevrim sonucunda dağıldığı gözlenmiştir. MT 5 ve MT 7/50 serisi numuneler benzer dona dayanım davranışı göstermiş ve 30 çevrim sonrasında dağılma gözlenmiştir (Çizelge 7.2 ve Şekil 7.13).

Çizelge 7.2. Dona dayanım testinde çevrim sayısına bağlı kalıcı ağırlık yüzdeleri

Çevrim sayısı	% Kalıcı Ağırlık			
	MT3	MT5	MT7	MT-7/50
0	100	100	100	100
10	97,7	99,7	99,9	99,4
20	86,5	94,3	98,4	95
30	Dağılma gözlendi	83,9	96,6	84,7
40		Dağılma gözlendi	84,8	Dağılma gözlendi
50			Dağılma gözlendi	

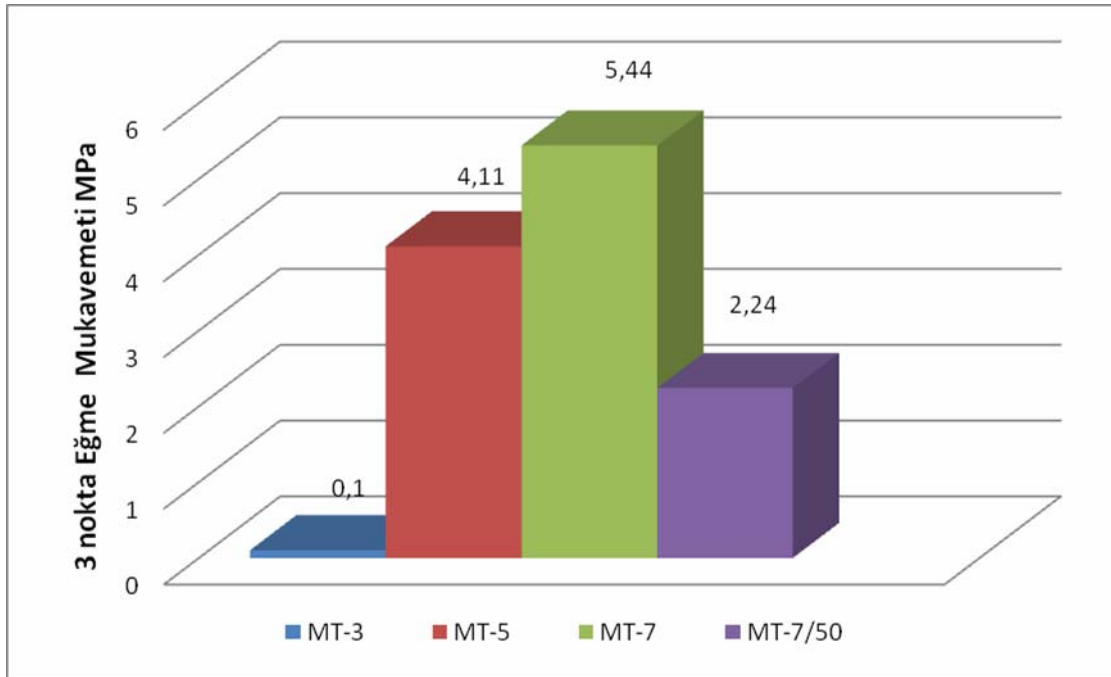


Şekil 7.13. Dona dayanım testi sonucu numunelerin kalıcı ağırlık oranları.

### 7.2.6. Üç Nokta Eğme Mukavemeti

TS EN ISO 10545 yer karosu standartlarında ortalama su emme değeri %10 ile %20 arasındaki sırlı karolarda verilen en düşük eğilme mukavemeti 12 MPa olarak belirtilmiştir. Numunelerin ölçülen eğilme mukavemet değerleri incelendiğinde bu değere en yakın MT 7 serisinin olduğu gözlenmektedir (Şekil 7.14). Ancak yinede standartların öngördüğü değer altında olduğu gözlenmiştir. MT 3 numunesinde ise numunelerin zayıf olması nedeniyle eğme mukavemet ölçümü yapılamamıştır. Her numune serisi için 5 adet numune ölçülmüş ve ortalama değerleri sunulmuştur.

Ancak TS EN ISO 10545-4 standardında verilen mukavemet değerleri sırlı karolar üzerinden verilmektedir. Sırsız karolarla ilgili bir mukavemet sınır değeri bulunmamaktadır. Bu nedenle mukavemet değerlerini bu Standarda göre karşılaştırmak zordur. Fakat üretilen MT 7 serisi numunelerin görünür fiziksel durumu, mukavemet ve su emme değerleri bir duvar kaplaması olarak kullanılabilceğini göstermektedir.



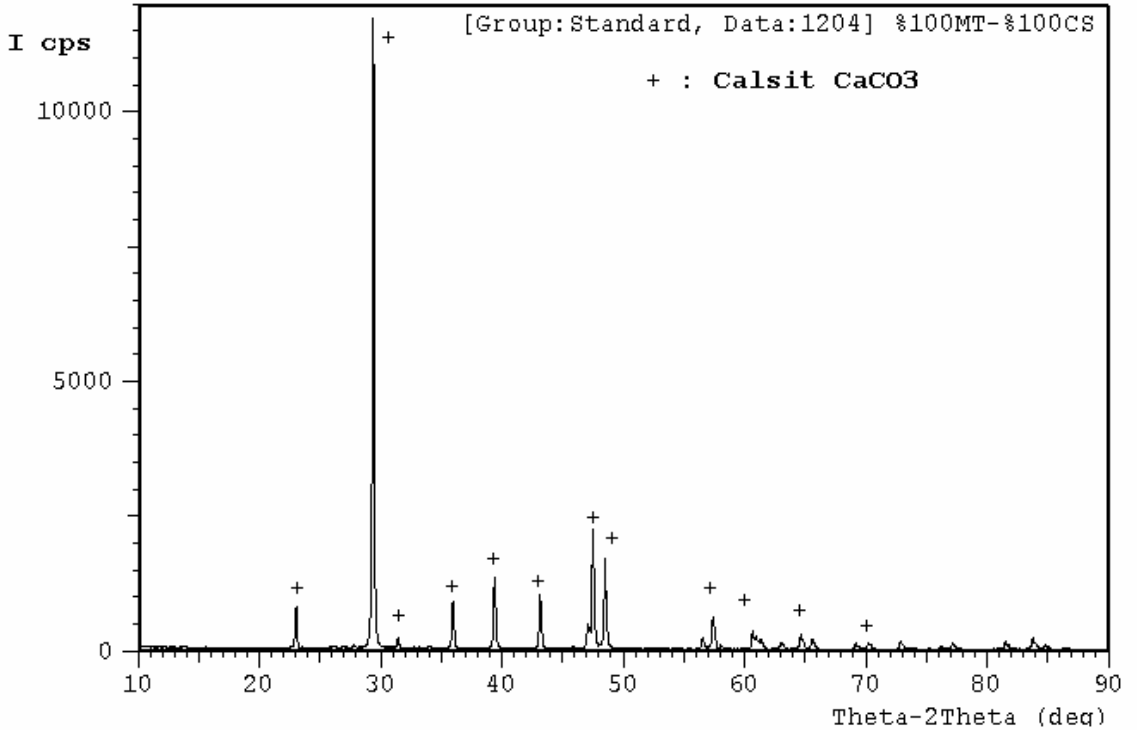
Şekil 7.14. Su camı ilavesine bağlı olarak 3 nokta eğme mukavemeti değerlerindeki değişim.

### 7.2.7. Şekillendirme Sonrası XRD Analizleri.

Mermer tozu su camı karışımının preslenmesi sonrasında MT7 serisi numuneden alınan örnek XRD analizi için hazırlanmıştır. Bilindiği gibi su camının CO<sub>2</sub> ile reaksiyonu sonucu aşağıda gösterilen önemli bir reaksiyon meydana gelir;



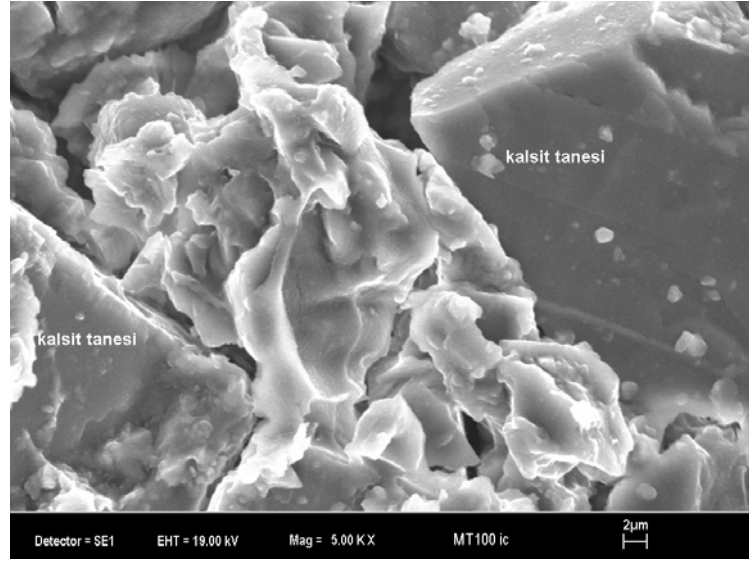
Reaksiyon sonucunda oluşan silika jelin önemli bir bağlayıcılık özelliği vardır. Laboratuvar şartlarında bekletilmiş olan numunelerde meydana gelişen mineralojik değişim XRD tekniği ile incelenmiştir. Şekil 3.1’de mermer tozunun ve Şekil 7.15’te şekillendirilmiş ürünün XRD analizleri gösterilmiştir. Yapılan inceleme sonucunda sodyum silikatın atmosferdeki CO<sub>2</sub> ile reaksiyonu sonucu oluşacak silika jel ve Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> varlığı gözlenememiştir.



Şekil 7.15. Su camı ile şekillendirilmiş numunelerin XRD analizi.

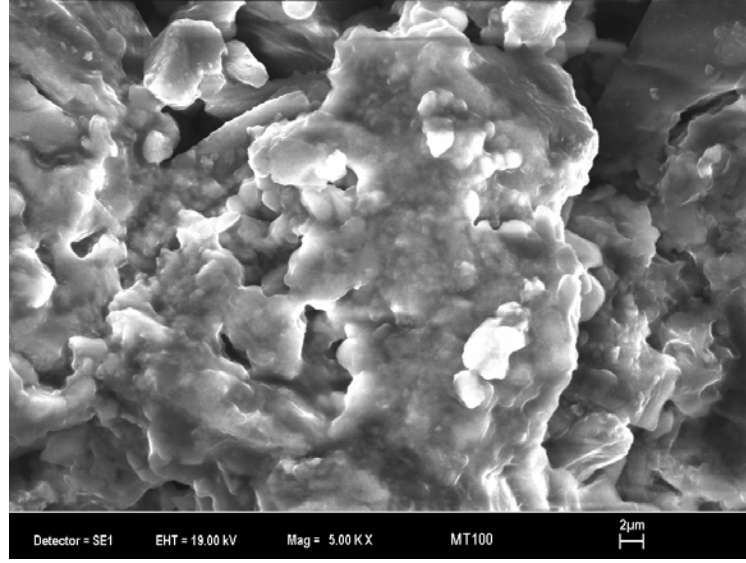
### 7.2.8. İçyapı İnceleme Sonuçları

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan içyapı inceleme sonuçları aşağıda sunulmuştur. Şekil 7.16'da MT7 numunesine ait taramalı elektron mikroskop görüntüsü verilmiştir. Şekilde masif kalsit kristalleri arasında bağlayıcı konumundaki su camı kristalleri gözlenmektedir.

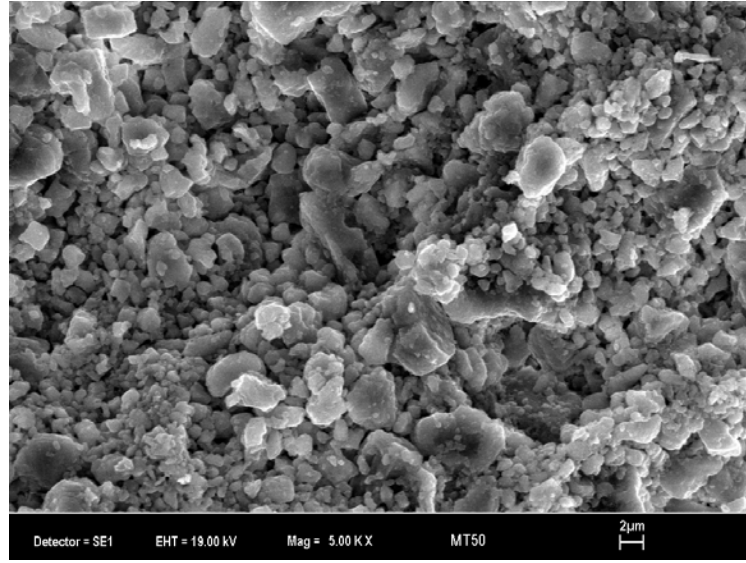


Şekil 7.16. Kalsit taneleri arasındaki bağlayıcı fazın SEM görüntüsü

Şekil 7.17.'de MT7 ve aynı oranda sıvı miktarı fakat ağırlıkça daha az su camı içeren MT7/50 serisi numunelerine ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi (Şekil 7.17.a) daha fazla bağlayıcı içeren MT7 numunesinde gözeneklerin kapandığı, kalsit tanelerinin tamamen bağlayıcı su camı ile kaplandığı görülmektedir. MT7/50 numunesinin taramalı elektron mikroskobu görüntüsünde ise (Şekil 7.17.b) azalan bağlayıcı miktarına bağlı olarak yapıdaki gözeneklilik görülmektedir. İçyapı görüntüleri daha yüksek bağlayıcı içeren serilerdeki yüksek mukavemet özelliklerini doğrular niteliktedir. Benzer Şekilde yapıdaki gözeneklilik farklılıkları fiziksel özellikleri de (su emme, görünür gözeneklilik ve hacim ağırlığı) doğrular niteliktedir.



a.



b.

Şekil 7.17. MT7 ve MT7/50 numunelerinin SEM görüntüleri.

## 8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Mermer tozuna su camı ilavesiyle üretilen malzemede su camı miktarının artmasıyla tüm fiziksel ve mekaniksel özelliklerde iyileşme gözlenmiştir. Su camı miktarının artışına paralel olarak mekanik özelliklerdeki iyileşme artmıştır. Su camının bağlayıcı olarak kullanımı ile üretilen malzemelerin mekanik özellikleri birçok yapı malzemesinin mukavemet özelliklerini karşılayacak niteliktedir.

Su camı katkısı ile üretilen numunelerin XRD sonuçları, su camının atmosferik şartlardaki CO<sub>2</sub>'e bağlı olarak Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve silika jel fazlarını oluşturduğunu göstermiştir.

Bağlayıcı olarak mermer tozuna katılan su camının malzemenin şekillenebilirliğini arttırdığı gözlenmiştir. Su camı mermer tanelerinin arasını doldurarak nihai yapıdaki gözenekliliği azaltmıştır.

Ancak su camının suda çözünebilir olması, bu tür bir imalat yöntemiyle üretilen ürünün durabilitesinin de ayrıca değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle uzun dönem sulu ortama maruz kalma ve donma-çözünme çevrimleri de değerlendirilmelidir.

Benzer yaklaşım ile üretilen malzemelerin dış yüzeylerinin polimerik (reçine v.b) malzemeler ile empenye edilmesi sonucu dış fiziksel şartlara dayanıklı yüksek mukavemetli yapı malzemelerin üretilmesi mümkündür.

Sonuç olarak; dış cephe için kullanılabilirliği sorunlu olarak değerlendirilmekle birlikte uygun dekor teknikleri ve malzemelerle kaplanarak iç mekan duvar kaplama malzemesi olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

- Afyonkarahisar 'da kurulu fabrikalarda yılda yaklaşık 100.000 m<sup>3</sup> mermer işlenmektedir. Fabrika işleme prosesleri sırasında yaklaşık olarak %30 oranında toz

açığa çıkmaktadır. Bu durumda ortaya çıkan toz atık miktarı 80.000 ton civarındadır. Bu malzemeler sulu süspansiyon ya da filtre pres keki olarak yerel yönetimlerin izin verdiği sahalarda depolanmaktadır. Şu an için bu malzemelerin çok küçük bir kısmı (yılda yaklaşık 1.000– 2.000 ton) doğal yollardan kurutulduktan sonra, şehirde kurulu olan çimento fabrikası tarafından kullanılmakta geri kalan büyük miktarda toz ise depolandığı yerde beklemektedir. Mermer tozunun, farklı sektörlerde kullanılan kalsitin yerini alması, fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki düzensizlik nedeniyle, bu haliyle mümkün görünmemektedir. Ancak büyük miktarlarda kullanılacak bordür, parke taşı üretimi gibi alanlarda kullanımında, mermer tozunun özelliklerinden çok bu tozlarla yapılan ürünün özellikleri ön planda olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Bender, N., 1999, Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi, Mermercilik Semineri Raporu, Afyonkarahisar.
- Bozkurt, R., 1989, Mermer ve Elmas Tel Kesme İle Ocak İşletmeciliği.,A.Ü.M.M.F. Yayınları.
- Büyüksağış, İ.S., 1994, “Mermer İşletme Tesisinde Atık Suların Arıtma Yöntemleri”, Y.Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çelik, M. Y., 1996, Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi Afyonkarahisar.
- Lappa, Ş., Yıldız, A., Demirbilek, Ö., 1997, Mermercilikte Atık Sorunu, Atıkların Değerlendirilmesi ve Çevre İlişkileri, Mermercilik Semineri Raporu, Afyonkarahisar.
- DPT VIII. Beş Yıllı Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri II (Mermer – Granit – Yapı Taşları – Arduvaz) Çalışma Grubu Raporu Ankara 2001.
- TÜMMER, 2005, Mermer – Traverten – Granit Yüzey İşleme, Güçlendirme, Dolgu, Koruma ve Atık Su Arıtma Sistemleri.
- Onargan, T., 1997, Katraklarda Kesme Verimini Etkileyen Faktörler, Mermer Dergisi, sayı 10, S: 86-87.
- Uyanık, T., 2008, Doğaltaşlar, T. C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi, Ankara.
- JMO, Mermer Semineri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara 2003.
- Ceylan, H., Saraç, S., Özkahraman, H. T., 2001, Mermer Toz Atıklarının Derz Dolgu Malzemesi (Fuga) Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem 2001) Bildiriler Kitabı Sf. 297 – 307, Afyonkarahisar.
- Sabah, E., Çelik, M. Y., 2001, İncehisar (Afyon) Mermer Artıklarının Hayvan Yemi Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem 2001) Bildiriler Kitabı Sf. 309 - 316, Afyonkarahisar.

- Kavas, T., Kibici, Y., 2001, Afyon Bölgesi Mermer Atıklarının Portland Kompoze Çimentosu Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanım Olanakları, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem 2001) Bildiriler Kitabı Sf. 327 - 335, Afyonkarahisar.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T., 2003, Atık Mermer Tozu Katkılı Betonların Donma – Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem 2003) Bildiriler Kitabı Sf. 147 - 157, Afyonkarahisar.
- Demir, İ., Başpınar, M. S., 2003, Mermer Tozu Artıklarının (Havuz Çökeltisi) Hafif Yapı Blokları Üretiminde Kullanılması, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem 2003) Bildiriler Kitabı Sf. 213 - 220, Afyonkarahisar.
- Zorluer, İ., Usta, M., 2003, Zeminlerin Atık Mermer Tozu İle İyileştirilmesi, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem 2003) Bildiriler Kitabı Sf. 305 - 311, Afyonkarahisar.
- Kavas, T., Evcin, A., Önce, G., 2003, Afyon Bölgesi Mermer Atıklarının (Şlam) Kalsiyum Alüminalı Refrakter Çimento Üretiminde Hammadde Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem 2003) Bildiriler Kitabı Sf. 363 - 370, Afyonkarahisar
- Kun M., Onargan T., Yüksel S., 2006, Traverten Fabrika Artıklarının Dolgu İşlemlerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, (Mersem 2006) Türkiye V. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı Sf. 373 - 381, Afyonkarahisar.
- Ünal O., Topçu İ. B., Uygunoğlu T., 2006, Kendiliğinden Yerleşen Betonda Mermer Tozunun Kullanılması, (Mersem 2006) Türkiye V. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı Sf. 413 - 419, Afyonkarahisar.
- Çelik M. S., Ersoy B., 2006, İri Kristalli Beyaz Mermer Yataklarından Üretilen Kalsit Tozlarının Boya Sektöründe Kullanımında Boyut Dağılım Eğrisi Dikliğinin Önemi, (Mersem 2006) Türkiye V. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı Sf. 447 - 452, Afyonkarahisar.
- Yıldız A. H., Kardeşin M., Çavuş U. Ş., Taciroğlu M., 2006, Mermer Endüstrisi Atık Çamurlarının Yol İnşaatında Stabilizasyon Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi , (Mersem 2006) Türkiye V. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı Sf. 97 - 106, Afyonkarahisar.

TS EN 87 Seramik Yer ve Duvar Karoları- Tarifleri, Sınıflandırma, Özellikler ve İşaretleme.

TS EN 202 Seramik Karolar-Dona Dayanım Tayini.

TS EN ISO 10545-4 Seramik Karolar Bölüm 4: Eğilme ve Kırılma Dayanımı Tayini.

[www.immib.org.tr](http://www.immib.org.tr).