

MERMER MADENCİLİĞİNDE ÇEVRESEL YAKLAŞIMLAR

Editörler

Prof. Dr. Taki GÜLER

Arş. Gör. Ercan POLAT

MUĞLA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ

KÜLTÜR YAYINLARI – 6

Akademik Yayın Dizisi: 1

MUĞLA / 2018

©Tüm hakları saklıdır. Muğla Büyükşehir Belediyesi'nin önceden yazılı izni olmaksızın, bu kitabın hiçbir kısmı çoğaltılamaz, bir depolama veya erişim sisteminde saklanamaz veya herhangi bir biçimde elektronik, mekanik, fotokopi, kayıt veya başka yollarla iletilemez. Makalelerin içeriği yalnızca yazarların sorumluluğundadır. Yayıncı, yazım veya diğer hatalardan dolayı sorumluluk kabul etmez.

ISBN : 978-605-4839-14-8

Yayıncı : Muğla Büyükşehir Belediyesi

Tel : 0252 214 1406

Web : www.mugla.bel.tr

E-posta : info@mugla.bel.tr

Adres : Müştakbey Mahallesi Belediye
Sokak No:6 48000 Muğla

Ocak 2018, Muğla / TÜRKİYE

MERMER VE ÇEVRE ÇALIŞTAYI / 2018

DÜZENLEME KURULU

BAŐKAN

Prof. Dr. Taki GÜLER

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

ÜYELER

Aylin GİRAY

Muğla Büyükşehir Belediyesi

Aylin AYDIN ERTOP

Muğla Büyükşehir Belediyesi

Prof. Dr. Osman Zeki
HEKİMOĞLU

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Doç. Dr. Avni GÜNEY

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Arş.Gör. Ercan POLAT

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Bülent KARAKUŐ

Muğla Ticaret ve Sanayi Odası

Elvan KOCAGÖZ

Muğla Ticaret ve Sanayi Odası

Mustafa ERCAN

Muğla Mermerciler Derneği

Talha KOÇAR

Muğla Mermerciler Derneği

ÖNSÖZ

Birleşmiş Milletler 1000 yıl kalkınma hedefleri üzerine inşa edilen 2015 küresel kalkınma hedeflerinde, gelecek kuşakların ihtiyaçlarını dikkate alarak ve madencilik faaliyetlerinin çevreye etkilerini göz önünde bulundurarak yeraltı kaynaklarının değerlendirilmesi gereği vurgulanmıştır. Çevre dostu madencilik, atık üretim oranının azaltılması, atığın farklı amaçlarla kullanımı ile tekrar ekonomiye kazandırılması ve değerlendirilemeyecek olan kısmın zararsız hale getirilmesini içerir. Bu amaçla Muğla Valiliği'nin destekleriyle Muğla Büyükşehir Belediyesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla Ticaret ve Sanayi Odası ve Muğla Mermerciler Derneği tarafından Mermer ve Çevre Çalıştayı/2018 düzenlenmiştir. Çalıştayı'nın amacı:

- Çevreci yaklaşımlarla en az atık açığa çıkaracak şekilde mermer üretiminde verimliliği iyileştirmeye yönelik yöntem ve gelişmelerin paylaşılması,
- Ocak ve mermer işleme tesisi atıkların çevreye zararsız hale getirilmesi ve ekonomiye kazandırılmasına yönelik yöntem ve gelişmelerin paylaşılması,
- Sektör temsilcileri ile ilgili konuların uzmanı bilim insanlarını aynı ortamda buluşturarak, en az atık ile mermer zenginliğimizin çevre dostu yaklaşımlarla verimli bir şekilde ekonomiye kazandırılması amacıyla uygulamaya dönük projelerin oluşturulmasına olanak sağlanması tanımlanmıştır.

Muğla Gazi Mustafa Kemal Atatürk Kültür Merkezi'nde 19 Ocak 2018'de gerçekleştirilmesi hedeflenen Mermer ve Çevre Çalıştayı/2018'de sunulacak çalışmalar bu kitap kapsamında birleştirilmiştir. Sektör çalışanlarına kütüphanesinde bulundurabileceği ve her an başvurabilecekleri bu kitap; atık oluşumunun azaltılması, artıkların ekonomiye kazandırılarak çevresel olumsuz etkilerinin sınırlandırılmasına yönelik yöntem ve gelişmeler üzerine genel bilgileri içerecek şekilde tasarlanmıştır. En az atık ve en yüksek katma değer ve çevreci yaklaşımlarla mermer zenginliğimizin Ülkemiz ekonomisine kazandırılması amacıyla ortaya konulan bu eserin; yeraltı zenginliklerimizin etkin değerlendirilmesi ve çevreci yaklaşımlar konusundaki olası girişimlere bir basamak oluşturmasını dileriz.

Prof. Dr. Taki GÜLER
Editör

Arş. Gör. Ercan POLAT
Yardımcı Editör

İÇİNDEKİLER

- Mermer Ocaklarında Üretim Verimliliğini Etkileyen Jeolojik Parametreler ve Bunların Tespitinin Üretim Verimliliği Üzerindeki Etkileri **1**
Prof. Dr. Ali Bahadır YAVUZ
- Mermer Ocak İşletmelerinin Planlanmasında İnsansız Hava Aracı Kullanımı ve Uygulama Yöntemi **23**
Doç. Dr. Mete KUN
- Doğal Taş Ocaklarında Artık Oluşumunun Önlenmesi ve Artıkların Değerlendirilmesi **35**
Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ
- Sürdürülebilir Madencilik Bağlamında Mermer Sanayi ve Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi **51**
Doç. Dr. Duran KOCABAĞ
- Endüstriyel Katı Atık Olarak Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Değerlendirilme Alternatifleri **93**
Prof. Dr. Fehiman ÇİNER, Doç. Dr. Neslihan DOĞAN-SAĞLAMTİMUR, Yrd. Doç. Dr. Mahmut Suat DELİBALTA
- Mermer Atıklarının Neden Olduğu Çevre Sorunları ve Analitik Yaklaşımlar **129**
Prof. Dr. Şeref GÜÇER, Dr. Ümran Seven ERDEMİR

- Mermer Ocaklarında Kesme Verimi ve Bazı Çevresel Faktörlerin İrdelenmesi **145**
Prof. Dr. Osman Zeki HEKİMOĞLU
- Mermer Atıklarının Mikronize Kalsit Olarak Değerlendirilme Potansiyeli **153**
Prof. Dr. Vedat DENİZ
- Mermer Çamuru Karakterizasyonu ve Potansiyel Kullanım Alanları **205**
Prof. Dr. Taki GÜLER, Ercan POLAT
- Mermer Atıklarının Yapı Malzemeleri Alanında Yüksek Hacimlerde Kullanılabilirliği **219**
Yrd. Doç. Dr. Süleyman Bahadır KESKİN, Prof. Dr. Mustafa ŞAHMARAN
- Mermer Artıklarından Katma Değeri Yüksek İleri Seramik Tozlarının Üretimi **235**
Prof. Dr. Murat ERDEMOĞLU
- Mermer Tozu/Polimer Kompozitlerinin Araştırılması ve Yapay Mermer Blok/Levha Üretimi **253**
Yrd. Doç. Dr. Elif VARGÜN, Özden EVREN

MERMER OCAKLARINDA ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİ ETKİLEYEN JEOLJİK PARAMETRELER VE BUNLARIN TESPİTİNİN ÜRETİM VERİMLİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Ali Bahadır YAVUZ

Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

E-posta: bahadir.yavuz@deu.edu.tr

1. GİRİŞ

Taşlar, insanlığın varoluşundan beri onların en önemli ayrılmaz parçalarından biri olmuştur. Taşar barınma, savunma, avlanma ve alet gibi önemli gereksinimler için insanlığa hizmet etmiştir. Antik dönemlerde ise bu gereksinimlere estetik te eklenmiş, insanlar taşları renk ve desen özellikleri açısından değişik mimari yapılarda ve sanat eserlerinin üretiminde kullanmışlardır. Bu anlamda taşların gerek barınma gerekse de estetik ve sanatsal amaçlar için yaygın kullanıldığı dönem Roma İmparatorluğu dönemidir. Roma imparatorluğu döneminde renk, desen ve blok almaya uygun kütle özellikleri nedeniyle Batı Anadolu mermerleri yaygın olarak kullanılmıştır. Günümüzde Batı Anadolu'da faaliyet gösteren blok taş ocaklarının büyük bir kısmı, Roma döneminde kullanılmış olan antik mermer ocaklarının devamı niteliği taşımaktadır.

Ancak değerli bir kaynağa sahip olmak, ondan en az kayıpla maksimum ölçüde faydalanılması sorumluluğunu da doğurmaktadır. Aksi halde, kısa dönemde karlı görünse bile uzun dönemde çok büyük zararların oluşması kaçınılmazdır. Bilindiği üzere Ülkemiz, jeolojik özellikleri açısından, blok taş (mermer) olarak kullanılmaya uygun değişik renk ve desenli kayaçlar bakımından son derece zengindir. Mermere olan talebin Dünya ve Ülkemizdeki artışı ve buna bağlı olarak üretim ve işleme tekniklerindeki gelişmeler, bu zenginliğimize olan talebi büyük oranda artmış ve Türkiye mermer üreten ülkeler arasında önemli bir noktaya gelmiştir. Ancak mermer üretimi konusundaki bilimsel yaklaşım kültürü, ne yazık ki mermer üretim artışına paralel olarak aynı oranda gelişmemiştir. Günümüzde halen blok mermer üretimindeki zayıtı, iyimser bir yaklaşımla % 85-90 civarındadır. Kuşkusuz bunun en önemli nedeni, bir kayacın blok mermer kaynağı olarak kullanılabilmesi için gerekli olan jeolojik parametrelerin oldukça fazla olmasıdır. Ancak bir mermer sahasında blok mermer üretimine karar verilmesi, üretim lokasyonu, üretim yönü ve şeklinin tespit edilmesinde, kayacın jeolojik özelliklerinin göz ardı edilmesi de üretim zayıtını arttıran en önemli parametredir.

Bir kaya kütesinin blok taş kaynağı olarak kullanılabilmesi için, malzeme ve durabilite (kayaçların mermer olarak kullanıldığı mühendislik yapılarında bozulmadan, orijinal malzeme özelliklerini koruyarak hizmet verme yetenekleri, dış etkenlere karşı dayanıklılık) özellikleri açısından uygun olmasının yanı sıra, renk ve desen özellikleri açısından da aranan niteliklerde olması gerekmektedir. Ancak bu özelliklere sahip olsa bile bir kaya kütesinin blok taş kaynağı olarak kullanılabilmesi için blok ve fabrikada üretim verimliliğinin ekonomik sınır değerler içerisinde kalması gerekmektedir. Bunun yanı sıra ruhsat sahası içerisinde, planlanan yıllık üretime bağlı olarak, en az 10 yıl yetecek miktarda işletilebilir kaya rezervi olması gerekmektedir.

2. KAYAÇLARIN MALZEME ÖZELLİKLERİNİN MERMER OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ.

Kayaçların malzeme özellikleri (mineralojik, petrografik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri) ile bu özelliklerine bağlı olarak değişen durabiliteleri üretim ve işleme yöntemleri ile kullanım alanlarındaki yaşama sürelerini belirleyen en önemli parametrelerdir.

Doğal yapı taşları doğan, bulunduğu çevre koşullarına bağlı olarak belirli süreler yaşayarak yaşanan ve ölerek toprak olan canlı varlıklar gibi düşünülmelidir. Bu anlamda, doğal yapı taşlarının olabildiğince uzun süre ve sağlıklı olarak yaşamaları için, sahip oldukları malzeme özelliklerinin bilinmesi ve yaşayacağı yerin bu özellikler göz önüne alınarak seçilmesi gerekmektedir. Erdoğan'ın (1981) vurguladığı gibi "doğal taşların, çevreleyen koşulları altında ve zaman içerisinde ayrışmaları doğal bir değişimdir. Doğal koşullar altında, varlığını sonsuza dek sürdürebilecek doğal bir malzemeden söz edilemez. Ancak yapılarda kullanılacak doğal taşların bilinçli seçimi, yapının ayakta kalma süresini uzatmaktadır" (Erdoğan ve Yavuz, 2004).

Doğada tamamen homojen ve izotrop bir kayadan söz etmek mümkün değildir. Kayaçların renk, desen ve dokusu aynı taş ocağı içerisinde kısa mesafelerde bile yatay ve düşey yönlerde farklılıklar gösterebilir. Bu nedenle, kayaçların malzeme özellikleri, aynı ocak içerisinde renk, desen ve doku açısından farklılıklar sunan ve üretici firma tarafından çeşitli isimler altında pazarlanan değişik kaya seviyelerinde yürütülecek deneyler ile saptanmalıdır. Bir firmanın tanıtım kataloğunda yer alan çeşitli renk ve dokuya sahip 5 ayrı mermer türünün, tümüne ait malzeme özelliklerin, standart sapmalarına kadar aynı olması mümkün değildir. Böyle bir durum, firma kataloğunun özen gösterilmeden hazırlandığını işaret eder ve

ürettiği doğal yapı taşlarını bilimsel yöntemlerle tanıttığını zanneden firmaların ciddiyetini tartışılır hale getirmektedir.

Sonuç olarak kayaçların yapı taşı olarak kullanılabilirliğini etkileyen en önemli parametre olan malzeme özellikleri, gerek ocak planlaması, gerekse de üretimin ilerleyen aşamalarındaki değişimlere bağlı olarak, tekrar tekrar belirlenmelidir. Düşük maliyeti ve kısa sürede sonuçlanan laboratuvar analizleri, yalnızca yabancı alıcı firmalar tarafından istenildiğinde yaptırılan zorunlu bir işlem olarak görülmemelidir. Bu analizlerin yapılması, taşın pazarlanabilmesi için bir araç değil, taşın özelliklerinin tespiti için bir amaç olmalıdır.

3. KAYAÇLARIN BLOK MERMER KAYNAĞI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİ ETKİLEYEN JEOLJİK PARAMETRELER

Kayaçların doğal yapıtaşı olarak kullanılabilirliğini etkileyen jeolojik parametreler birincil ve ikincil jeolojik parametreler olarak gruplandırılabilir (Yavuz 2001). Bunlardan blok boyutlarını doğal olarak sınırlayan ve ocak üretim zayıtına neden olan jeolojik parametre birincil jeolojik parametreler, bloklarının fabrikalarda işlenmesi esnasında üretim zayıtına neden olan yada kayacın renk ve desen homojenitesini bozarak ticari değerini azaltan ve ya yok eden jeolojik parametreler ile kayacın kullanım yeri, şekli ve durabilitesini (dış etkenlere karşı dayanıklılık) belirleyen malzeme özellikleri (fiziksel, mekanik ve teknolojik) ise ikincil jeolojik parametreler olarak tanımlanmaktadır (Yavuz 2001;Yavuz ve diğ., 2005). Mermer ocaklardaki blok mermer üretim yönü ve yöntemi ile ocak ve fabrika üretim verimliliğini direk olarak etkileyen bu faktörlere ‘Mühendislik Jeolojisi Parametreleri’ denilmektedir (Erguvanlı ve Yüzer, 1985).

Bir kayacın malzeme özellikleri adı verilen fiziko-mekanik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi, oldukça çabuk sonuçlanan

kolay bir süreçtir. Ancak o ocaktan alınabilecek kaya bloğu boyutlarının belirlenmesi, ocak blok taş üretim verimliliğinin tahmin edilmesi ve ocak üretim yeri ve yönünün doğru belirlenmesi, jeolojik ve detay mühendislik jeolojisi çalışmasını gerektiren bir süreçtir. Bir ruhsat sahası içerisindeki kayaların blok taş kaynağı olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi, ancak detaylı bir jeolojik saha çalışması, detay süreksizlik ölçümleri ve bu çalışmaların sonucunda belirlenecek lokasyonlardan yapılacak karotlu mekanik sondajlarla mümkün olabilir. Yatay ve düşey yönlerde çok kısa mesafelerde bile değişiklikler sunabilen kaya kütlelerinde, sadece yüzeyden yapılan saha çalışmaları ile renk, desen ve yapısal özellikleri açısından kesin sonuçlar elde edilememektedir.

3.1 Birincil Jeolojik Parametreler

Kayaçların kütleli özellikleri ve buna bağlı blok üretim verimliliklerini etkileyen birincil jeolojik parametreler, kaya kütlelerinin içerdiği tabaka, kırık, çatlak, foliasyon, fisür, mikrofisür ve fay gibi süreksizlik düzlemleridir. Bu nedenle, bir kaya kütlelerinin blok kaynağı olarak kullanılması düşünüldüğünde, üretime geçilmeden önce içerdiği süreksizlik düzlemleri ve genel özellikleri detaylıca saptanmalıdır.

Süreksizlik düzlemlerinin tanımlanması gereken temel özellikleri;

- I. Süreksizlik düzlemi türü,
 - II. Süreksizlik düzlemi ara uzaklığı,
 - III. Süreksizlik düzlemi yönelimi ve set sayısı,
 - IV. Süreksizlik düzlemi devamlılığı,
- olmak üzere dört ana grup altında toplanabilir.

3.1.1. Süreksizlik düzlemi türü

Süreksizlik düzlemleri, kaya kütlelerinin blok taş kaynağı ve doğal yapıtaşı olarak kullanılabilirlikleri üzerindeki etkilerine bağlı olarak, açık kırık-çatlak düzlemleri ile kapalı-kılcal çatlak düzlemleri olarak iki ana grup altında toplanabilir.

a) Açık süreksizlik düzlemleri

Dolgulu veya boş olabilen açık kırık ve çatlak düzlemleri, kaya kütlelerini doğal olarak bloklara ayırmaktadır. Mermer ocaklarında yapılan blok üretimi esnasında, kaya kütlesi bu süreksizlik düzlemleri boyunca ayrılmakta ve irili ufaklı kaya blokları ortaya çıkmaktadır. Başka bir deyişle, blok taş ocağından üretilebilecek maksimum ve minimum kaya bloğu boyutları ve buna bağlı olarak ocak üretim verimliliği, kaya kütlelerinin içerdiği bu süreksizlik düzlemleri tarafından belirlenmektedir (Şekil 1). Bizler, değişik litolojilerde ve farklı özelliklerdeki süreksizlik düzlemlerine sahip kaya kütleleri içerisinde blok mermer üretimi yapmaya çalışmaktayız. Bu nedenle, kaya kütlelerindeki blok mermer üretim verimliliğini doğal olarak sınırlayan açık süreksizlik düzlemlerinin tespit edilmesi son derece önemlidir. Bu tür süreksizlik düzlemlerinin varlığı, sahada yapılacak detaylı arazi çalışmaları ve gerek duyulması halinde jeolojik kontrollü sondaj çalışmaları ile tespit edilebilir. Ancak bunların varlığının tespit edilmesi kendi başına yeterli değildir. Mühim olan bu tür süreksizlik düzlemlerinin yukarıda verilen genel özelliklerinin tespit edilmesi ve sahadaki üretim kararının ve üretim planlanmasının bu verilerin ışığında yapılmasıdır.

b) Kapalı-kılcal süreksizlik düzlemleri

Kayaçlar, oluşum sonrasında maruz kaldıkları tektonik aktiviteler neticesinde gelişmiş ve bünyelerinde zayıflık zonları oluşturan kapalı

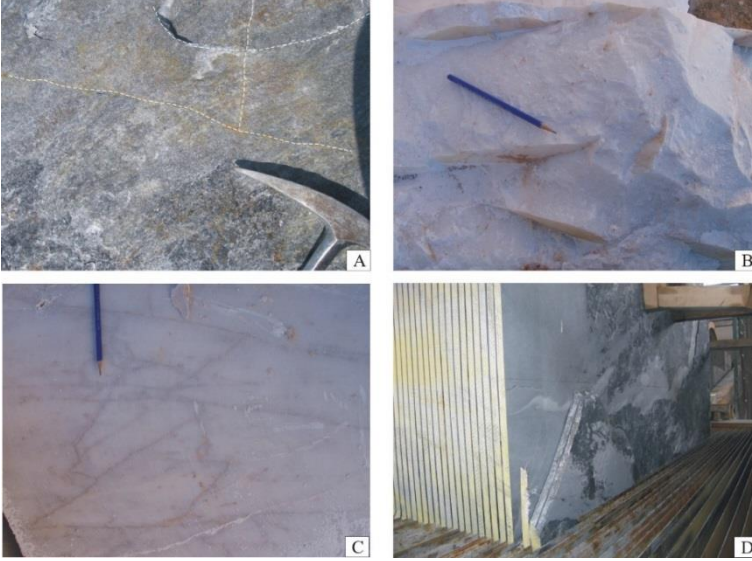
kılcal süreksizlik düzlemleri (fisür-mikrofisür) içerebilirler (Şekil 2A,B,C). Bu kılcal süreksizlik düzlemleri ocaklarda kaya bloklarının devrilmesi ve/veya taşınmaları esnasında gelişen gerilmelerin etkisiyle, buldukları yüzeyler boyunca kırılmalara neden olabilir. Ancak genellikle tespit edilmesi oldukça güç olan bu kılcal süreksizlik düzlemlerinin esas etkisi, kaya bloklarının fabrikada işlenmesi esnasında ortaya çıkmaktadır (Şekil 2D). Kılcal süreksizlik düzlemleri, kaya bloklarının fabrikalarda kesilerek değişik kalınlıklardaki mermer plaka ve levhalara dönüştürmeleri aşamasında, sahip oldukları düşük kesme direnci nedeniyle buldukları yüzeyler boyunca kırılmalara neden olmaktadır. Ayrıca kılcal süreksizlik düzlemleri, üretilen levha yüzeylerinde kesişerek ikincil gözenekler (çukurlar) oluşmasına neden olarak, kayacın ticari değerini azaltabilmektedirler.



Şekil 1. Kaya kütlelerinde bulunan açık süreksizlik düzlemlerinin genel görünümü

İçerilerinde yer aldıkları kaya kütlelerini değişik açılarda kesen, kapalı ve genellikle düşük devamlılığa sahip olan (5-50 cm) bu süreksizlik düzlemleri, parlatılmış beyaz renkli mermer yüzeylerinde

ayrışmanın etkisiyle, kahverengi ile gri renk tonlarında çizgiler şeklinde gözlenebilmektedirler (Şekil 2A-B).

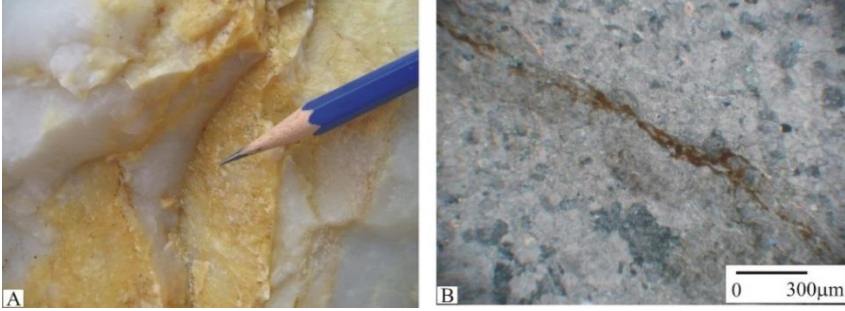


Şekil 2. Mermer levhaları (A-C), kaya bloğu (B) içerisinde gözlenen kapalı-kılcal süreksizlik düzlemleri ve bu düzlemler boyunca kırılmış mermer levhaları (D)

Bu süreksizlik düzlemlerinin kırılma yüzeyleri, ayrışmanın etkisiyle kaygan bir görünüm sunmakta ve bu nedenle mermer sektöründe “yağlı kesik” tabiri ile tanımlanmaktadır. Arazide kaya mostralarında ve hatta kesilmiş kaya bloklarında bile tespiti zor olan bu süreksizlik düzlemleri, mermer ocakları ile fabrikalarının üretim zayıflatlarını son derece yüksek oranlarda arttırmakta veya kayacı kullanılamaz hale getirebilmektedirler (Şekil 3A-B).

Sahadaki jeolojik incelemeleri destekleyen laboratuvar çalışmaları ile kolayca tespit edilebilecek olan kılcal süreksizlik düzlemlerinin neden olduğu olumsuz sonuçlar, genellikle ocak ağzının açılmasını takiben yapılan üretimin ilerleyen aşamalarında fark edilir.

Bu durum geri dönülmesi mümkün olmayan ekonomik kayıpları doğurmaktadır. Ülkemizde, sadece kılcal süreksizlik düzlemlerinin neden olduğu düşük fabrika üretim verimliliği nedeniyle terk edilmiş çok sayıda mermer ocağı bulunmaktadır.



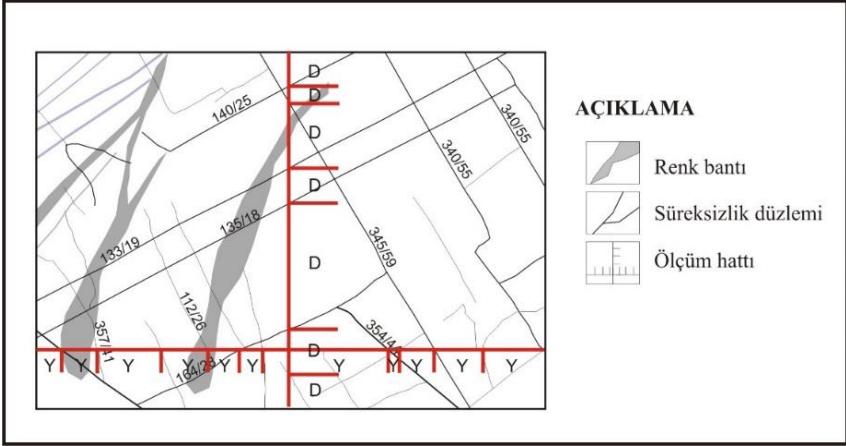
Şekil 3. Kılcal süreksizlik düzleminin yakından (A) ve mikroskop altındaki görünümü (B).

3.1.2. Süreksizlik düzlemi ara uzaklığı

Literatüre göre süreksizlik ara uzaklığı, birbirlerine paralel konumlu süreksizlik düzlemleri arasındaki dik mesafedir ve her bir süreksizlik seti için ayrı ayrı hesaplanır. Ancak blok taş üretiminde kayacın içerdiği düzenli süreksizlik düzlemleri kadar, düzensiz ve belirli bir sistematığı olmayan süreksizlik düzlemleri de son derece önemlidir. Blok taş kaynağı olarak kullanılması planlanan bir kaya kütesinin çatlak ara uzaklığı, içerdiği tüm süreksizlik düzlemleri göz önüne alınarak yapılmalıdır (Şekil 4).

Bunun için hesaplamalarda, hat ölçüm tekniği verileri ile sondaj verilerinin değerlendirilmesiyle çizilen, çatlak ara uzaklığı sıklık dağılım grafiğinden elde edilen ortalama görünür çatlak ara uzaklığı değeri kullanılmalıdır (Şekil 5). Ülkemizde hali hazırda blok taş üretimi yapılan ve düşük blok üretim verimliliği nedeniyle terk edilmiş bir çok blok taş ocağı üzerinde yapılan incelemelerde, blok taş

kaynağı olarak kullanılması planlanan bir kaya kütesinin, içerdiği süreksizlik düzlemlerinin ortalama görünür süreksizlik ara uzaklığı değerinin 1.0 m den, tercihen 1.5 m den geniş olması gerektiği görülmektedir.



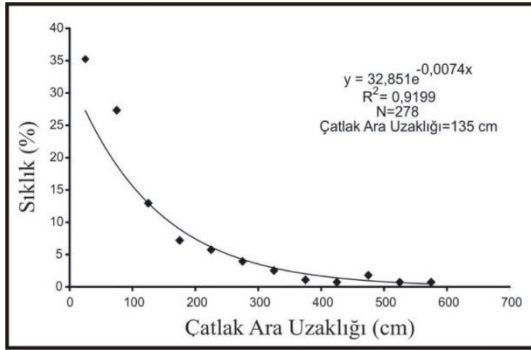
Şekil 4. Bir blok taş ocağı üretim aynası üzerinde yatay (Y) ve düşey (sondaj) (D) hatlar boyunca ölçülen görünür çatlak ara uzaklığı değerleri (Yavuz, 2001).

3.1.3. Süreksizlik düzlemi yönelimi ve set sayısı

Kaya kütesinin içerdiği süreksizlik düzlemlerinin konumları (eğim/doğrultu) ve süreksizlik seti sayısı, blok taş üretimine karar verilmesi, ocak ağzı ve ilerleme yönünün saptanması açısından son derece önemlidir (Şekil 6). Bu nedenle, ruhsat sahası içerisinde yapılacak detaylı süreksizlik ölçümleri ile kaya kütesi içerisinde etkili olan süreksizlik düzlemi setleri ve bu setlerin konumları saptanmalı ve ocak üretim basamağı yüksekliği ve ilerleme yönü bu parametreler göz önüne alınarak yapılmalıdır.

Kaya küterlerinin kalitesi, başka bir deyişle blok verme kapasitesi ve blok üretim verliliği, içerdiği süreksizlik düzlemlerinin

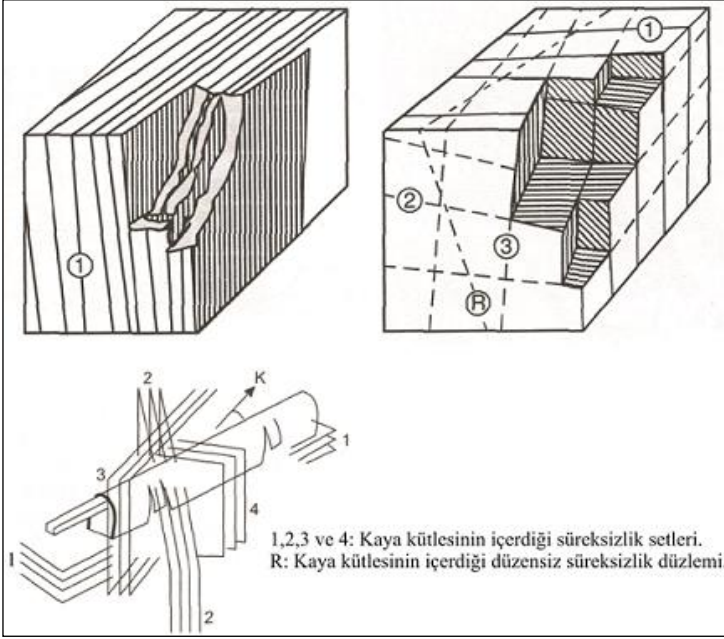
ortalama çatlak ara uzaklığı kadar süreksizlik seti sayısı ile de doğrudan ilişkilidir. Genel olarak blok taş üretimi yapılan kaya kütlelerinde 3 ve daha az egemen süreksizlik düzlemi seti yer aldığı görülmektedir. Bir kaya kütlelerinin içerdiği süreksizlik düzlemi seti sayısı ile bu setlerin yönelimleri, arazide pusula yardımı ile elde edilen süreksizlik düzlemi ölçülerinin, bilgisayar ortamında Stereografik Projeksiyon programları yardımıyla değerlendirilmesi sonucu saptanabilir (Şekil 7).



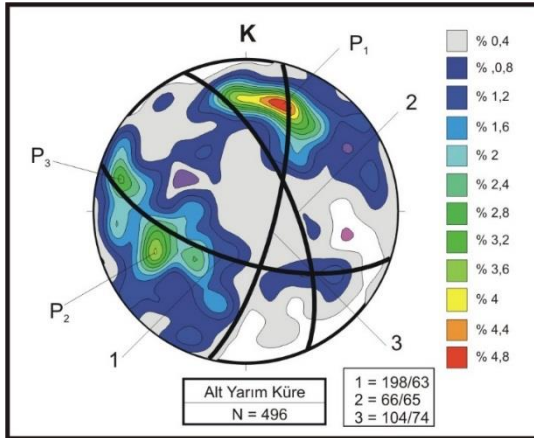
Şekil 5. Görünür çatlak ara uzaklıklarının kullanılmasıyla çizilen çatlak ara uzaklığı sıklık dağılım grafiği (Yavuz vd., 2007).

3.1.4. Süreksizlik düzlemi devamlılığı

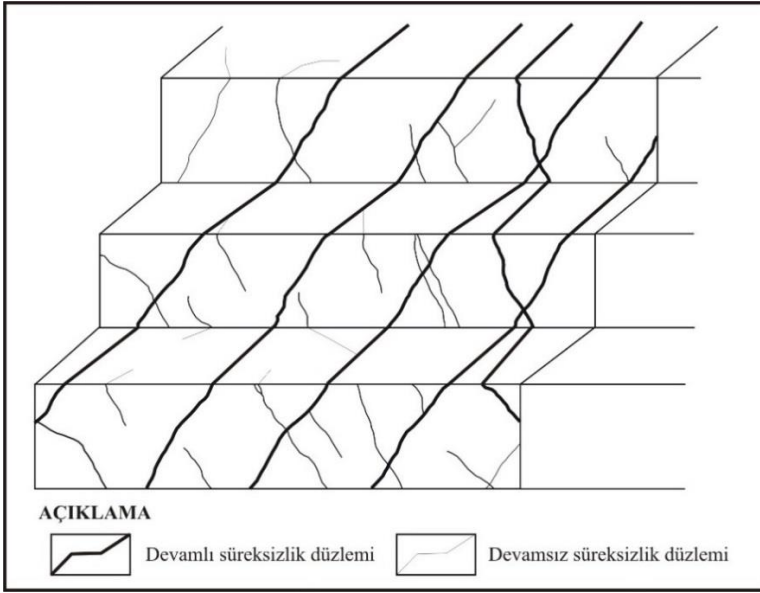
Süreksizlik devamlılığı bir süreksizlik düzleminin kaya kütlesi içerisinde ilerleme mesafesinin ölçütüdür (Şekil 8). Örneğin tabaklanma düzlemleri devamlı süreklilik düzlemleri grubuna girerken, kapalı veya kılcal çatlak düzlemleri genel olarak devamsız süreksizlik düzlemi grubuna girmektedirler. Kaya kütlelerinin gerek mühendislik projeleri için sınıflandırılmaları, gerekse de blok taş kaynağı olarak kullanılabilirlikleri ile ocak üretim parametrelerinin belirlenmesi, kayacın içerdiği egemen ve devamlı süreksizlik düzlemleri (setleri) göz önüne alınarak yapılmalıdır.



Şekil 6. Süreksizlik düzlemi setlerinin kaya kütlesi içerisindeki şematik gösterimi (Ulusay ve Sönmez, 2007).



Şekil 7. Bir kaya kütlesinin içerisinde yer alan süreksizlik düzlemlerinin, stereografik projeksiyon yöntemi ile belirlenen egemen süreksizlik setleri ve yönelimleri (Yavuz, 2001).



Şekil 8. Bir blok taş ocağı üretim basamaklarında gözlenen devamlı ve devamsız süreksizlik düzlemleri.

Tabakalanma ve ana kırık setleri gibi devamlı süreksizlik düzlemleri, kaya kütlelerinin genelinde hakim olan ana süreksizlik düzlemleridir. Başka bir deyişle devamlı süreksizlik düzlemleri, blok taş üretimi yapılan kaya kütlelerinde, üretim yönüne bağlı olarak yatay ve düşey yönlerde karşımıza devamlı olarak çıkacak süreksizlik düzlemleridir. Devamsız süreksizlik düzlemleri ise ocak içerisinde üretim basamaklarından birinde gözlenirken, bir üst ya da bir alt basamağa geçildiğinde gözlenmeyebilir (Şekil 8). Kaya kütlelerinin içerdiği süreksizlik düzlemlerinin devamlılıklarına göre sınıflandırılması, yüzeyde oldukça verimsiz görünen bir mermer sahasının, aslında ekonomik kaya blokları üretilebilecek bir saha olduğunu gerçeğini tespit edebilmemizin yanı sıra, yüzeyde gözlenen süreksizlik düzlemlerinin, kayacın iç kısımlarına doğru azalacağı ya da yok olacağı beklentisi ile üretim yaparak para ve zaman kaybetmemizin de önüne geçecektir.

3.2. İkincil Jeolojik Parametreler

Günümüz mermer endüstrisinde değişik jeolojik orijinli kayalar doğal yapıtaşı kaynağı olarak kullanılmaktadır. Magmatik kayalardan granitler, sedimanter kayalardan traverten ve kireçtaşları (bej mermer) ile metamorfik kayalardan mermerler, en yaygın kullanılan kaya türleridir. Blok mermer kaynağı olarak kullanılan doğal taşların jeolojik köken farklılıkları ele alındığında, her bir kaya türünün blok mermer kaynağı olarak kullanılabilirliğini etkileyen ikincil jeolojik parametrelerin farklılıklar sunacağı bir gerçektir. Çizelge 1’de yaygın olarak kullanılan ve değişik jeolojik kökene sahip doğal yapıtaşı türlerinin blok mermer kaynağı olarak kullanılabilirliğini etkileyen ve yaygın olarak gözlenen ikincil jeolojik parametreler verilmiştir.

Çizelge 1’de görüldüğü üzere bir kayacın doğal yapıtaşı kaynağı olarak kullanılabilmesi için sadece ekonomik sınır değerler içerisinde ve ticari değeri olan boyutlarda kaya blokları veriyor olması yeterli değildir.

Çizelge1’de belirtilen ve kayaların doğal yapıtaşı olarak kullanılabilirliğini olumsuz etkileyen jeolojik parametrelere, bir de kayacın aranılan renk- desende olması ve bu özelliğinin, kaya içerisinde mümkün olan en üst seviyede homojen ve izotrop olması gerekliliği eklendiğinde, blok mermer üretiminin, işleminin ve pazarlamasının, oldukça zor ve teknik altyapı gerektiren bir iş kolu olduğu görülmektedir.

Bir kayacın blok olarak üretilmesinden pazara nihai ürün olarak sunulması aşamasında yukarıda bahsedilen ikincil jeolojik parametreler hayati rol oynamaktadır. Günümüzde Çizelge 1’de belirtilen ikincil jeolojik parametrelerin bir veya birkaçının varlığı nedeniyle, açılmasını takiben kısa süreler içerisinde terk edilmiş yada düşük üretim verimlilikleri ile çalıştırılmakta olan çok sayıda mermer

ocağı bulunmaktadır. Bu parametrelerin kaya kütlesi içerisinde yatay ve düşey yönlerde değişim sunabilecekleri de göz önüne alındığında, tespit edilmeleri için detaylı jeolojik saha ve laboratuvar çalışmalarının yapılmasının gerekli olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. Değişik jeolojik kökenli doğal yapıtaşlarının blok mermer kaynağı olarak kullanılabilirliğini etkileyen jeolojik parametreler.

Metamorfik	Mermer	Kristal boyutu
		Kılcal süreksizlik düzlemleri
		Faliasyon düzlemleri
		Dolomitik mermer bant ve cepleri
		Kalsit cepleri
		Silis cepleri
		Zımpara cepleri
Sedimanter	Kireçtaşı	Kılcal süreksizlik düzlemleri
		Süreksizlik düzlemi dolgu türü, rengi ve durabilitesi
		Breşik zonlar
		Breş çimento türü, rengi ve durabilitesi
		Fosil varlığı, rengi, türü, fosilleşme şekli ve durabilitesi
		Silis cepleri
	Traverten	Lamina sıklığı ve düzeni
		Gözenek miktarı, şekli ve düzeni
		Gözeneklerin doğal olarak dolgulu olup, olmaması
		Fosil varlığı, rengi, türü, fosilleşme şekli ve durabilitesi
		Kil bant ve cepleri
		Farklı litolojideki kaya kısıntısı varlığı
Magmatik	Granit	Anklav ve ksenolit
		Aplit damarları
		Paslanmaya neden olacak minerallerin varlığı
		Ayrışma ve alterasyon

Çizelge1’de belirtilen ikincil jeolojik parametreler, kayacın doğal yapıtaşı kaynağı olarak kullanılabilirliğini değişik şekil ve ölçülerde etkileyebilir. Bu anlamda, ikincil jeolojik parametrelerin varlığının tespit edilmesi dışında, kaya içerisindeki sistematığının de belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin varlığı ve sistematığına bağlı olarak, kaya kütlesinde blok mermer üretim karı gözden geçirilebileceğı gibi, ocak ağızı lokasyonu, üretim yöntemi ve ilerleme yönü ile üretim miktarı gibi planlamalar en düşük riskle saptanabilir.

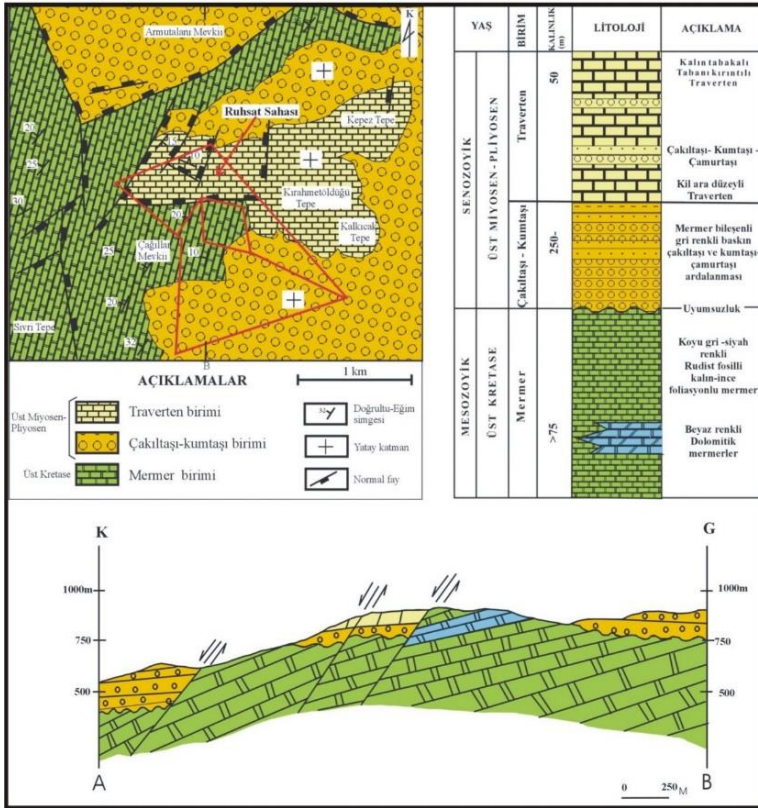
4. BİR MERMER SAHASINDA BLOK MERMER ÜRETİMİNE GEÇİLMEYEN ÖNCE YAPILMASI GEREKLİ OLAN JEOLJİK ARAŞTIRMALAR

Ülkemiz tarihsel devirlerden bu yana sahip olduğı renkli taşlar ve mermerlerin kalitesi ve rezervi açısından dünya ölçüsünde üne sahip bir ülkedir. Bu zenginlik, Türkiye’nin jeolojik yapısının bir sonucudur. Ancak herhangi bir zenginliğe sahip olmakla ondan gerektiğı gibi yararlanmak ayrı kavramlardır. İşte mermer rezervlerimiz bu tür doğal kaynaklarımızdandır (Erguvanlı ve Yüzer,1985). Bir kaya kütlesinin blok taş kaynağı olarak kullanılabilirliğinin saptanması için ocakta blok ve fabrikada üretim verimliliğı ile malzeme özellikleri ve bu taşın olan ticari talebin belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle bir ruhsat sahasında blok taş üretimine geçilmeden önce detaylı bir jeolojik inceleme ile ekonomik fizibilite çalışması yapılmalıdır.

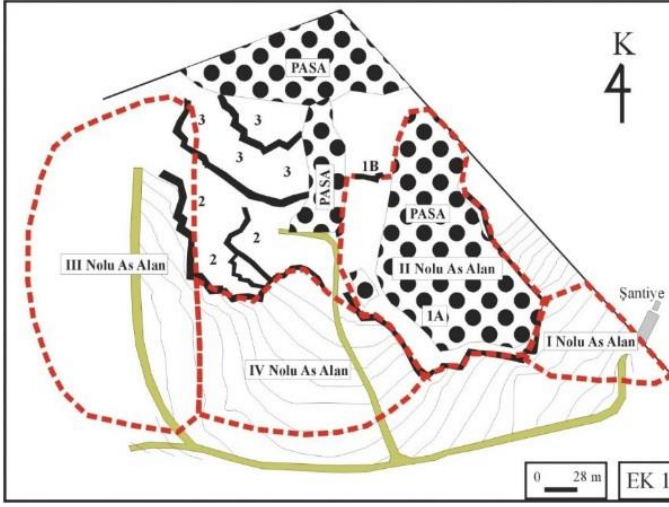
İlk olarak blok taş üretimi planlanan ruhsat sahası ve yakın çevresinin 1/25.000 ölçekli jeolojik harita ve kesitleri yapılarak birimin stratigrafik konumu ve yayılım alanı belirlenmelidir (Şekil 9). Daha sonra sadece ruhsat sahasını kapsayan alanın 1/5.000 ölçekli detay jeolojik haritası yapılmalı ve bu harita üzerine kayacın yapısal

özellikleri ile renk ve desen özellikleri işlenmeli ve kaya kütlelerinin jeolojik rezervi saptanmalıdır.

Bu veriler ışığında detay mühendislik jeolojisi çalışmalarının yürütüleceği alanlar belirlenmelidir (Şekil 10). As alanlar içerisinde varsa kaya şev aynalarında ve kaya yüzlelerinde 1/100 ölçekli detay süreksizlik ölçümleri yapılmalıdır. Bu çalışma sonucunda saptanan lokasyonlardan karotlu sondajlar yapılmalı ve arazi çalışmaları ile elde edilen renk, desen, yapısal öğeler (kırık, çatlak, fisür vb.) gibi jeolojik parametrelerin yatay ve düşey yönlereki değişimleri saptanır.



Şekil 9. Bir blok taş sahasına ait jeolojik harita ve kesitleri (Yavuz ve diğ., 2006).



Şekil 10. Bir blok taş ruhsat sahası içerisinde as alanların belirlenmesi.

Arazide yapılacak sondaj çalışmaları son derece önemlidir. Karotlu sondaj bir ruhsat sahasındaki kaya kütlelerinin blok taş kaynağı olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi için yürütülen bilimsel araştırmanın en önemli aşamalarından birisidir. Bu nedenle ruhsat sahası içerisinde sondaj yapılacak noktaların belirlenmesi, sondaj karotlarının incelenmesi ve loglanması bilimsel bakış açısına sahip uzman kişiler tarafından yapılmalıdır. Genellikle mermer sahalarında karotlu sondajlar jeolojik etütsüz başka bir deyişle uzman olmayan kişilerin hissiyatları tarafından belirlenen noktalardan yapılmakta, sondajlar ile elde edilen karotlar (silindirik kaya numuneleri) loglanmamakta (sondajlardan elde edilen kaya numunelerinin incelenerek kaya kütlelerinin litolojik ve yapısal özelliklerine göre sınıflandırılarak kaydedilmesi) fotoğrafları çekilmemekte ve sandıklanarak saklanmamaktadır. Şekil 11’de bir blok taş sahası içerisinde yapılan mekanik sondajdan elde edilen, loglanmadan ve sandıklanmadan terk edilmiş karot numuneleri görülmektedir. Oysa sondaj karotları, üretimin başlangıç aşamasında olduğu kadar ilerleyen aşamalarında da danışılması gereken oldukça önemli veri bankalarıdır.



Şekil 11. Bir blok taş sahası içerisinde yapılan mekanik sondajdan elde edilen, loglanmadan ve sandıklanmadan terk edilmiş karot numuneleri (Muğla).

Ruhsat sahasının değişik bölümlerinden alınan blok (30-40 kg) ve sondajlardan elde edilen taze kaya numuneleri üzerinde bir seri laboratuvar deneyi yapılarak kayacın doğal yapı taşı olarak kullanılabilirliği, işlenebilirliği ve durabilitesi gibi önemli mühendislik özellikleri üzerinde temel rol oynayan malzeme özellikleri (porozite, birim hacim ağırlığı, ağırlıkça su emme, donma-çözünme sonrası ağırlık ve direnç kaybı, tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı, Böhme yüzeysel aşınma kaybı) belirlenmelidir. Özellikle tek eksenli basınç ve eğilme direnci deneylerinin sonuçları iyi irdelenmeli ve kaya içerisinde zayıflık zonları oluşturularak, kayacın fabrikada kesilmesi ve işlenmesi sırasında sorun üretebilecek fisür, mikrofisür veya foliasyon düzlemi gibi kılcal süreksizlik düzlemi varlığı araştırılmalıdır.

Blok taş ruhsat sahası içerisinde yürütülen bütün bu arazi ve laboratuvar incelemelerinin sonuçları olumlu bile olsa, blok taş ocağında düşük yatırım maliyeti ile deneme üretimi yapılmalı, ocaktan üretilen kaya blokları işlenebilirlik ve desen özellikleri ile ticari talep parametreleri açısından değerlendirilmelidir.

5. SONUÇLAR

Yeni bir doğal taş ocağının açılmasında ruhsat alımındaki zorluklar dışında ocağa ulaşım yollarının açılması ve işletmeye geçilmesi gibi yüksek masrafların üstesinden gelmek gerekmektedir. Diğer maden yataklarında olduğu gibi blok taş üretiminde de birçok bilinmeyen vardır ve ekonomik riskler bulunmaktadır. Bu risklerin büyük bölümü aşamalı bilimsel adımların atılması ve toplam masrafın küçük parçalara bölünmesi yöntemiyle asgari bir düzeye çekilebilir. Atılan her adım sonunda yeni bir fizibilite ve ekonomik hesaplama yapıldığında toplamda büyük boyutlara erişebilecek kayıplar, en düşük düzeye çekilebilir (Erdoğan ve Yavuz, 2004).

Bir kaya kütlelerinin blok taş kaynağı olarak kullanılabilmesi için fiziko-mekanik ve teknolojik özellikleri açısından standartlara uygun, renk ve desen açısından aranan niteliklerde olması ocak ve fabrika üretim verimliliğinin ekonomik sınır değerler içerisinde kalması ve planlanan yıllık üretime göre >10 yıl yetecek miktarda işletilebilir kaya rezervi olması gerekmektedir.

Bu nedenle kayaçların doğal yapıtaşı olarak kullanımlarını etkileyen temel jeolojik parametrelerinin detaylıca belirlenmesi gerekmektedir. Kayaların blok mermer üretimini etkileyen birincil jeolojik parametrelerin büyük bir kısmı, kaya mostraları ve mermer ocaklarına ait şev aynalarında gözlenirken, ikincil jeolojik parametrelerin büyük bir kısmı yüzeyden yapılan saha gözlemleri ile tespit edilememektedirler. Kayaçların ayrışmaya bağlı olarak sunduğu mühendislik özelliklerindeki değişimler de göz önüne alındığında, bir ruhsat sahasında blok taş üretimine karar vermek için detaylı bir saha çalışması yapmak gereklidir.

Genel jeolojik harita alımı (1/25.000 ölçekli), detay mühendislik jeolojisi haritalaması (1/5000 ölçekli) yapılarak

stratigrafik konumu ve yayılım alanı belirlenmiş, rezerv açısından yeterli olduğu düşünölen ve saha araştırmaları sonucunda as alanlara ayrılan bir mermer sahasında, detaylı mühendislik jeolojisi çalışmalarına geçilmelidir. As alanlar içerisinde yürütölen detay süreksizlik düzlemi ölçümü ve bu çalışmadan edilen veriler ışığında ocak ağızı olarak seçölen noktalarda yapılacak karotlu sondajlarla, saha çalışması ile elde edilen jeolojik-mühendislik parametrelerinin, kayaç içerisindeki yatay ve düşey yönlerdeki değişimleri belirlenmelidir. Karotlu sondajlardan elde edilecek kaya numuneleri üzerinde ilgili standartlarda öngörölen laboratuvar deneyleri yapılarak, kayacın malzeme özellikleri ve bu özelliklerindeki olası değişimler saptanmalıdır (Yavuz 2008).

Doğal taş rezervlerimizden doğru yararlanamamızın nedenlerinin başında, işletme şekli ve yönteminin doğal koşullara, ya da jeolojik parametrelere uygun olarak seçilmemiş olması gelmektedir. Unutulmamalıdır ki jeolojik parametreler yüz binlerce hatta milyonlarca yılda oluşmuşlardır. Bu nedenle, onların insanlara uyması değil insanların onlara uyması zorunludur. Doğa, ancak onun dilinden anlayan insanlara cömert davranır (Ergüvanlı ve Yüzer,1985). Mermer ocaklarından, minimum kayıpla ve maksimum blok mermer üretim verimi elde etmek, ancak doğal şifrenin çözölmesi, yani jeolojik parametrelerin tespit edilerek, mermer ocaklarının bu parametreler göz önüne alınarak açılıp yönlendirilmesiyle mümkündür (Yavuz 2008).

KAYNAKLAR

Ergüvanlı, K., Yüzer, E., 1985, Mermer ocak işletmelerini etkileyen mühendislik jeolojisi parametreleri II Uluslararası Mermer Semp., Bull.2. 1-8, İstanbul Mermer İhracatçılar Birliği Yayını, İstanbul.

Erdoğan, B ve Yavuz, A.B., 2004. Kayaçların yapıtaşı olarak kullanılabilirliğini belirlemede fiziko-mekanik özelliklerinin önemi. Natural Stone. Mayıs-Haziran,22-29.

Koca, M.Y., Türk, N., 1994, Ayrışmanın andezitlerin petrografik, kimyasal ve jeomekanik özelliklerine etkisi. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni S.9 382-393.

Ulusay, R ve Sönmez, H., 2007, Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları 60. ISBN:975-395-466-2 Ankara

Yavuz., A.B., Koca, M.Y., Türk, N. 1995, Engineereing property of white marbles from Torbalı area in western Turkey, Eorocare-Euro Marble EU 497, Pentagona Conferance Room, 57-62.

Yavuz. A.B., 2001, Muğla Yöresi Mermer Ocaklarında Blok Mermer Üretimini Etkileyen Jeolojik Parametreler. D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

Yavuz, A.B., 2003, Mermer ocaklarında blok mermer üretimini etkileyen jeolojik parametreler, Mermer Meslek İç Eğitim Semineri, TMMOB, Jeoloji Müh. Odası Yayınları, 74, 52-56, Ankara,

Yavuz, A.B., Türk. N., Koca, M.Y., 2005, Geological parameters affecting the marble production in the quarries along the southern flank of the Menderes Masif, in SW Turkey, Engineering Geology, 80, 214-24.

Yavuz, A.B., Sözbilir, H., Elçi, H., 2006, Göktepe (Muğla) traverten ve mermer ocaklarında blok üretimini etkileyen jeolojik parametreler, Mühendislik Jeolojisinde Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 387-396, Denizli.

Yavuz, A.B., Elçi, H., Topal, T., 2007, Belevi (Selçuk-İzmir) mermerlerinin jeolojisi ve mühendislik jeolojisi. Erdoğan Yüzer Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 440-450, İstanbul.

Yavuz, A.B., Elçi, H., 2007, Göktepe (Muğla) beyaz mermerlerinin doğal yapı taşı olarak kullanılabilirliğini etkileyen jeolojik parametreler, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23/3,57-67,

Yavuz, A.B., 2008, Doğal taşlarda blok üretimini etkileyen jeolojik parametreler. I. Ulusal Mermer ve Doğaltaşlar Kongresi.

MERMER OCAK İŞLETMELERİNİN PLANLANMASINDA İNSANSIZ HAVA ARACI KULLANIMI ve UYGULAMA YÖNTEMİ

Mete KUN

Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

E-posta: mete.kun@deu.edu.tr

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte, üç boyutlu madencilik yazılımlarının (3BMY) daha güvenilir, hassas ve hızlı çalışması hedeflendiğinden, girdilerinde aynı şekilde mümkün olduğunca kapsamlı, etkin ve güncel bir biçimde sağlanması gerekmektedir. Bu talebi karşılamak için madencilik sektörü son dönemlerde yeni arayışlar içine girmiştir. Bu noktada tarihsel gelişimi 1850' li yıllara dayanan, ikinci dünya savaşı zamanında hızla gelişen ve askeri istihbarat sağlama amaçlı planör şeklinde ortaya çıkan, bugün birçok sektöründe yaygın şekilde kullanılan insansız hava araçları (İHA), endüstrinin diğer kolları ile birlikte madencilik sektörü için de güvenle kullanılabilen bir çözüm aracı olmuştur.

3BMY' de planlama ve üretim stratejilerinin geliştirilmesinde mühendislerinin karşılaştığı en büyük eksiklerden biri, sağlanan

verilerin yeterli olmaması, verilerdeki hata paylarının yüksek oluşu ve bazen sahadan alınan verilerin elle düzeltme gerektirmesi gibi durumlardır. Yetersiz ve/veya hatalı veriler, planlamanın verimini ciddi oranlarda azaltabileceği gibi, sil baştan yapılmasına dahi sebebiyet verebilmektedir. Ayrıca konuya farklı bir açıdan yaklaşıldığında, planlama ya da sonraki aşamalarda yaşanan veri problemleri (yetersiz, eksik veya yanlış) üretim sırasında maddi, manevi ve hatta can kaybına varabilen sonuçlar doğurabilir. İHA kullanımı ile saha verilerine kolay ve çok daha kısa sürede erişilmesinden öte, ölçüm almak için ulaşılması coğrafi veya iş sağlığı ve güvenliği açısından mümkün olmayan dik ve yüksek şevler ya da kayma riski olan alanlarda ölçümlerin alınması mümkün olabilmektedir. Bu ve buna benzer birçok neden İHA'ların madencilik sektöründe de kullanımını cazip hale gelmiştir. Özellikle geniş sahalarda, topografik verilerin çok fazla sayıda ve aynı zamanda hassas bir biçimde elde edilmesi gerekliliği, daha önce topograflar aracılığıyla haftalarca veya aylarca süren bu ölçüm işlemlerinin İHA ile daha hızlı, kolay ve güvenilir yapılmasını sağlamaktadır.

2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TARİHSEL GELİŞİMİ

İsim olarak insansız hava aracı (İHA), içinde insan bulunmadan uçabilen ve havada kontrol edilebilen tüm hava araçları kapsamaktadır. İHA terimine bilgisayar bilimleri ve yapay zekayla ilgilenen çevrelerce geçmişten günümüze değin, uzaktan pilotlu araç, uzaktan çalıştırılan hava aracı, uzaktan kumandalı helikopter ve son olarak insansız hava aracı sistemi gibi çeşitli isimler verilmiştir. İHA fikri ilk olarak askeri amaçlı olarak ortaya atılmış olup, özellikle de II. dünya savaşı ve savaşın getirdiği arayışlar bu araçların hızlı gelişimi başlatan en temel unsur olmuştur. (Eck, 2001). Ancak İHA'ların sanal ölçüm alımında kullanılması ilk olarak 1979 da, bir İHA ile havadan fotoğraflama yöntemi kullanılarak ilk uygulamanın jayara geçirilmesi

ile gerekleŒmiŒtir. Uygulamada 1:1000 lekli fotoğraflar alınmıŒtır. İHA'nın hızı uygun fotoğraf almak için gereğinden fazla hızlı olduğundan yeterli sonuç alınamamıŒtır. UuŒ sonrasında araç içine daha geliŒmiŒ navigasyon sistemi eklenmiŒtir. Bu sayede 150 metre yükseklikte 40 km/saat hızıyla yapılan denemelerde baŒarılı fotoğraflar alınmıŒtır. Bu baŒarı İHA'ların kullanım alanını geniŒletmeye baŒlamıŒtır. İhtiyaçlar dahilinde araçların daha az titreŒimli uçması, daha iyi manevra yapabilmesi ve özellikle hatasız ve hassas veri toplayabilmesi adına havada sabit durması gerektiğinden 80' li yılların baŒında Wester-Ebbinghaus ilk helikopter modellerini geliŒtirmiŒtir (Eisenbeiss,2004).

Günümüzde geliŒtirilen İHA lar ve bu araçların üzerine yerleŒtirilen hassas görüntüleme cihazları ve entegre GPS sistemleri sayesinde, insansız hava araçlarının tercih edildiği uygulamalar giderek ve hızla artmaktadır. İHA yardımıyla gerekleŒtirilen alıŒmalar yersel fotogrametrideki hassasiyete yaklaŒmakta ve alıŒmaları kısa sürede tamamlayabilmesi açısından birçok farklı alanda uygulanma olanağı bulmaktadır (Eisenbeiss, 2009). Niethammer vd., (2010), heyalının izlenmesi ve yüksek znrlkl görüntülerinin elde edilmesinde, Wing vd., (2014), orman arazilerinin yüzeylerin çıkarılmasında, Döner vd., (2014), İHA görüntülerinin haritalama alıŒmalarında kullanılmasında, Mases vd., (2015), İHA'ların geniŒ ölçekli afet alıŒmalarında iletiŒim sağlaması, Akgl vd., (2016), yüksek hassasiyetli sayısal yükseklik modeli üretilmesi ve ormancılık alanlarında kullanılmasında , Yakar ve Mırdan. (2017), tarihi eserlerin insansız hava aracı ile modellenmesi ve karŒılaŒılan sorunlar konularında etkin olarak alıŒmıŒlar ve olumlu sonuçlar elde etmiŒlerdir.

3. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KULLANIMI VE AVANTAJLARI

İHA ile yapılan ölçümler bir kaç temel adımdan oluşmaktadır. Ölçümler doğrudan vektörel veri sağlamayabilir. Bunun yerine bütünsel ve birbirini tamamlayan temel adımlarla sonuçlar ortaya koymaktadır (Eyndt ve Volkmann, 2013). Günümüzde klasik bilgisayar tabanlı 3B modelleme tekniklerinin yanı sıra fotogrametrik ve mesafe ölçme tabanlı teknikler 3B modelleme çalışmalarında kullanılmaktadır. Fotogrametrik ve mesafe ölçme tabanlı ölçme sistemleri gerçek obje geometrisinin belirlenmesinin yanında, objenin coğrafi referansı ile birlikte modellenmesi imkânı sağlamaktadır. Ayrıca bu teknolojiler özellikle objenin gerçek görüntüsü ile beraber alım yaptıkları için gerçek görüntünün doku olarak modellere geçirilmesi konusunda artı olanaklar sağlamaktadır (Yakar ve Mirdan,2017).

İHA ların mühendislik çalışmalarında kullanımında ilk adım ilgili proje sahasının taranması ve iki temel veri gurubunun elde edilmesi ile başlar. Bu veri grupları ortofotolar ve dijital yükseklik modelleridir. İHA'ları için geliştirilen yazılımlar ile bu iki adım tercih edilecek program kontrolünde gerçekleşmektedir. Bu yazılımların amacı, sanal ölçüm için veri toplama adımını özelleşmiş kullanıcı ara yüzü ile hızlı ve kolay hale getirmektedir. İHA, yazılım kontrolünde rotasını, açısını ve tur sayısını ayarlar. Bundan sonraki kısımda alınan verilerin birleştirilmesi ve 3B yazılımlarına uygun hale getirilmesi bulunmaktadır (Kun ve Özcan, 2017). İstenirse bu uygulama el ile kontrol edilerek de gerçekleştirilebilir.

İkinci adımda İHA'lara özel temin edilen yazım ile arazinin büyüklüğüne ve ölçümün kalitesine bağlı olarak miktarı ayarlanan veriler birleştirilir ve jeoreferanslaması yapılır. Bu aşama sonunda arazinin bütünlüklü bir modeli elde edilir. Kullanım yazılıma bağlı

olarak katı yüzey modeli veya nokta bulutu oluşturulur. Hizalanmış nokta bulutları, sonunda bir SAM (Sayısal Arazi Modeli) ve ortogörüntü üretmek mümkündür (Kim and Lee, 2017). Oluşturulan bu nokta bulutları koordinatlı olarak istenilen 3B programda işlenerek özellikle madencilik alanında; maden planlama, alan, hacim yada tonaj hesapları, rehabilitasyon çalışmaları için gerekli olan basamak ve şev alanlarının hesaplanması vb. alanlarda aktif olarak kullanılır.

Özellikle madencilik ve ocak işletmeciliği açısından bakıldığında, bir insansız hava aracının işletmelerin planlanmasından, işletmenin ömrünü tamamlayıncaya kadar geçen süre içinde pek çok ayrı alanda pratik, etkin ve diğer yöntemlere nazaran çok daha ekonomik çözümler sunduğu görülmektedir. Madencilik yatırımlarının özellikle işletmeye geçiş aşaması ve sonrasındaki üretim planlarının hazırlanması, yapılan üretimlerin istenilen sürelerde kontrol edilmesi (yerinde ve/veya stokta), yasal düzenlemeler esnasında istenen üretim ve diğer planların yapımı ve kontrolü, stok sahalarındaki ürünlerin miktar ve/veya hacimlerinin belirlenmesi, işletmenin sona ermesi durumunda yapılacak olan rehabilitasyon çalışmaları için gerekli olan hesaplamalar gibi daha birçok alanda İHA ve sisteme entegre olarak çalışan üç boyutlu madencilik programlarının kullanımı, zaman, iş gücü, maliyet ve ortaya konan çalışmalarda bir standardın sağlanması açısından, önümüzdeki yıllar içerisinde önemi giderek artan bir çalışma alanı ve hatta bir zorunluluk haline gelecektir.

Konuya günümüzde üzerinde özenle durulan ve daha da itina ile durulması gereken, iş sağlığı ve güvenliği açısından bakıldığında ise, İHA ların özellikle yerbilimlerdeki uygulamaları çok daha büyük önem kazanmaktadır. İHA' lar; tehlikeli ve hayati önem arz eden, risk derecelendirmesi yüksek olan madencilik çalışmalarında, ulaşılması zor ve riskli olan topografyalarda, bunun yanı sıra doğal afet bölgelerinden (toprak kayması, deprem, sel vb..) verilerin

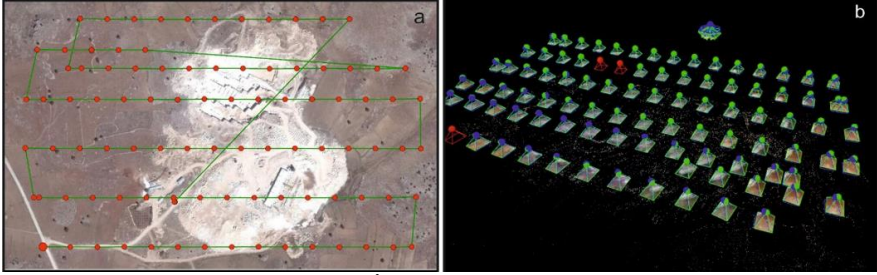
toplanmasında, iş ve işçi sağlığının ön planda tutulduğu her türlü çalışmada, son derece pratik ve riskli alanlara yaklaşılmadan veri alınabildiği için, etkin olarak kullanım alanı bulmaktadırlar. Ayrıca bu tür çalışmalarda eş zamanlı veri sağlamaları, mühadaleler ve alınacak tedbirler açısından da oldukça önemlidir. Ayrıca yöntemin, klasik ölçüm ve hesaplama maliyetlerine göre daha az maliyetle uygulanabilirliği ve farklı iklim koşullarından daha az etkilenmesi, İHA ların tercih edilme nedenleri arasındadır.

4. İNSANSIZ HAVA ARACI İLE YAPILAN ÖRNEK MERMER OCAĞI ARTIK (PASA) ALANI UYGULAMASI

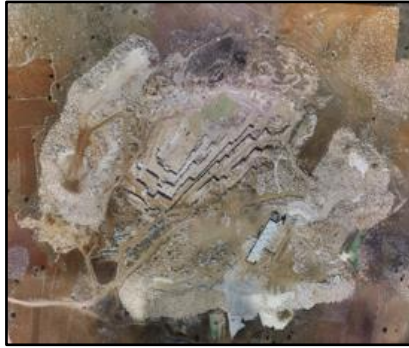
Bir madencilik girişiminin verimli bir şekilde değerlendirmek için doğru topografik bilgi edinmek esastır. Bununla birlikte, yer istasyonları ve küresel konumlandırma sistemleri gibi karasal araştırma yöntemlerini kullanarak, büyük boyutlu sahaların ölçülmesi, zaman ve işgücü açısından büyük çaba gerektirmektedir. Dahası, uzak ve ulaşılması zor, sarp arazilerde ölçüm yapmak son derece tehlikelidir. Bu ve benzeri sebeplerden dolayı İHA' lar madencilik çalışmalarında dünyada son on yıllık süreçte daha aktif olarak kullanılmaktadır. İHA ların madencilik operasyonlarının bir parçası olan, sahaların rehabilitasyon işlemleri için, özellikle terk edilmiş maden sahaları ve ölçüm ekiplerinin erişimlerinin güvenlik sorunları nedeni ile sınırlandığı bölgelerde kullanımı, dünya çapında önerilmektedir (Cara ve Matzuzzi, 2013).

Bu ve benzeri birçok ölçüm ve madencilikte yaygın olarak kullanılan üç boyutlu yazılımlara kolay veri aktarımı nedeni ile, çalışma içerisinde örnek bir mermer ocağı ele alınarak, mermer ocak işletmesi içerisindeki pasa sahalarının şev, basamak üstü metrekaare alanları ile birlikte toplam pasa hacmi hesaplaması yapılmıştır. Şekil 1' de mermer ocağı üzerinden insansız hava aracı ile veri alıma

sırasında oluşturulan uçuş planı ve aracın konumları, Şekil 2' de ise, alınan verilerden oluşturulan koordinatlı saha modeli gösterilmektedir. Yaklaşık olarak 40 dakikalık bir uçuş süresi içerisinde, alınan 100 adet görüntü üzerinden çalışmalar tamamlanmış, tanımlaması ve değerlendirilmesi yapılan nokta sayısı yaklaşık olarak 11,4 milyon olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Saha uçuş planı ve İHA' nın saha üzerindeki görüntü alım şablonu

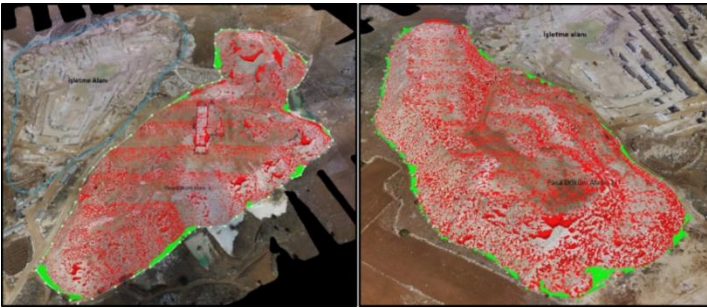


Şekil 2. Sahanın genel görünümü

Çalışma yapılan ocakta, işletme ruhsat alanı içerisinde yer alan pasaların bertaraf edilmesi maksadı ile öncelikle miktar ve kapladıkları yüzey alanlarının bilinmesi gerekmektedir. İşletme alanı içerisindeki pasalar birkaç farklı yolla bertaraf edilebilir. Örneğin; yapısal, fiziksel ve kimyasal bileşimi uygunsa endüstrinin farklı

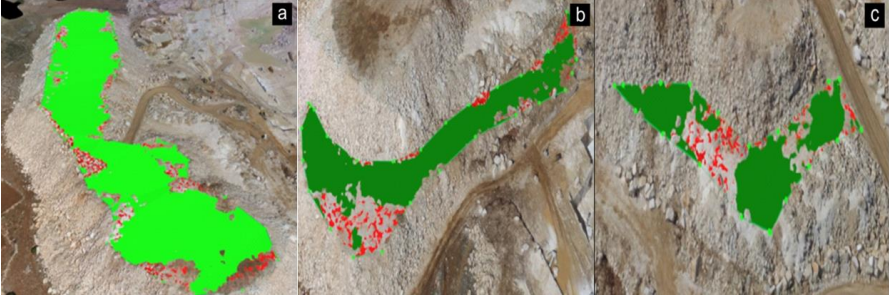
kollarında hammadde olarak (çimento sanayii, yem sanayii vb.), hiçbir şekilde kullanılmıyorsa ocak çukuru içerisine konumlandırılarak ya da hem ocak çukuru içerisine hem de yerinde rehabilitasyon çalışmaları yapılarak, işletmenin doğaya yeniden kazandırılması gerçekleştirilmelidir. Sayılan bu farklı uygulamalar için bilinmesi gereken ortak nokta pasa miktarı (m^3) ve rehabilitasyon çalışmaları için ise, pasa yüzey ve şevlerine ait alanlardır (m^2). Bu alansal bilgiler rehabilitasyon işleminin maliyet unsurlarının hesaplamaları için gereklidir. Ayrıca eğer bu pasa alanları rehabilite edilecekse, pasaya ait şev ve üst yüzey alanlarının bilinmesi zorunludur. Bu ve benzeri bilgilerin geleneksel ölçüm metodları ile eldesi günler alan bir çalışma ve yoğun emek gerektirmektedir. Ayrıca zaman zaman 20-70 m. kalınlıklara varan, şekilsiz ve son derece düzensiz geometriye sahip pasanın üzerine çıkıp ölçüm almak neredeyse imkansızdır.

Şekil 2’de 50 m. yükseklikten, yer düzlemine 90 derece açı ile çekilen koordinatlı saha görseli verilmektedir. İşletme alanında pasalar iki ana grup halinde stoklanmış olup bunlar 1 ve 2 nolu pasa stok alanları olarak adlandırılmıştır. Şekil 3’te, işletme alanındaki pasaların durumu ve hesaplamalara konu olan hacimler gösterilmektedir.



Şekil 3. 1 nolu pasa alanı ve 2 nolu pasa alanı

Şekil 4'te, pasalara ait üst yüzey ve şevlerin alanlarının belirleme işlemlerinin aşamaları gösterilmektedir. Tüm işlemler İHA' lar için geliştirilen özel yazılımlar kullanılarak yapılmaktadır. Çizelge 1' de şekil 4' de ve gösterilen pasa üstü yüzey alanların toplamı ile yine şekil 4' de gösterilen pasa şevinin toplam yüzey alanları verilmektedir. Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucunda işletmenin tüm pasa hacmi' de yaklaşık 1,5 Milyon m³ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Pasa üst yüzey alanları ve pasa şevleri

Çizelge 1. Hesaplanan toplam pasa sahalarına ait alan ve hacim bilgileri

Alan Adı	Yüzey Alanı (m ²)	Toplam Hacim (m ³)
Pasa Üst (4a)	88.522,79	1.542.393,02
Pasa Şev (4b+4c)	83.896,71	
Toplam	172.419,50	

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya ve ülkenizde, geniş ölçekli açık maden ocaklarının değerlendirilmesi, yasal olarak istenen imalat haritalarının çıkarılması, üretim kontrolü ve rehabilitasyon çalışmaları gibi bir madenin ömrü boyunca yapılması gerekli olan ölçüm ve denetlemeler, etkili ve kolaylıkla tekrarlanabilecek şekilde insansız hava araçları yardımı ile yapılabilmektedir. Klasik ölçüm metotları ile alınan topografik verilerin hassas bir biçimde elde edilmesi, işletmelerin büyüklüğüne

bağlı olarak bazen haftalarda hatta aylar sürebilir. Ancak günümüze bu veriler, lazerli tarama sistemleri, uydu sistemleri ve havadan görüntüleme sistemleri ile önceki yöntemlere kıyasla çok daha kısa sürede sağlanmaktadır. Buna ilaveten havadan görüntüleme sistemleri, diğer iki sisteme kıyasla daha az maliyetli ve hızlı veri üretmesi nedeni ile öne çıkmaktadır. Ayrıca insansız hava araçları ile toplanan verilerin herhangi bir şüphe olduğunda tekrarlanması da diğer sistemlere nazaran çok daha kolay ve hızlıdır.

Bu bağlamda örnek bir mermer ocağı ele alınarak yapılan çalışmada, yaklaşık 0,72 km² lik bir alan, yine yaklaşık 40 dak.'lık bir uçuş süresi planlanarak fotoğraflanmış ve sahaya ait 100 görsel alınarak toplamda yaklaşık 11 milyon adet koordinatlı nokta üzerinde çalışılmıştır. Alınan verilerin işlenmesi sonucu hata payı ortalamasının yaklaşık 1 metre olduğu gözlenmiştir. Bu hata payının nedeni araştırıldığında, sahada doğrudan jeoreferanslama yapılmadığı ve yerüstü kontrol noktası kullanılmaması sonucu oluştuğu sonucuna varılmıştır. Bu hata payının yerüstü kontrol noktası kullanımı ile cm. mertebesine indirilmesi mümkündür. Çalışmanın geldiği son aşamada kullanılan IHA' nın da geliştirilmesi ve yerüstü kontrol noktaları kullanımı ile, belirtilen hata paylarının cm. (2-6 cm) mertebesine düştüğü gözlenmiştir.

Buna göre yapılan ölçümler sonucunda ele alınan örnek mermer ocağı için toplamda yaklaşık 1,5 milyon m³ pasa ve pasa sahalarına ait toplam yaklaşık 172,5 bin m² lik yüzey alanı (basamak üstü ve şev) tespit edilmiştir. Tespit edilen bu yüzey alanları ve hacimler, artık olarak değerlendirilmeye çalışılan mermer ocak pasalarının kontrolünde ve madenin ömrüne paralel olarak yapılacak rehabilitasyon çalışmalarının maliyet hesaplarında etkin olarak kullanılacaktır. Zira rehabilitasyon işlemlerinde bir madenin basamak ve şevleri farklı rehabilite maliyetleri içermektedir.

TEŞEKKÜR

Yazar, DEÜ BAP Koordinatörlüğüne, 2017 KB FEN 021 nolu projeye desteklerinden ötürü ve ayrıca Adalya Mermer AŞ. Fabrika Müdürü Sayın Ulaş Turan ve Arge Müdürü Sayın Yakup İlhan' a desteklerinden ötürü teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Cara, S., & Matzuzzi, C., 2013. Assessment of landscape by photogrammetry proximity uav survey technique: A case study of an abandoned mine site in the Furtei Area, 23rd International Mining Congress & Exhibition, Antalya, pp.83-93.

Döner, F., Özdemir, S. ve Ceylan, M., İnsansız hava aracı sistemlerinin veri toplama ve haritalama çalışmalarında kullanımı., 2014. 5. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu, İstanbul.

Eck, Ch., 2001. Navigation Algorithms with applications to unmanned helicopter. P.hd. Thesis. Dissertation at the Swiss federal institute of technology , Sweden.

Eisenbeiss, H., 2004. A Mini Unmanned Aerial Vehicle: System Overview. Processing And Visualization Using High-Resolution Imagery. Pitsanulok: Institute for Geodesy and Photogrammetry.

Eisenbeis, H., 2009. UAV photogrammetry. Zurich, Switzerland:: ETH.

Everaerts, J., Lewycky, N., Fransaer, D., 2004. Design of astratospheric long endurance UAV system for remote sensing. IAPRS, Belgium, pp. 93-98.

Kim, J. O., & Lee, J. K., 2017. UAV Application for Process Control of the Reclamation Project. Journal of Coastal Research, 79: 309-313.

Kun, M., Özcan, B., 2017. Madencilik Uygulamalarında İnsansız Hava Aracı Kullanımı; Uygulama ve Yazılım Örnekleri, 6. Uluslararası Maden Makineleri ve Teknolojileri Kongresi.

Mesas-Carrascosa, F. J., Notario-García, M. D., de Larriva, J. E. M., de la Orden, M. S., & Porras, A. G. F.,2014. Validation of measurements of land plot area using

UAV imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 33, 270-279.

Niethammer, U., Rothmund, S. and Joswig, M., 2010. UAV-based remote sensing of the slow moving landslide Super-Sauze, In: *Landslide processes*, Ed.: CERG Editions, Strasbourg, 69-74.

Tom, Op't Eyndt., Walter, Volkmann., 2013. UAS as a Tool for Surveyors., *GIM International*, www.gim-international.com

Yakar, M., Mirdan, Ö., 2017, Tarihi Eserlerin İnsansız Hava Aracı İle Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar, *Journal of Geomatics* (3);118-125

Wing, M. G., Burnett, J., Johnson, S., Akay, A. E. ve Sessions, J., 2014. A Low-cost unmanned aerial system for remote sensing of forested landscapes. *International Journal of Remote Sensing Applications*, 4(3), 113-120.

DOĞAL TAŞ OCAKLARINDA ARTIK OLUŞUMUNUN ÖNLENMESİ VE ARTIKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Raşit ALTINDAĞ

Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

E-posta: rasitaltindag@sdu.edu.tr

1. GİRİŞ

Mermer, 3213 sayılı Maden Kanunu ile maden kapsamına 1985 yılında alınmıştır. Mermer ve traverten olarak baŐlayan sektördeki gelişmeler günümüzde diğer kayaÇ türlerinin de katılmasıyla Dünya Doğal Taş Sektöründe ve ülke ekonomisinde önemli bir yer tutmaya başlamıştır. 2000’li yıllara kadar jeolojik oluşum itibariyle metamorfik kökenli karbonatlı kayağlara mermer denilirken son 15-20 yıllık süreçte ekonomik olarak işlem gören traverten, kireĐtaŐı (bej), onix, sert taşlar, kayrak taşı vb tüm kağlar Doğal Taş olarak tanımlanmaktadır.

Türkiye’nin 1980’li yıllarda birkaç milyon dolar olan mermer (doğal taş) ihracatı 2013 yılı itibariyle 2,2 Milyar \$ seviyesine ulaŐmıŐ, 2016 yılında ise bir düşüş göstererek 1,8 Milyar \$ düzeyinde ve 2017 yılında da 2 Milyar \$ seviyesine ulaşmıştır. Bugün gerek üretim

miktarı gerekse ihracat verileri açısından bakıldığında Türkiye, Dünyanın ilk 5 ülkesi içinde yer almaktadır. Ülkenin doğal taş sektörüne sadece doğal taş üretimi ve ihracatı açısından bakılmamalıdır. Özellikle son 25 yıllık süreç incelendiğinde ocak ve mermer işleme makineleri ve ekipmanları ile doğal taş imalatı açısından yerli üretim oldukça iyi bir konuma gelmiş bulunmaktadır. Bugün ülkemizin tüm ocaklarında yerli üretim iş makineleri görmenin yanı sıra birçok ülkeye mermer makineleri ve ekipmanları da ihraç edilmektedir.

Türkiye'nin 2023 yılı doğal taş ihracat hedefinin literatürdeki çeşitli kaynaklarda 10 Milyar \$ olarak gerçekleşeceği öngörülmekteydi. Ancak 2016 yılına kadarki ihracat eğilimi, Dünyadaki ve bölgemizdeki gelişmeler dikkate alındığında 2023 doğal taş ihracat hedefi olan bu seviyelere ulaşması mümkün görülmemektedir. Doğal taş sektörünün vardığı bu seviyeyi korumak ve daha yukarılara taşımak için ülke içinde ve dünyadaki gelişen dinamikleri iyi analiz etmek gerekir. Bu değişimleri ve gelişmeleri öngörerek şirketlerin pozisyon almaları da son derece önemlidir.

Türkiye Doğal Taş rezervinin ne kadar olduğu ve dünyadaki payımız konusudur. “*Dünya mermer rezervinin yaklaşık % 40’ı Türkiye’dedir.*”, “*Türkiye 5,2 Milyar metreküp yani 13,9 Milyar ton mermer rezervine sahiptir.*” şeklindeki ifadeler birçok sözel ortamda veya yazılı kaynaklarda rastlanmaktadır. “*Türkiye 5,2 Milyar metreküp yani 13,9 Milyar ton mermer rezervine sahiptir*” şeklindeki ifade bundan 50 yıl önce yani 1966 yılında MTA tarafından yapılan çalışmaların raporlarında belirtilmiştir (MTA, 1966). O yıllarda mermer olarak tanımlanan rezerv jeolojik anlamda mermer olarak tanımlanan kayaçların rezervidir. Kireçtaşı (bej olarak tanımlanan), traverten, limra, oniks ve magmatik kökenli (granit, bazalt, diyabaz vb.) kayaçlar mermer olarak tanımlanmadığından o günlerdeki kayıtlara bunların varlığı mermer rezervi kapsamına alınmamıştır.

Oysaki günümüzde jeolojik anlamda mermer olarak tanımlanan kayaçların yanı sıra kesilip parlatılan, dekoratif özellikleri olan piyasada ekonomik olarak işlem gören her türlü kayaca **Doğal Taş** ve bu sektöre de **Doğal Taş Sektörü** denilmektedir. Bu ticari gerçeğin ışığında MTA'nın 1966 yılındaki raporunun (MTA, 1966) üzerinden 50 yıl sonra hala aynı sayısal büyüklüklerin gerek çeşitli platformlarda sözlü olarak gerekse yazılı metinlerde yer almaya devam etmesi gerçeği günceli yansıtmamaktadır. Doğru ve güncel verileri yansıtmayan ifadeler sektörü yanıltmaktan öteye geçmeyecektir. 1990-1994 yılları arasında; Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) adına, İTÜ tarafından mermer ocağı bazında yapılan gözlemlere göre Türkiye doğal taş rezervi 6,7 milyar m³ olarak belirtilmiştir (DPT, 1995). Bugün doğal taş olarak tanımlanan kayaçların Türkiye'deki rezerv durumunu araştırıp rapor eden ne bir bilimsel çalışma nede resmi bir yayın bulunmamaktadır. Dolayısıyla, biz daha Türkiye'deki doğal taş rezervinin ne olduğunu bilmeden ve dünya rezervi ile mukayese edemeden Türkiye, Dünya rezervinin % 40'ına sahiptir demek son derece yanıltıcıdır. Bu nedenle, bir an önce doğal taş sektörü ile ilgili aktörler bir araya gelerek Türkiye doğal taş rezervinin ve dağılımının belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda Eylül 2016 tarih ve 29824 sayılı resmi gazetede yayınlanan 6745 sayılı "Yatırımların proje desteklenmesi ile bazı kanun ve kanun hükmünde kararnamelerde değişiklik yapılmasına dair " torba kanununun 38. Maddesi ile de 3213 sayılı kanunun ek 14. madde eklenmesi ile de Maden sahalarında yapılan maden arama ve işletme faaliyetlerin uluslararası standartlara uygun raporlanması ve bu raporlamaların doğru, güvenilir ve şeffaf olmasını sağlamak amacıyla Ulusal Madenlerde Rezerv ve Kaynak Raporlama Komisyonu (UMREK) kurulmuştur (UMREK, 2017). Bu kapsamda oluşturulacak veri toplama sistemi ile ülkemizin doğal taş sektöründeki güncel rezervleri belirlenmiş olacak ve ülkemizin doğal taş rezervinin dünya rezervleri içindeki payı gerçeği olarak ortaya konacaktır.

2. DOĞAL TAŞ SEKTÖRÜNÜN EKONOMİK GÖSTERGELERİ

TÜİK (2017) verilerine göre 2016 yılında 143,6 milyar \$ olarak gerçekleşen ülkemiz toplam ihracatından % 2,5'luk payı alan madencilik sektörü ihracatı, bir önceki yıla göre %1 düşüşle 3,787 milyar \$ olarak gerçekleşmiştir. 2016 yılında en fazla ihraç edilen maden ürün grupları arasında ise Doğal Taşlar 7,06 milyon ton ve 1,82 milyar \$ ile ilk sırada yer almıştır.

Türkiye'nin mermer ve traverten ihracatı 2010 yılında 4,7 milyon ton, 2011'de 4,9 milyon ton, 2012'de 5,2 milyon ton ve 2013'te 5,7 milyon tona ulaşmışken 2014 yılında 4,9 milyon tona, 2015 ve 2016 yıllarında 4,4'er milyon ton olarak gerçekleşmiştir.

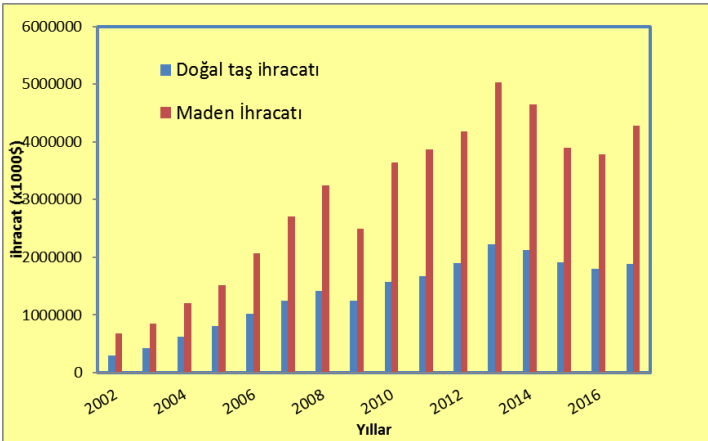
Türkiye'nin son 15 yıllık maden ve doğal taş ihracat rakamları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde doğal taş ihracatının toplam maden ihracatı içindeki payının %45-50 olduğu, bilinen diğer tüm madenlerin ihracatı ise % 50-55 düzeyinde gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 1-2). Diğer bir ifadeyle, doğal taş ihracat rakamları diğer tüm maden ihracat rakamlarının toplamına eşit olduğu anlaşılmaktadır.

2017 yılı içerisinde ilk 11 aylık dönemde yaklaşık 160 ülkeye işlenmiş mermer ihracatı yapılmıştır (İMİB, 2017). Türkiye'nin 2023 yılı itibariyle doğal taş ihracatının bugüne kadarki ihracat eğilimi dikkate alındığında 3,7-4 Milyar \$ düzeyinde olacağı öngörülebilir (Şekil 3). Dünyadaki ve ülkemizdeki ekonomik gelişmelerde ekstrem durumların yaşanmaması halinde bu ihracat rakamlarına ulaşacağı tahmin edilmektedir.

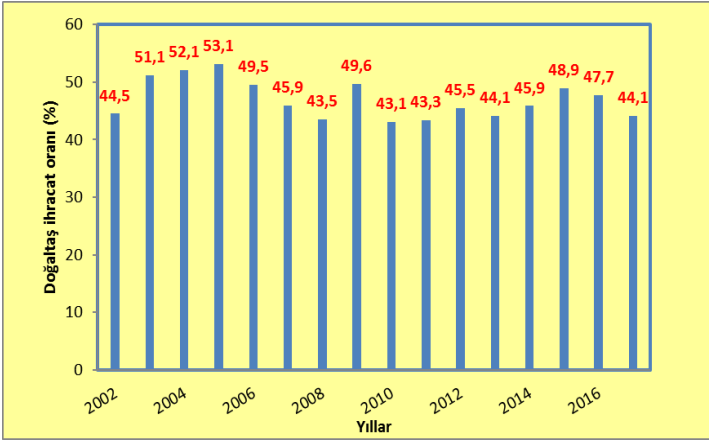
Çizelge 1. Türkiye'nin maden ve doğal taş ihracatının yıllar bazlı dağılımı (imib, 2017)

Yıllar	Doğal Taş	Maden	(A/B)x100
2002	302586	680222	44,5
2003	431047	843273	51,1
2004	625895	1201711	52,1
2005	805234	1517195	53,1
2006	1025937	2071786	49,5
2007	1241672	2702710	45,9
2008	1415152	3251443	43,5
2009	1240675	2499495	49,6
2010	1571094	3645843	43,1
2011	1674118	3863312	43,3
2012	1901206	4179552	45,5
2013	2222387	5034886	44,1
2014	2128230	4641566	45,9
2015	1906251	3895258	48,9
2016	1815599	3787505	47,7
2017*	1888687	4282444	44,1

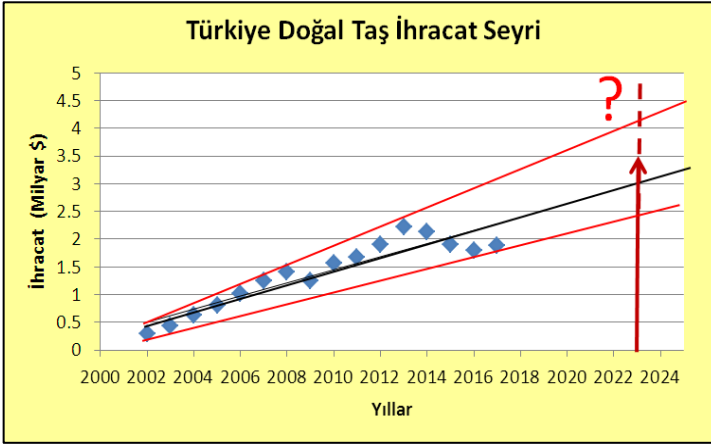
*Ocak-Kasım 2017 arası ihracat verileri



Şekil 1. Yıllar itibariyle Türkiye'nin maden ve doğal taş ihracat durumu



Şekil 2. Yıllar itibariyle Türkiye'nin maden ihracatı içinde doğal taş ihracatının oransal değişimi



Şekil 3. Türkiye'nin son 15 yıllık doğal taş ihracat eğilimi

3. MERMER BLOK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Bugün dünyada olduğu gibi ülkemizde de doğal taş (mermer, traverten, kireçtaşı-bej, sert taş vb) ocaklarında modern iş makinaları ile blok çıkarma işlemleri yapılmaktadır. Açık ocak işletme yöntemi ile çalışan ocaklar tepe tipi, yamaç tipi ve çukur tip ocak türleri ile blok

çıkarma işlemleri yapılmaktadır. Basamaklar şeklinde yapılan üretim yönteminde basamak yükseklikleri işletmeden işletmeye değişmekte olup 3-8 m arasında ve çok değişkenlik gösteren basamak genişlikleri ile blok çıkarma işlemleri yapılmaktadır.

Tarihsel süreç içinde insan gücü ile yapılan üretim şekli zamanla mekanik aksamlar ve makinalar ile üretime yerini bırakmıştır. Mermer ocaklarında 1980'li yılların sonlarından itibaren delikler delinerek oluşturulan dik delik delme işleminden sonra elmas tel kesme makinalarıyla yerinde kesim işlemleri yapılmaktadır. 2000'li yıllardan sonra elmas tel kesme makinasıyla beraber kollu kesiciler de ocaklarda kullanılmaya başlandı. Kollu kesiciler ve elmas tel kesme makinalarıyla yerinde kesilen blok kütlelerinin ana kütlede ayrılmaları için 1980 ve 1990'lı yıllarda titano olarak tanımlanan hidrolik pistonlar ve ekskavatörlerin bomları kullanılırken zaman içerisinde su yastıkları ve hidrolik ekskavatörlerin bomuna takılan çeşitli ataşmanlarla ana kütlede ayırma ve devirme işlemleri yapılmaktadır.

Devrilen bloklardan mermer işleme fabrikalarında bulunan katrakt ve ST makinalarında kullanılacak boyutlarda blokların kesilmesi gerekmektedir. Bu amaçla devrilen kütleler önceleri yükleyiciler yardımıyla tesviye edildikten sonra üzerine 1 veya 2 işçi çıkıp martopikörler ile sıralı delikler delmekte ve daha sonra kamalama yöntemiyle düzensiz kısımlar ana kütlede ayrılarak düzgün geometrik yapıda bloklar oluşturulmaktaydı. Bu işlemde sonra kenarları delinen deliklerden dolayı girintili çıkıntılı şekilde pürüzlü olan yüzeyler külünkleme diye tanımlanan çekiçleme işlemiyle pürüzlülükleri kırılarak düzeltilmekte ve oluşturulan bloklar bundan sonra satışa sunulmaktaydı. Oysa günümüzde ana kütlede devrilen bloklar elmas tel kesme işlemleri, mono tellerle ve/veya kollu kesicilerle daha küçük (katrakt ve ST'ler için) boyutlarda sayılanmakta olup daha kısa sürede, daha ekonomik ve daha düzgün geometrik boyutlara getirilmektedir.

Gerek yerinde blok kesim işlemlerinde gerekse devrilen blokların daha küçük bloklara ayrılması işlemi olarak tanımlanan sayalama işlemlerinde kullanılan elmas tel kesme makinalarının kesim işlemlerinde su kullanılarak kesim yapılmaktadır. Kollu kesicilerde ise su kullanılmamakla beraber kesim esnasında solunabilir nitelikte ve çevresel kirlilik yaratacak şekilde toz da oluşmamaktadır.

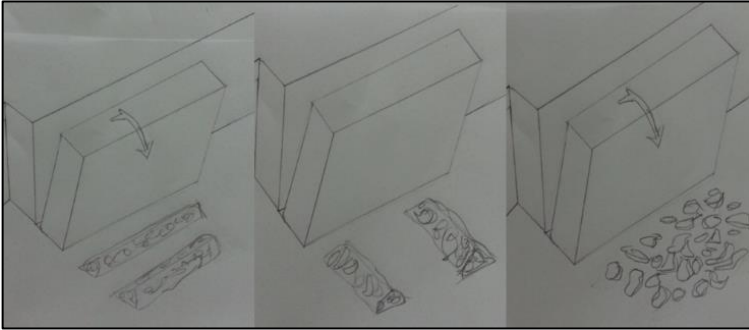
4. ARTIKLARIN DEPOLAMA/DÖKÜM İŞLEMLERİ VE ARTIK OLUŞUMUNUN ÖNLENMESİ

Doğal taş işletmelerinde ekonomik değeri olmayan iri düzensiz blok parçaları ve diğer kaya parçaları pasa olarak tanımlanmakta ve ruhsat sahası içinde ocağa en yakın bir alanda depolanmaktadır. Depolama işleminde sökümle esnasında ve sayalama işlemleri sonrasında açığa çıkan kayaç parçaları boyut farklılıkları gözetilmeksizin pasa döküm sahasına dökülmektedir.

Aynı ruhsat veya farklı ruhsatlı sahalarda bulunan belirli bir mesafede olmak kaydıyla ocak/lardan çıkan pasalar, altında ekonomik değeri olmayan (blok alınamayacak) alanlar belirlenmeli ve ortak pasa döküm alanı oluşturulmalıdır. Bugün Türkiye’de özellikle kireçtaşı (bej) ocaklarında ocak genel blok alma verimi ortalama %5 dolayında olduğu dikkate alındığında bir doğal taş ocağında açılan açıklığın %95 oranında pasa olduğu ve bir yerde depolandığı düşünüldüğünde çok fazla pasa döküm sahasına ihtiyaç olduğu ve bunun da çevresel açıdan kirlilik yarattığı ve buna bağlı olarak toplumda dikkat çekmektedir. Bu nedenle titiz ve detaylı çalışmalar sonucunda belirli mesafelerde faaliyet gösteren ocakların pasalarının dökümü için ortak bir pasa döküm sahasının belirlenmesi uygulamalarına geçilebilecektir.

Kütle söküm işlemleri esnasında farklı tiplerde yastıklamalar yapılmaktadır (Şekil 4). Yastıklama işleminde söküm yüzeyine dik, paralel ve dağınık /yayvan) şekilde yastıklamalar yapılmaktadır. Dik

ve paralel şekilde yapılan yastıklamalar üçgen şeklinde olmakta ve bu üçgenlerin üst sırt kısımları bir mesnet gibi çalışmaktadırlar. Üstelik bu yığınların içinde 40-50 cm gibi boyutlarda kaya parçalarının da bulunması (Şekil 5-6) durumunda bu kaya parçaları kendi üzerine düşen kütle bloğa karşı dinamik olarak enerjiyi geri yansıtmakta ve yapılan bu yanlış yastıklama işlemleri sonucunda söküm yapılan blok gereğinden fazla parçalara ayrılmaktadır. Bu da sökümün ve genelde de ocağın blok alma verimini düşürmektedir. Söküm bloğunun önüne yayılı olarak konacak kaya blokları veya hiçbir yastıklama yapılmadan yapılan söküm işlemleri sonucu blok alma verimi düşük olacak ve sökümün oldukça yüksek orandaki bölümü pasa döküm sahasına dökülmektedir. Çoğunlukla düzgün geometrik yapısı olmayan iri kaya blok parçaları yükleyicilerle kamyonlara rahatlıkla yüklenebilmesi için ekskavatörlerin bomuna takılan hidrolik kırıcılarla kırılmakta ve zamana bağlı olarak gelişen teknolojilere bağlı olarak başka bir sektörde hammadde veya ürün malzeme ihtiyacını karşılamak üzere ekonomiklik yitirmiş olmaktadır. Söküm blok kütleinin önüne yayılı bir vaziyette toprak yığılması durumunda (Şekil 7) bu toprak malzemeler yastık olarak davranış göstererek devrilen bloğun enerjisini direk kayaya iletmeyecek sağlam ve yüksel söküm verileriyle blok alınabilecektir.



Şekil 4. Blok kütleinin yıkımındaki yastıklama tipleri



Şekil 5. Uygulamadaki bazı yastıklamalı ve yastıklamasız sökümüleri



Şekil 6. Söküm yapılacak kütle (dilimin) önüne yapılan yastıklama malzemelerinin durumu

Doğal taş ocaklarında pasa oluşumunu azaltmak ve ocaklarda blok verimliliğini arttırmak için aşağıda verilen öneriler mutlaka dikkate alınarak, tartışılarak uygulamaya geçilmelidir.

- Ocağın jeolojik süreksizlikleri dikkate alınarak üretim kademelerindeki basamak yükseklikleri birçok işletmede olduğu gibi mevcut basamak yükseklikleri 7-8 m uygulamasından en kısa



Şekil 7. Toprak ve yayılı şekilde yapılan yastıklı sökülme uygulamaları

- sürede vazgeçilmeli ve 3-4 m gibi yüksekliklerde üretim kademeleri oluşturulmalıdır. Böylece sökülme (devrilme) sonrası kütle çubuk gibi yıkılmadan ziyade kübik bir yıkımla gereğinden fazla parçalanmaların önüne geçilecektir.
- Dilimleme (aynaya paralel) işlemlerinde dilim uzunlukları işletmenin basamak geometrileri el verdiği sürece olabildiğince uzun seçilmelidir.

- Dilimlerin yıkımı için oluşturulan ara dilim uzunlukları (aynaya paralel oluşturulan dilimlere dik kesim ile oluşturulan kesim uzunluğu) süreksizlikler göz önünde bulundurularak kısa tutulmalıdır.
- Dilimlemeler ve bu dilimlere dik yönde kesilerek oluşturulan bu paket kütleler su yastıkları veya hidrolik ekskavatörlerin yardımcı ekipmanları (riper, panter vb.) ile ana kütlede acele etmeden itinayla ayrılmalı ve devirme işlemlerinde mutlaka toprak yastıklama kullanılmalıdır. Böylece toprak yastıklama, üzerine düşen kütlenin kuvvetini sönmeyecek ve kütlenin dağılmasına engel olunacaktır.
- Yastıklama malzemesinin içinde iri kaya/taş parçaları kesinlikle olmamalıdır. Aksi halde bu parçalar mesnet görevi görecek ve devrilen kütlede daha fazla parçalanmalara neden olacaktır.
- Yastıklama işlemi, devrilecek olan blok kütlenin boyutlarına (yükseklik ve en) bağlı olarak aynadan belli mesafede ve kütlenin devrilirken sahip olduğu enerjiyi sönmeyecek şekilde rampalı bir şekilde yapılmalıdır.
- Yastıklama işlemlerinde yaygın bir yastıklama yapılmalı, kesikli veya ondülasyonlu serimden kaçınılmalıdır. Aksi halde ondülasyonun tepe kısımları mesnet gibi çalışacağından yıkılan kütlenin gereğinden fazla parçalanmasına neden olacaktır.
- Yerinde kütle blok söküm işlemlerinde söküm bloğunun uzunluğuna göre 1, 2 veya 3 adet loader (yükleyici) veya ekskavatör aynı anda söküm işlemini birlikte yapmalıdır. Böylece kütleyle uygulanan kuvvet tek noktadan değil daha yayılı olarak birkaç noktadan yükü eşit ve yayılı olarak dağıtması sağlanacaktır. Böylece yıkım daha kolay ve verimli olacağı gibi yıkım (devrilme) sonrası kütlede parçalanmalar daha az olacaktır.
- Devrilen blok kütlelerinden blok alınamayacak büyüklükte ve moloz olarak da ekonomik işlev görmeyecek kütleler kesinlikle

hidrolik kırıcılarla kırılarak daha küçük boyutlara parçalanmamalıdır. Bu parçalar ayrı bir pasa döküm alanında depolanmalı veya yığılmalıdır. Teknolojinin gelişimine bağlı olarak bugün pasa olarak nitelenen bu kaya blokları yıllar sonra bir ham madde olarak kullanılabilme potansiyeline sahip olduğu unutulmamalıdır.

- Sayalama işlemleri sonucunda arta kalan parçalar kesinlikle hidrolik kırıcılarla kırılarak daha küçük boyutlara parçalanmamalıdır. Bu parçalar da blok kütle devrilmesi sonrasında oluşan iri parçalarla birlikte aynı pasa döküm alanında depolanmalı veya yığılmalıdır.

5. ARTIKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yukarıda verilen artıkların oluşumu, dökümü ve artık oluşumunun önlenmesi hususlarında yapılan ve yapılması gereken işlemler sonucu oluşan doğal taş artıkları günümüzde birçok sektörde kullanım alanı bulmaktadır. Gelecekte de teknolojideki gelişmeler bağlı olarak yeni kullanım alanları bulma potansiyeline sahiptir. Milyonlarca yılda oluşan doğal taşların artıkları da heba edilmemelidir. Bir daha bu oluşumun mümkün olamayacağını bilme bilinciyle hareket edildiğinde şu an için ekonomik bir değer yaratmayan bu artıklar gelecekte bir rezerv olarak değerlendirilebileceği unutulmamalı ve bu bilinçle depolanma işlemlerine özen gösterilmelidir.

Bugün özellikle bej olarak tanımlanan kireçtaşı olan doğal taş ocaklarının artıkları birçok sektörde kullanılmaktadır. Başlıcalarını sıralayacak olursak;

- Mevcut paşaların içinden tekleme veya tavuklama olarak tanımlanabilecek şekilde iri kayaç parçaları ayıklanmakta, kamyonlara yüklenmekte ve hemen pasa yakınına kurulmuş olan mobil kırma tesisleri ile mıcır boyutuna getirilmektedir. Mobil

kırıcılarda kırılan malzeme eleklerle aynı yerde elenerek sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırılan malzemeler;

- Hazır beton santrallerine götürülerek agrega olarak kullanılmaktadır.
- Asfalt şantiyelerine verilerek asfalt içine konan kırma taş olarak kullanılmaktadır.
- Yollarda stabilize malzemesi olarak kullanılabilir.
- Karayollarının alt yapı işlerinde dolgu malzemesi olarak kullanıla bilinmektedir.
- Bölgedeki yerleşim alanları varsa burada taşkın koruma amaçlı yapılan çalışmalarda kullanılmaktadır.
- Taşkın önleme amaçlı, sulama amaçlı ve enerji üretme amaçlı yapılan barajlarda dolgu malzemesi ve/veya rap rap malzemesi olarak kullanıla bilinmektedir.
- Yerleşim yerlerinde bulunan dere islah çalışmalarında dere yatağının yan yamaçlarına toprak aşınmasını önlemek amaçlı kullanıla bilinmektedir.

Doğal taş ocak işletme artıklarının kullanım potansiyeli olan bu alanların dışında ve literatürde yer alan birçok endüstride de kullanım alanı bulabilmektedir. Aynı şekilde, mermer işleme fabrikalarının ince tane boyutundaki artıkları ve parça niteliğindeki artıkları da literatürde de verilen birçok sektörde kullanılmaktadır. Ancak artıkların miktarlarının çok fazla olması ve kullanım alanlarına her zaman ekonomik olacak şekilde taşıma mesafesinde olamamaları bu artıkların diğer sektör veya endüstriyel alanlarda kullanımını sınırlamaktadır.

6. SONUÇ

Doğal taş işletmeleri üretim yöntemini belirlemeden ve üretime geçmeden önce arama ruhsatlı aşamadayken ruhsat sahasının içinde

hiçbir bilimsel veriye veya araştırmaya/projeye dayanmadan gelişi güzel araştırma/üretim amaçlı deneme kesimleri yapılmamalıdır. Bu kesimler hem görsel açıdan tepkileri çekmekte hem de gerek ekonomik gerekse zaman ve emek kaybına neden olmaktadır. Ayrıca, gereksiz yere pasa oluşumuna da neden olmaktadır. O nedenle bilimsel ve AR-GE bazlı çalışmaların mutlaka yapılması gerekmektedir. Önümüzdeki yıllarda, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesinde oluşturulan UMREK sisteminin uygulaması aşamasında işletmelerden söz konusu ruhsatlı sahalarda rezerv miktarı ve dağılımına ilişkin proje yaptırılmasının istenmesi kaçınılmaz olacaktır. Bu projeler sonucu ruhsatlı sahanın neresinde, ne kadar ve hangi yayılımda blok mermer çıkarılabileceği ve nerede gerek jeolojik gerekse ekonomik açıdan rezervin olmadığı alanların belirlenmesi ve pasa döküm alanlarının da ekonomik değeri olmayan bu alanlar içinde oluşturmaları istenebilecektir. Bu nedenle mevcut rezervlerin en uygun ve doğru metodlarla en yüksek verimde çıkarılması kaçınılmaz bir noktaya gelecektir.

Bu çalışmada, doğal taş üretiminde yapılan bazı yanlışlıklar ve bu yanlışlıkların yapılmaması ve doğal taş ocaklarında blok verimliliğinin artırılması için bazı önerilerde bulunulmuş ve nedenleri tartışılmıştır. Milyonlarca yılda oluşan bu doğal zenginlikler doğru üretim metodları ve uygun teknolojik ekipmanlarla yapılmalıdır. Bu çıkarılan doğal zenginliklerin yerini bir daha başka bir doğal maden zenginliği almayacaktır. O nedenle mutlaka verimliliği arttıracak ve pasa oluşumunu azaltacak yöntemler tartışılmalı ve uygulamaya geçilmelidir.

KAYNAKLAR

Altındağ, R., 2016, Türkiye doğal taş sektöründe fırsatlar ve tehditler, *Tourquise Dergisi*, 234-237.

DPT, 1995, Doğal taş sektör raporu, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), Ankara.

İmib,2017, <http://www.imib.org.tr/tr/istatistikler-2/>

MİGEM, 2015, Doğal Taş-Mermer, s.109, Ankara.

MTA, 1966, TŸrkiye mermer envanteri, *MTA EnstitŸsŸ*, Yayın No: 134, Ankara.

TCEB, 2017, Dış ekonomik ilişkiler kurulu, İnan Ÿlke bŸlteni, Ekim 2017.

TUİK, 2017, 2016 yılı istatistikleri, TŸrkiye İstatistik Kurumu, Ankara.

UMREK, 2017, Enerji Bakanlığı, <http://www.umrek.com.tr/index.php>

SÜRDÜRÜLEBİLİR MADENCİLİK BAĞLAMINDA MERMER SANAYİ VE MERMER ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Duran KOCABAĞ

Ado Madencilik A.Ş.

E-posta: dkocabag@yahoo.com.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde bütün dünyada küresel ısınma ve bunun olası sonuçlarıyla ilgili algının güçlenmesi ve çevre konularına duyarlılığın artmasına bağlı olarak madencilikle ilgili projeler toplum gündemine çok daha sık geliyor. Belli toplumsal kesimler, Sivil Toplum Örgütleri ve Sosyal guruplar, çoğu durumda bir genelleme olarak bu projelere karşı çıkıyorlar. Öbür yandan proje sahibi kurumlar da, gerek çevre halkı gerekse çevreci hareketlerle fazla yüz yüze gelmeden, ÇED ve benzeri izin süreçlerini bir an önce tamamlayarak yatırım sürecini başlatmak istiyorlar. Devletlerin alacağı pozisyon ise, öncelikle ekonomik kaygılarla madenin işletilmesi yönünde olurken, halka ve çevreci harekete karşı tavırları, devletin niteliğine ve devlet ve toplum arasındaki iletişim kültürünün içeriğine ve karşılıklı güvenin seviyesine göre değişiyor.

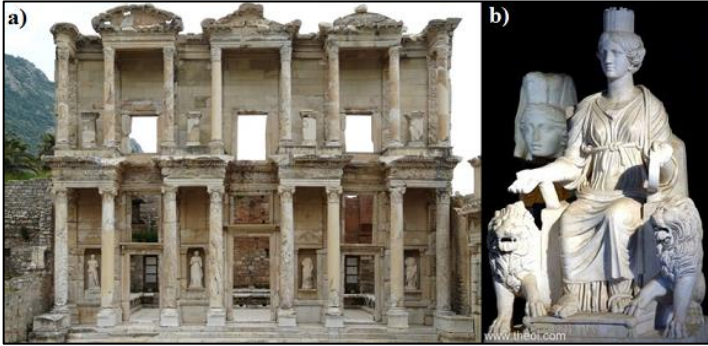
İnsanlığın medeniyet inşası yolundaki evrimi aslında madencilikle başlar. Bu gün tarihsel insanın ilk bilinçli üretken eylemini Yontma taş devri, Cilalı taş devri vb. olarak kayda geçiriyoruz. Yani insanın, o gün üretim araçları olan taş aletleri üretmesi: uygun nitelikte taşın bulunması, çıkarılması ve işlenerek uygun üretim araçlarına, taş baltaya, ok ucuna, kesici alete vb. dönüştürülmesi. Daha sonra tarih bakır çağı, Tunç çağı, demir çağı gibi yine Homo sapiensin cevherini çıkarıp işleyip şekillendirebildiği metallere tanımlanmaya devam ediliyor. Bu aşamalardan her biri de, daha etkin üretim araçları üretebilmesini sağlayarak insanı bir ileri aşamaya taşıyor. Bu gelişme süreci, 18. Yüzyıl Sanayi devrimi sonrası hem nicelik, hem de nitelik olarak çok daha hızlandı. Günümüzde ise, var oluşun normaline döndü. Bu gün, sahip olduğumuz şeylerin çeşidi ve miktarı o kadar arttı ki, sahip olduklarımızın asıl kaynağını unuttur olduk. Artık neredeyse ekmeğe sahip olmak için fırına, domates için manava, çelik tencere için AVM deki mağazaya, otomobil için de sadece Show Room a gitmenin yeterli olacağına, akıllı telefonun telefon firmaları tarafından pişirildiğine inanır hale geleceğiz.

1.1 Maden Nedir?

Farklı kanunların kapsamına ve söz konusu endüstriyel sektöre göre farklı tanımlar sunulabilirse de, yer kabuğundan farklı yöntemlerle çıkarılan ve insanlar için pratik ve ekonomik bir değeri olan her madde aslında bir madendir. Onun için GSMH içinde maden sektörünün payı %2,5 vb. ifadelerin, madenciliğin toplumsal yaşamımızdaki yerini anlama açısından pek bir anlamı yoktur. Çünkü Çimento sektörü, Cam Sektörü, Demir Çelik Sektörü, İnşaat sektörü, Her türlü Metal sektörü, Plastik Sektörü vb. aklınıza hangi sektör gelirse gelsin, bunlardan hiç birinin kaynağında madencilik olmadan olması imkânsızdır. Hepsinin ilk maddesi bir şekilde yer kabuğundan çıkarılıyor. Yani madencilik olmadan ne oturduğumuz evimizin, binalarımızın, ne yollarımızın, ne

arabamızın, ne akıllı telefonumuzun, televizyonumuzun, uçağımızın vb. aklınıza ne gelirse, olması mümkün değildir. Kısacası madencilik olmadan bu günkü medeniyetimizin olması imkânsızdır.

Madencilik medeniyetimizin yapıcısı, temeli olduğu gibi, onun bir parçası olan mermercilik ve mermerde, bilhassa Anadolu'muz için önemli bir yapı malzemesi olmaktan öte inancı ve yaşamı ifade etmenin bir aracı olmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Anadolu'da Mermer bir malzemeden öte kültürel miras ve manadır: **a)** Efes antik kütüphanesi, **b)** Ana tanrıça Kibele , <https://www.metmuseum.org/toah/works-of-art/22.139.24/> , (30.11.2017)

2. SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA VE MADENCİLİK

Eğer madencilik bu kadar önemliyse, iklim değişimi konusunu boş verip, çevre konularını önemsiz sayıp, her durumda her madeni çıkarmalı mıyız, ya da çıkarabiliriz mi diyeceğiz?

Sanayi devrimi sonrası devrimin öznesi olan insanlık, insanın doğanın hâkimi olduğunu, doğayı istediği gibi kullanabileceğini düşündü. Çevre sorunu diye bir konu pek aklına gelmedi. Doğanın kaynakları sınırsızdı ve gelişen teknolojinin de katkısıyla insan doğayı istediği gibi kullanabilecekti. Fakat 20.YY ın ortalarına doğru

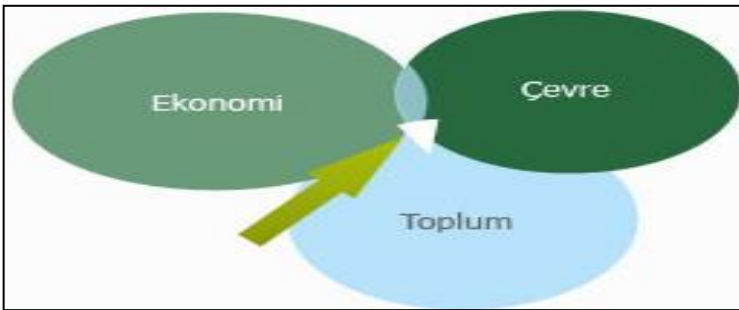
gelindiği zaman, bunun pek öyle olmadığı anlaşılmaya başlandı. Doğada kaynakların bitme riski olduğu gibi, doğaya verilen tahribatın ve bırakılan kirliliğin de sadece doğa için değil, bizzat kirliliği yaratan insanın kendisi için de tehlikeli olabileceği fark edilmeye başlandı: Ormanlar ölüyor, sular kirleniyor, kirli hava sanayi devriminin menşei İngiltere'nin merkezi Londra da insanları öldürüyordu (1,2).

Kalkınma ile çevre arasında negatif bir ilişkinin olabileceğinin, doğanın çevresel kirliliği hazmedebilmesinin belli bir sınırı olduğunun ve çevredeki bozulmanın dönüp bizzat insanın kendisine zarar verebileceğinin fark edilmesi, öncelikle birleşmiş Milletler(BM) ve bağlı kurumları öncülüğünde birçok araştırma ve toplantının yapılmasını sağladı. Bu süreçte, sanayileşmenin Dünya üzerindeki etkisinin, yerelden öte küresel ölçekte olduğunun anlaşılması ve bilhassa sera gazı emisyonlarının Dünya iklimi üzerindeki etkileri ve küresel ısınma sonucu kutup buzlarının erimesi riski ve buna bağlı olarak deniz seviyesinin yükselmesi neticesi dünyada önemli yerleşim alanlarının su altında kalma olasılığı, bütün dünyada her konumdaki insan için bir kaygı unsuru haline geldi: Artık sanayileşme sembolleri olarak tüten bacalar, kirli akan çaylar ve dumanlı şehirler istenmiyor.

Bu farkındalık insanlığı bu güne kadar uygulana gelen kalkınma modeli dışında farklı bir kalkınma modelinin mümkün olup olmadığını araştırmaya yöneltti. Bu bağlamda birçok toplantı yapıldı. Uluslararası anlaşmalar imzalandı. Bu anlaşmalar, günlük hayatta bizlere pek yansımaya ve ölkemizde kamuoyu önünde pek tartışılmasa da, Türkiye bu anlaşmaların birçoğunda imzacı taraf durumunda. Bunlardan en son imzalananlardan ve çok önemli olanlarından biri de, 2015 de Paris'te toplanan, 196 ölkenin katıldığı İklim Değişikliği Sözleşmesi. Bu sözleşmeye göre küresel ısınmayı Sanayi devrimi öncesine göre en fazla 2 °C artışta tutabilmek için karbon emisyonunu azaltma konusunda ölkelerin taahhütleri var(3).

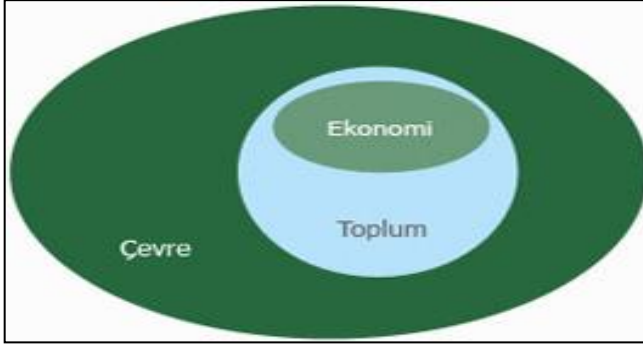
Dünyadaki bu yeni arayış sürecinde gelişen en temel ilkesel yaklaşımlardan biri sürdürülebilir Kalkınma(Sustainable Development) ilkesi oldu. Kavram ilk defa 1987 yılında BM Çevre ve Kalkınma Komisyonu(WCED) tarafından Norveç başbakanlarından Gro Harlem Brundtland'a hazırlatılan “Ortak Geleceğimiz- Our Common Future” raporunda ifade edildi. Raporda çevrenin korunmasıyla kalkınma arasındaki bağlantıya vurgu yapılmış ve uluslararası düzeydeki çevresel sorunların önemi farklı açılardan değerlendirilmiştir. Değişmenin ve yeni bir küresel etik anlayışının yalnızca gerekli değil; günün insan kaynağı, teknolojisi ve kaynakları ile aynı zamanda mümkün olduğu belirtilmektedir. Raporda belirtilen temel olgu, çevre ile ekonomik sorunların birbiriyle ilişkili olduğu ve insanların ihtiyaçlarının karşılanmasında doğal kaynakların korunması gerektiğidir. Bu noktada sürdürülebilir Kalkınma Stratejisi önerilmiş olup, buna göre Sürdürülebilir Kalkınma , “ Bu günün ihtiyaçlarını gelecek nesillerin de kendi gereksinimlerini karşılayabilmelerinden ödün vermeden karşılayarak kalkınmak” olarak tanımlanmıştır.

Bu tanımda sürdürülebilir kalkınma modeli, üç unsurun ayrılmaz bütünlüğünden oluşmaktadır: Ekonomi, Çevre ve toplum (Şekil 2).



Şekil 2. Sürdürülebilir kalkınmanın unsurları

Ayrıca ekonomi ve toplum her ne kadar önemli olsalar da, aslında bunları kuşatan çevrenin, ekolojik sistemin parçaları, alt sistemleri olduklarına ve varlıklarını devam ettirebilmeleri için ekolojik sistemle uyum içinde olmaları gereğine işaret edilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Ekonomik ve Toplumsal sistemler ekolojik sistemin alt sistemleridir.

Sürdürülebilir kalkınma paradigması, çevresel duyarlılığın ve yükümlülüklerin yanında Kurumsal Sosyal sorumluluğu, kurumsal vatandaşlığı da(Corporate citizenship) gerektirmektedir. Kurumsal Sosyal sorumluluk(KSS), TİSK(Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu) tarafından ” Paydaşların toplumsal ve çevresel beklentilerine cevap veren veya bu beklentileri fazlasıyla karşılayan işletme faaliyetlerinde, bir şirketin gönüllü olarak benimsediği davranışlar ve ilkelerdir” olarak tanımlanmıştır (5). KSS, AB tarafından ise, “işletmelerin toplum üzerinde bırakacakları etkilere yönelik yerine getirmeleri gereken sorumluluklardır. Yürürlükteki mevzuata ve toplu sözleşmelere saygı göstermek, bu sorumluluğu yerine getirmenin bir ön koşuludur. İşletmeler kurumsal sosyal sorumluluğunu layıkıyla yerine getirebilmek için paydaşlarıyla işbirliği yaparak toplumsal, çevresel ve ahlaki konuların yanı sıra

insan hakları ve tüketiciyle ilgili hususları da işletme faaliyetlerine ve temel stratejilerine dâhil etmelidirler. Bunun amacı;

- Şirket sahipleri/hissedarları, diğer paydaşlar ve toplum için ortak bir değer oluşturulmasını sağlamak;
- İşletmelerin toplum üzerinde yaratacakları olumsuz etkileri tespit etmek, önlemek ve azaltmaktır.

Bu sürecin karmaşıklığı, işletmenin büyüklüğüne ve faaliyet alanının niteliğine göre değişkenlik göstermektedir. Mikro işletmeler başta olmak üzere, küçük ve orta büyüklükteki işletmeler için KSS süreci muhtemelen gayri resmi bir düzeyde kalacak ve sağduyuyla uygulanacaktır” şeklinde ifade edilmiştir (6)

1970 lerden bu yana, öncelikle BM öncülüğünde yapılan birçok uluslararası toplantı ve imzalanan anlaşmalar sonucu artık bu gün dünyada Sürdürülebilir Kalkınma anlayışı ve buna bağlı olarak çevrenin korunması ve kurumların sosyal sorumluluğu temel anlayış haline gelmektedir (7).

İş hayatı ve şirketler olmadan ekonomik kalkınma ve toplumsal yaşam olmayacağına göre şirketlerin sürdürülebilir Kalkınma anlayışını benimsemeleri, hem küresel hem de ulusal ölçekte çok önemlidir. Onun için BM öncülüğünde birçok girişime paralel olarak 2000 yılında şirketlerin gönüllü katılımını amaçlayan BM Küresel İlkeler Sözleşmesi (UN Global Compact-GC) oluşturulmuştur (8,9).

GC, şirketlerin gönüllü katılımını gerektiren bir platform olup, sorumlu ve sürdürülebilir şirket politikaları ve pratiklerinin geliştirilmesi, uygulanması ve toplumla paylaşılmasını amaçlar. Çalışmalarında evrensel değerleri temel alan 4 ana başlık altında 10 ilkeyi kılavuz edinir (Çizelge 1):

Çizelge 1. BM Küresel İlkeler Sözleşmesinin İlkeleri

İnsan Hakları
İlke 1: İşletme/İş dünyası, ilan edilmiş insan haklarını desteklemeli ve haklara saygı duymalı.
İlke 2: İşletme/İş dünyası, insan hakları ihlallerinin suç ortağı olmamalı.
Çalışma Standartları
İlke 3: İşletme/İş dünyası, çalışanların sendikalaşma ve toplu müzakere özgürlüğünü desteklemeli.
İlke 4: Zorla ve zorunlu işçi çalıştırma uygulamasına son verilmeli.
İlke 5: Her türlü çocuk işçi çalıştırılmasına son verilmeli.
İlke 6: İşe alım ve işe yerleştirmede ayrımcılığa son verilmeli.
Çevre
İlke 7: İşletme/İş dünyası, çevre sorunlarına karşı ihtiyati yaklaşımları desteklemeli.
İlke 8: Çevresel sorumluluğu arttıracak her türlü faaliyete ve oluşuma destek vermeli.
İlke 9: Çevre dostu teknolojilerin gelişmesini ve yaygınlaşmasını desteklemeli.
Yolsuzlukla Mücadele
İlke 10: İşletme/ İş dünyası, rüşvet ve haraç dahil her türlü yolsuzlukla savaşmalı.

Global Compact Türkiye’de de faal olup 251 firma/kuruluş katılımcı durumundadır, <http://www.globalcompactturkiye.org/> (28.11.2017).

2.1 Sürdürülebilir Madencilik

Sürdürülebilir Kalkınma ve GC ilkeleri doğrultusunda Dünyada madencilik sektöründe de sorumlu kuruluşlar ve firmalar, sürdürülebilir madencilik ilkelerini oluşturma ve uygulama konusunda örgütlü çalışma başlattılar. 2001 yılında Uluslararası Madencilik ve Metal Konseyi(The International Council on Mining and Metals-ICMM) kuruldu. ICMM ye dünyanın en önemli 25 madencilik firması ve madenciliğin farklı alanlarında faaliyet gösteren firmaları kapsayan

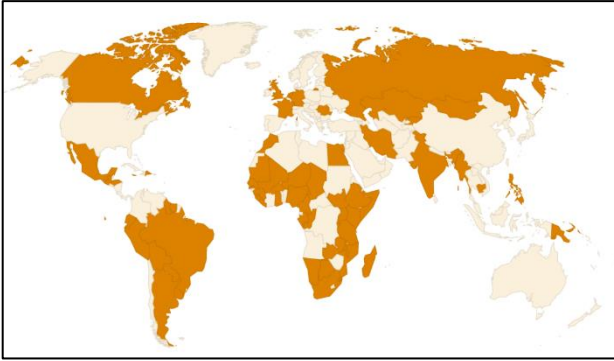
30 birlik üye durumunda (<https://www.icmm.com/en-gb/members>, 28.11.2017). ICMM, üyeleri için GC ın temel ilkeleri paralelinde sürdürülebilir Madencilik İlkeleri (Çizelge 2) yayınlamıştır(10).Üye firmalar, Sürdürülebilir madencilik konusundaki faaliyetlerini Küresel Raporlama G3(Global Reporting G3) e göre kamuoyuyla paylaşmak zorunda oldukları gibi, dış denetime de açık olmak zorundadırlar.

Çizelge 2. ICMM Sürdürülebilir Gelişme /Madencilik Prensipleri

1. Etik iş pratikleri ve muteber şirket yönetim sistemi uygula ve muhafaza et
2. Sürdürülebilir gelişme etkenlerini şirket karar alma süreçlerine dâhil et
3. Temel insan haklarını destekle ve çalışanlarla ve çalışmalarımızdan etkilenen başkalarıyla ilişki yürütürken kültürleri, gelenekleri ve değerleri destekle.
4. Geçerli veri ve güvenilir bilime dayalı risk yönetim stratejileri uygula
5. Sağlık ve güvenlik performansımızın sürekli gelişimi için çalış
6. Çevre performansımızın sürekli gelişimi için çalış
7. Biyolojik çeşitliliğin korunması ve arazi kullanımı planlamasına entegre yaklaşımlara katkıda bulun
8. Ürünlerimizin, sorumlu ürün tasarımına, kullanımına, tekrar kullanımına, geri dönüşümüne ve bertarafına imkân sağla ve teşvik et
9. İçinde faaliyet gösterdiğimiz toplumların sosyal, ekonomik ve kurumsal gelişimlerine katkıda bulun
10. Paydaşlarla etkin ve şeffaf sözleşme, iletişim ve bağımsız (tarafarca) doğrulanan raporlama düzenlemeleri uygula

2002 yılında Johannesburg da yapılan Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi sonrası, Madencilğin ekonomileri için önemli olduğunu düşünen ülkeler tarafından Madencilik, Mineraller ve Metaller ve Sürdürülebilir Gelişme ile ilgili Devletlerarası

FORM(Intergovernmental Forum on Minin, Minerals and Metals and Sustainable Development-IGF) oluşturuldu. IGF, BM tarafından bir paydaş olarak tanınmış olup, üyeleri tarafından yönetilen, gönüllülük esasına dayalı bir işbirliği platformudur. 62 ülke üyesi durumundadır (Şekil 3) (<http://igfmining.org/members/> , 28.11.2017). IGF de, üye devletlerin madencilik kurumlarına kılavuz olmak üzere, madenin aranmasından, rezervin bitmesi sonrası tesisin kapatılması ve eski maden sahalarının rehabilitasyonu ve doğaya kazandırılması dâhil madenciliğin her aşamasında yapılması gerekenlerle ilgili ilkeler oluşturmuş olup (11), üye ülkeleri sürdürülebilir madencilik konusunda teşvik etmektedir.



Şekil 4. IGF Üyesi ülkeler: ■ Üye Ülkeler, □ Üye olmayanlar

Bu uluslararası platformların dışında birçok ulusal madencilik örgütü de üye firmaların uyması için sürdürülebilir Madencilikle ilgili kılavuzlar ve ilkeler hazırlamışlardır. Bunlar arasında Avustralya Mineral Konseyi'nin(Mineral Council of Australia) Sürekli Değerler Kılavuzu(Enduring Value Guidance)(12) ve Kanada Madencilik Odasının(Mining Association of Canada-MAC) Sürdürülebilir Madencilik İçin(Towards Sustainable Mining-TSM) İlkeler'ine(13) işaret edilebilir.

MAC'ın TSM girişimi, Tailing yönetimi, Enerji kullanımı ve sera gazı emisyonu yönetimi, Yerli halklar ve topluluklarla iletişim, Kriz yönetimi planlaması, Güvenlik ve Sağlık, Biyoçeşitliliğin korunması yönetimi ve Su gözetimi(water stewardship) konularında performans göstergelerine haizdir. Sürdürülebilir Madencilik geliştirmek için, firmaları bu göstergeler konusunda değerlendirmek için ölçütler oluşturulmuş olup, bu ölçütlere dayanarak değerlendirme kriterleriyle ilgili olarak, olumsuzdan olumluya doğru C – B- A – AA- AAA derecelerinde değerlendirme yapılmaktadır. TSM'nin en önemli yönü Şeffaf, hesap verebilir ve güvenilir olmasıdır. TSM, CAM üyeleri için mecburi olup, firmalar TSM ile ilgili çalışmalarını her yıl 23 kıstas üzerinden kamuoyuyla paylaşmak zorundadırlar.

TSM, Finlandiya madenciler Birliği (Finish Mining Association-FinnMin) ve Arjantin Maden Girişimcileri Odası(Argentina chamber of mining Entrepreneurs-CAEM) tarafından da adapte edilmiştir(14).

Birçoğu tamamen gönüllülük esasına dayansa da Sorumlu Sürdürülebilir Madencilikle ilgili çok çeşitli organizasyonlar tarafından hazırlanmış ilkeler ve standartlar mevcuttur(15). Bunlardan en önemlilerinden biri de, Sorumlu madencilik bir standarda bağlamak üzere madencilik insan haklarına ve etkilenen toplumların özelemlerine saygılı, güvenli, sağlıklı ve çalışanlarına saygılı, çevreye zararı önleyen veya en aza indiren ve geride olumlu miras bırakan iş yerlerinden oluşan bir sanayi kolu olmasını sağlamak üzere geliştirilen, Sorumlu Madencilik Standardıdır(Standard for Responsible Mining)(23). Şirketlerin Sosyal Sorumluluğunu tanımlamak için de ISO 26 000:2010 Sosyal Sorumluluk Standardı mevcuttur(24).

2.1.1 Sorumlu madencilik, ne yapmalı?

Tekrar Ortak Geleceğimiz raporundan sürdürülebilir Kalkınmanın tanımına dönersek, “Bu günün ihtiyaçlarını, gelecek nesillerin de kendi gereksinimlerini karşılayabilmelerinden ödün vermeden karşılayarak kalkınmak”, görürüz ki bu gün dünyada gördüğümüz her şey bize ait değil. Biz bir yerde gelecek nesiller adına emanetçiyiz. Bu, bilhassa madenler gibi yenilenemeyen kaynaklar için çok daha önemli bir husus. Artık yer küremizde kaynakların sonsuz olmadığını biliyoruz. Çevre kirliliği, sera gazı salınımı ve iklim değişimi gibi sorunlarımız olduğunu ve eğer kontrol edilemezse bu gelişmelerin dünyanın ve insanlığın geleceğini tehdit edebileceğini fark etmeye başladık. Yer küremizi kuşatan ve insanlar olarak bizlerin de parçası olduğu ekolojik sistemin bütün unsurlarının birbirine bağlı bir bütün olduğunu yavaş yavaş kavriyoruz. Artık Antalya da seraları hortum parçaladığı zaman veya büyük şehirlerimizi sular bastığı zaman, bunların büyük oranda iklim değişiminden kaynaklı olabileceğini düşünmeye başladık. İklim değişikliği gibi yer küremizin geleceğini etkileyecek her türlü olumsuz gelişmenin varsıllar ve yoksullar diye bir adres ayırımı yapmayacağı konusunda kuşukumuz olmasın.

İster altın madenciliği yapalım, isterse mermer ocağı işletelim, maden sektörü olarak yenilenemez kaynaklar üzerinde çalışan bir sektör olarak gelecek nesillere karşı belki de en büyük sorumluluğu taşıdığımızı anlamak ve çevre üzerinde, belki de en olumsuz etkileri oluşturan iş kolu olduğumuzu fark etmek durumundayız. Yukarıda Madencilik olmadan medeniyetin olamayacağı saptamasını yapmıştık. O zaman, madencilik yapmama gibi bir seçeneğimiz olmadığına göre ne yapacağız? Önümüzdeki soru “yapacak mıyız yapmayacak mıyız?” değil, “nasıl yapalım?” sorusudur: Birinci soru çatışmayı getirirken, ikinci soru çözümün, yeniliğin ve ilerlemenin yolunu açacaktır. Bu bağlamda sürdürülebilir Madencilik ilkelerinin ve yöntemlerinin artık

Ülkemiz madenciliğinin de yaşayan kültürü haline gelmesi bir zorunluluktur.

Sürdürülebilir Sorumlu Madencilik kültürü neleri içermelidir? Bunu, maden yataklarının, öncelikle madenin bulunduğu bölgede yaşayan halk ve toplumla uzlaşı ve uyum içinde, temin edilebilir en uygun ve iyi teknolojileri kullanarak aranması, bulunması ve çevreye ve su kaynaklarına en az olumsuz etkiye neden olacak şekilde işletilmesi; en az kayıpla işlenmesi, ürüne dönüştürülmesi, pazarlanması; bu süreçte çalışanların, hiçbir etnik, cinsel vb. ayrımcılık yapmadan sağlık ve güvenliğinin korunması; maden kaynağı bittikten sonra ilgili sahaların doğayla en az çelişecek ve evre ve su kaynakları üzerinde en az olumsuz etkiyi yapacak ve çevrede yaşayan insanların yaşamlarını gleştirmeyip, mümkün olduğunca toplumsal yarar için kullanılabilir şekilde, çevreye veya topluma herhangi bir ekstra maliyet getirmeden, rehabilite edilip doğaya kazandırılması olarak ifade edebiliriz.

Nobel dll Paul Krugman'ın ifade ettiği gibi “madencilik bir sosyal adalet sorunudur. Madencilik karları zelleştirirken maliyetleri sosyalleştirir”(15). Yer altı kaynaklarının sahibi toplum adına devlet gözükebilir ve bir mermer işletmecisi herhangi bir tepedeki mermer yatağı için devletten ruhsat alıp mermer işletmesi amayı isteyebilir. Ama nesiller boyu o tepede keçisini otlatan çobanın ve çevrede yaşayan toplumun haklarına da saygı göstermeyi bilmesi ve o toplumun da olurunun alarak, onlara, çevrelerine ve yaşam kaynaklarına zarar vermeden çalışması gerektiğini kabullenmesi gerekir. Bunun için gerekli teknik ve idari önlemleri almalı ve çalışmalarının sonuçlarıyla ilgili hesap verebilir durumda olmalıdır.

Dünyada artık sorumlu madencilik ne çıkıyor(16). Sadece devlet kaynaklı mevzuatla Sorumlu madencilik geliştirilemez. Madencilerin, firma sahiplerinin, çalışanların ve sektörün diğer

paydaşlarının, bilhassa yöneticilerin ve mühendislerin, bu konunun bir moda akımı değil insanlığın ve yer küremizin, dolayısıyla ülkemizin geleceği için bir zorunluluk olduğunu anlamaları ve inanmaları gerekir.

3. TÜRKİYE MERMER SEKTÖRÜ

Türkiye’de 5,2 milyar m³ (13,9 milyar ton) muhtemel mermer rezervi bulunduğu ifade edilmekte ve bunun, değişik kaynaklara göre dünya mermer rezervinin %33-40’ını temsil ettiği belirtilmektedir (18,19, 26). Görünür rezerv ise, bugünkü verilere göre 4 milyar m³ işletilebilir mermer, 2,8 milyar m³ işletilebilir traverten, 1 milyar m³ granit olarak verilmektedir(20). 80 in üzerinde değişik yapıda ve 120’nin üzerinde değişik renk ve desende mermer rezervinin varlığı ifade edilmektedir (21,22). Renk ve doku çeşidini 650 olarak ifade eden kaynaklar da vardır(20). Kısacası, ifadeler çok sağlıklı verilere dayanmıyor gibi gözükse de, ülkemiz mermer yönünden oldukça zengindir.

“Boyutlandırılmış Taş” olarak da tanımlanan mermer, bilimsel ve ticari anlamda iki şekilde tanımlanmaktadır (17):

Bilimsel anlamda; kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı vb. kayaçların, ısı ve basınç altında metamorfizmaya uğraması sonucunda yeniden kristalleşmesi ile oluşan metamorfik bir kayadır. Ana mineralojik bileşen kalsittir. Tali mineraller ise kuvars, hematit, pirit, klorit vb. olabilir. Renkleri genellikle beyaz ve gri olmakta ise de, tali mineralin türüne göre sarı, kırmızı, mor, yeşil, siyah vb. renkler alabilmektedir.

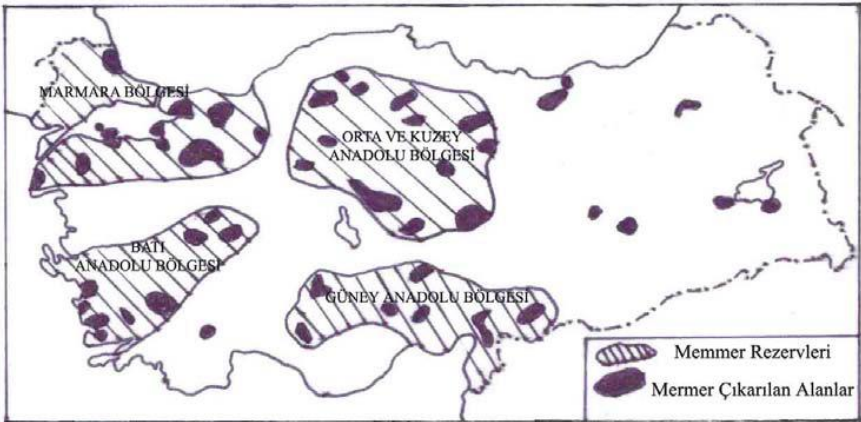
Ticari anlamda ise mermer; blok verebilen, kesilip işlenebilen, cilalandığında parlayan, dayanıklı her türlü kayadır. Kayacın cinsi ve içeriği ne olursa olsun, iyi cila kabul ettikleri takdirde mermer olarak kabul edilirler. Tektonik breş, traverten ve oniksler başta olmak üzere

granit, siyenit, diyabaz, gabro, andezit gibi kayalar da ticari olarak mermer kabul edilmektedirler.

Bunların dışında mermeri oluşturan minerallerin bileşimi ve oranları, minerallerin tane boyutları, yapı ve dokuları, kayaların oluşum şekli, ekonomik şartlar ve ticari Pazar ve taşın rengine göre de mermerler sınıflandırılabilir.

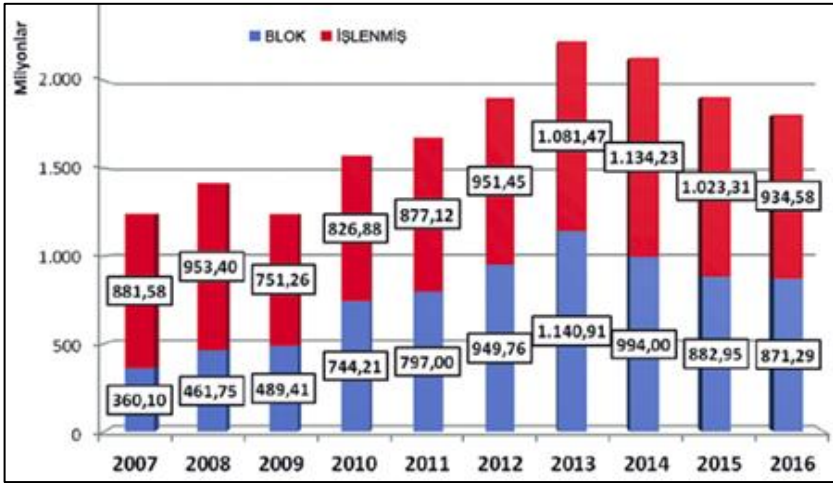
Türkiye’de mermer sektörü, bilhassa 1985 den sonra mermerin taşocağı kapsamında çıkarılıp maden kanunu kapsamına alınması ve işletmelerin ruhsat güvencesine kavuşturulmasıyla hızla gelişmiştir. Bu gün Türkiye, gerek üretim kapasitesi gerekse Pazar konumu açısından dünyada ilk bir kaç ülke arasındadır.

Türkiye’de mermer üretiminin yoğunlaştığı iller başta Balıkesir, Afyon, Bilecik, Muğla, Eskişehir, Denizli, Elazığ, Kayseri, Kırklareli, Bursa ve Diyarbakır, Adıyaman gibi illerdir. Türkiye’nin önemli mermer yataklarının bulunduğu yerler aşağıdaki haritada gösterilmiştir(Şekil 5)



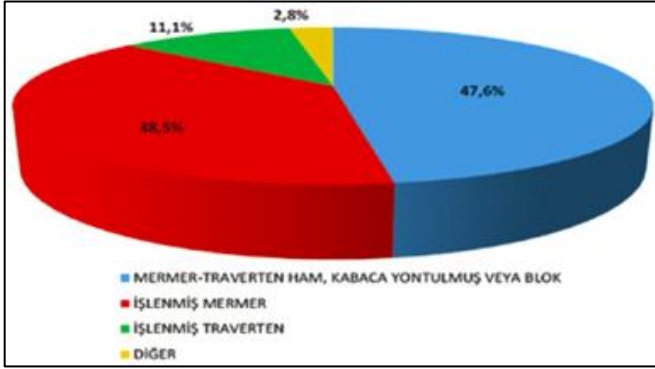
Şekil 5. Türkiye’nin önemli mermer bölgelerini gösterir harita(18)

İMMİB verilerine göre 2016 yılında blok mermer-traverten ihracatı, 4,36 milyon ton ve 860 milyon dolar ihracat değeri ile toplam maden ihracatımız içinde en fazla ihraç edilen ürün olurken, işlenmiş mermer 1,53 milyon ton ve 695 milyon dolarla ikinci, İşlenmiş Traverten 436 bin ton ve 199,7 milyon dolarla beşinci sırada yer almıştır(23). 2016 yılında doğal taş ihracatımız 2015 yılına göre miktarda %0,04, değerde de %5,26 oranında azalış kaydederek, 6,5 milyon ton karşılığı 1,8 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir. Aşağıdaki grafikte, son 10 yılda gerçekleşen doğal taş ihracatımız gösterilmektedir (Şekil 6).



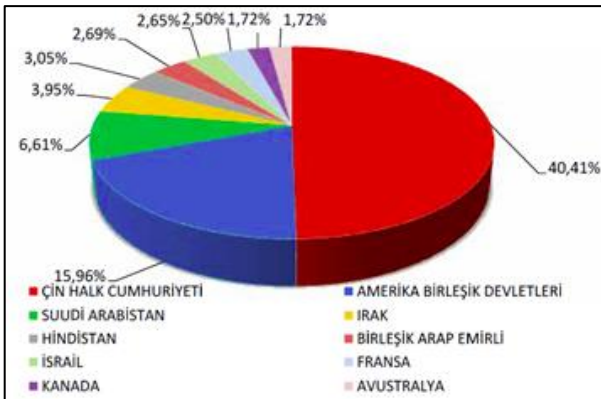
Şekil 6. 10 Yıllık Doğal Taş İhracatı (Milyon USD) –İMMİB 2016

Dünya doğal taş ticareti potansiyelinin büyük bir kısmını oluşturan işlenmiş ürünler, 2016 yılında doğal taş ihracatımızdan yaklaşık %51,75 pay alırken, blok ürünler %48,25 pay almıştır. 2016 Yılı Doğal Taş İhracatının Ürün Gruplarına Göre Dağılımı Şekil 7. da görülebilir.



Şekil 7. 2016 Yılı Doğal Taş İhracatının Ürün Gruplarına Göre Dağılımı (%) –İMMİB 2016

Söz konusu dönemde, doğal taş ihracatının yapıldığı ülkelerin başında 729 milyon dolarla Çin Halk Cumhuriyeti gelmektedir. Bu ülkeye olan ihracatımızda bir önceki yılın aynı dönemine oranla %0,33 oranında artış kaydedilmiştir. Çin’i sırasıyla 288 milyon dolarla ABD, 119 milyon dolarla Suudi Arabistan, 71 milyon dolarla Irak ve 55 milyon dolarla Hindistan izlemektedir. 2016 Yılında Doğal Taş İhracatında İlk 10 Ülke Grafik 3 den görülebilir.



Şekil 8. 2016 Yılında Doğal Taş İhracatında İlk 10 Ülke (%) –İMMİB 2016

Türkiye, gerek blok gerekse işlenmiş mermer üretiminde dünyanın ilk birkaç ülkesi arasındadır. Çizelge 8 ve 9 den görüleceği gibi blok mermerde en büyük üretici iken, işlenmiş mermerde en büyük rakipleri Çin Halk Cumhuriyeti ve İtalya'dır.(20,23). Mermer satış miktarları yönünden iyi bir konumda gözükmesine rağmen, birim satış fiyatları yönünden rakipleri karşısında aynı durumda olduğunu söylemek maalesef mümkün değildir)(Çizelge 10). Bu, sektörün ciddi bir pazarlama ve kalite sorunu olabileceğini göstermektedir. Pazardaki rekabet gücümüzün daha çok ucuz fiyata dayalı olduğunu düşündürmektedir.

Rakamlar çelişkili olmakla birlikte 2016 yılında sektörde 2560 adet mermer işletme izinli ruhsat sahası(mermer ocağı), 2000 kadar tesis ve orta ve küçük ölçekli 9000 atölyenin faaliyet gösterdiği belirtilmektedir(20,26).

Gerek kaliteyle ilgili sorunların gerekse uluslararası pazarda fiyat oluşturulamamasının en önemli nedenleri arasında aşağıdaki faktörlerin önemli olabileceği anlaşılmaktadır (27-30):

- Sektörün büyük oranda küçük ve orta boy işletmelerden oluşması,
- Sektöre giriş engellerinin düşük olması nedeniyle tecrübesiz girişimcilerin sektöre yatırım yapmaya yönelmesi,
- Firelerin yüksek olması nedeniyle maliyetlerin yüksek olması,
- Sektörde çalışan niteliğinin düşük olması,
- Yetersiz işletme sermayesi nedeniyle firmaların acil para gereksinimini karşılamak için günübirlik fiyat oluşturuyor olmaları,
- Sektörün AR-GE kapasitesinin düşük olması nedeniyle yeni ürünler geliştirilememesi sonucu, piyasada şirketlerin benzer ürünlerle var olması

- Fiyat konusunda firmalarımızın yurtdışı yabancı firmalarla rekabetten çok birbiriyle rekabet ediyor olmaları

Çizelge 8. Dünya blok mermer ihracat miktarları ve değerleri (20)

Sıralama	2013		2014		2015	
1	Türkiye		Türkiye		Türkiye	
	4,431,300 kg	879,551 \$	3,799,678 kg	756,443 \$	3,563,367 kg	712,259 \$
2	İtalya		İtalya		İtalya	
	551,709 kg	206,212 \$	556,224 kg	206,029 \$	500,756 kg	163,842 \$
3	İspanya		İspanya		İspanya	
	445,514 kg	171,612 \$	222,328 kg	126,740 \$	207,913 kg	106,619 \$
4	Mısır		Pakistan		Pakistan	
	464,922 kg	108,279 \$	359,144 kg	43,249 \$	290,790 kg	39,376 \$
5	Pakistan		Mısır		Hindistan	
	412,404 kg	50,259 \$	401,965 kg	39,561 \$	154,006 kg	28,464 \$
Sıralama	2010		2011		2012	
1	Türkiye		Türkiye		Türkiye	
	1,924,355 kg	278,724 \$	2,943,430 kg	443,967 \$	3,716,264 kg	649,990 \$
2	Mısır		İtalya		İtalya	
	591,625 kg	116,961 \$	419,189 kg	157,723 \$	495,598 kg	172,646 \$
3	İspanya		İspanya		İspanya	
	308,500 kg	114,450 \$	282,793 kg	120,284 \$	318,179 kg	139,410 \$
4	İtalya		Mısır		Mısır	
	339,430 kg	107,473 \$	159,314 kg	93,389 \$	246,873 kg	103,989 \$
5	Hindistan		Pakistan		Hindistan	
	63,648 kg	31,504 \$	169,580 kg	34,826 \$	224,759 kg	41,495 \$

Çizelge 9. Dünya İşlenmiş Mermer İhracat Miktarları ve Değerleri (20)

Sıralama	2010		2011		2012	
1	Çin		Çin		Çin	
	1,724,585 kg	1,111,970,6 \$	1,875,804 kg	1,359,022 \$	1,668,135 kg	1,439,955 \$
2	İtalya		İtalya		İtalya	
	381,011,8 kg	487,958,564 \$	367,519,18 kg	507,031,7 \$	411,746,7 kg	604,113,5 \$
3	Türkiye		Türkiye		Türkiye	
	997,783,18 kg	471,094,199 \$	1,015,345 kg	471,863,6 \$	1,008,298 kg	473,685,3 \$
4	İspanya		İspanya		İspanya	
	240,676,0 kg	179,024,425 \$	245,347,8 kg	202,203,2 \$	263,820,07 kg	203,231,8 \$
5	Portekiz		Portekiz		Portekiz	
	141,646,74 kg	88,049,056 \$	91,738,731 kg	66,600,741 \$	83,559,908 kg	55,468,79 \$
Sıralama	2013		2014		2015	
1	Çin		Çin		Çin	
	1,707,062,2 kg	1,575,813,1 \$	1,574,416 kg	1,592,923 \$	1,585,011 kg	1,692,361 \$
2	İtalya		İtalya		İtalya	
	435,822,47 kg	712,878,290 \$	437,415,1 kg	766,576,0 \$	457,173,2 kg	740,244,5 \$
3	Türkiye		Türkiye		Türkiye	
	1,130,413,2 kg	558,058,462 \$	1,210,422 kg	617,725,9 \$	1,134,496 kg	541,223,0 \$
4	İspanya		İspanya		İspanya	
	278,441,4 kg	223,050,030 \$	275,635,0 kg	218,882,8 \$	286,771,1 kg	197,377,1 \$
5	Portekiz		Portekiz		Portekiz	
	93,128,048 kg	67,828,341 \$	113,728,05 kg	77,608,474 \$	109,058,15 kg	65,595,30 \$

Çizelge 10. Türkiye mermer ihracatının rakipleriyle birim fiyat karşılaştırması: Çizelge 3 ve 4 deki Blok mermer ve İşlenmiş Mermer satış miktarları ve toplam getiri rakamlarını kullanarak hesaplanmıştır

	2012 Yılı		2012 Yılı	
İhracat çalıştırma sıra No	Blok Mermer İhracatı, kg		İşlenmiş Mermer İhracatı,	
	Ülke	Birim Satış fiyatı,\$	Ülke	Birim Satış Fiyatı,
1	Türkiye	0,17	Çin	0,86
2	İtalya	0,35	İtalya	1,47
3	İspanya	0,44	Türkiye	0,47
4	Mısır	0,42	İspanya	0,77
5	Hindistan	0,18	Portekiz	0,66
	2015 Yılı		2015 Yılı	
1	Türkiye	0,2	Çin	1,07
2	İtalya	0,33	İtalya	1,62
3	İspanya	0,51	Türkiye	0,48
4	Pakistan	0,13	İspanya	0,69
5	Hindistan	0,18	Portekiz	0,6

4. TÜRKİYE MERMER MADENCİLİĞİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Türkiye mermer sektörü nicelik olarak büyüyor. Fakat fiziksel ve ekonomik büyümeye rağmen henüz sürdürülebilirlik anlayışından çok uzaktır. Onun için de sık sık gerek işletmelerin faaliyet gösterdiği yöre halklarıyla, gerekse Sivil toplumla ciddi sıkıntılar yaşamaktadır. Bu, medyaya da yansımaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Mermer sektörüyle ilgili kamuoyuna yansıyan değişik tepkiler: **a)** Mersin-Tarsus-Boztepe Köyü, <https://www.mersinhaber.com/haber-boztepe-halki-biz-koyumuze-mermer-ocagi-kurdurmayiz/375330>, (4.12.2017) **b)** Burdur, <https://www.burdurgazetesi.com.tr/haberler/manset-haberleri/2438-ilgili-bakanl%C4%B1k-kelo%C4%9Flana-izin-vermi%C5%9F.html> (4.12.2017) **c)** Isparta; <http://www.kent32.com/mermer-ocaklari-dogaya-zarar-veriyor-13136h.htm> (4.12.2017)

Mermer madenciliği de bütün madencilik operasyonları gibi yenilenemez varlıkları işlemekte ve doğada tekrar eski haline getirilmesi mümkün olmayan kalıcı değişimlere neden olmaktadır. Telifisi mümkün olmayan tahribatlara neden olabilmesi mümkündür. Onun için sürdürülebilir sorumlu madencilik anlayışı ve kurumsal Sosyal Sorumluluk yaklaşımı ile çalışılması, belki bütün diğer sektörlerden çok daha önemlidir.

Mermer madenciliği doğal çevreyi bozması, topoğrafik yapıyı değiştirmesi, biyolojik yaşam ortamlarını tahrip edip, biyolojik çeşitliliğe zarar vermesi yanında, çevre üzerinde toz, gürültü ve su ve katı atık kirliliğine neden olmaktadır(31- 35).

Bu çalışmada sadece çevre yönünden değil ekonomik açıdan da çok önemli olan Katı mermer atıkları üzerinde durulacaktır.

4.1 Mermer Atıkları ve Değerlendirme İmkânları

Mermer madenciliğinde işletmenin iki aşamasında katı mermer atığı oluşmaktadır: Ocakta blok çıkarma işlemi sırasında ve mermer bloğun ileri ürünlere dönüştürmek için işlenmesi aşamasında. Ocak işletmesi aşamasında oluşan atık miktarı, kayacın cinsine, mermer yatağının jeolojisine, morfolojisine, kayacın kristal yapısına ve dokusuna, seçilen işletme yönteminin ve işletme araçlarının uygunluğuna vb. faktörlere göre değişmekte ve oldukça yüksek oranlara çıkabilmektedir(30.31.36). Mermer ocaklarındaki atık, genellikle moloz olarak tanımlanmaktadır. Bunlardan belli boyutun üzerinde olanlar normal bloklar gibi S/T makinalarında kesilerek işlenebiliyorsa da, verim, normal blok işlemeye göre oldukça düşüktür(37,38). Bilgin ve Koç(31), Ocak atıklarının, ocaktan çıkan taşın yaklaşık %50 sini oluşturabileceğini belirtiyorlar. Ocaklarda mermer atığı oluşmasının önemli nedenlerinde biri de Sayalama işlemidir: Ocaklarda tektonik yapıya bağlı olarak çok büyük ve şekilsiz parçalar elde edilir. Bunlar sonraki aşamada S/T veya katrik makinalarında işlenebilecek şekilde Sayalama makinası ile kesilerek şekillendirilir. Bu atıkların çoğu zaman değerlendirilmesi mümkün olmamakta ve ocak etrafında biriktirilmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Mermer ocağı içinde ve etrafında mermer atıkları

Parça atıklar, çok farklı boyutlarda olabilir ve ocak atıklarının yanında Katrik ve S/T de plaka kesim sırasında oluşan iri parçalar halindeki kapak taşları, plaka kırıkları ve boyutlandırmadan arta kalan yassı ve ufak parçalardan(paledyan) oluşur. Parça mermer atıkları yapı

elemanı, agrega üretimi, yol inşaatı vb. alanlarda kullanılabilmekeyse de çıkan miktara göre şu anda kullanım oranı çok düşük olup, genellikle firmalar tarafından firma veya kamuya ait alanlarda toplanmakta veya gözden uzak olan benden değıldir anlayışı ile gelişi güzel atılarak kurtulunmaya çalışılmaktadır. Bu durumlar sadece görüntü kirliliğı olarak değıl, çevre ve canlı yaşamı için çok ciddi riskler içermektedir (Şekil 11).



Şekil 11. At kurtul anlayışı ile gelişigüzel dökülmüş Mermer atıkları

Toz atıklar genellikle 2 mm'nin altındadır. Katraklarda oluşan toz atık 1mm'nin altıda iken, S/T'lerden çıkan atık katraktan daha büyük olup <2mm olabilir. Silme cilalamada ise, <500 mikrondur. Afyondaki mermer tesislerinden çıkan Toz mermer atıklarının, %90'ının 200µm, %70'inin ise 100µm altıda olduğu, 20µm nin altındaki mermer atıklarının oranının ise %40 olduğu ifade edilmiştir(45). Oluşacak toz atık miktarı kayacın cinsine, plaka kesiminde kullanılan makinanın türüne(katrak veya S/T), kesilen plakanın kalınlığına, kesmede kullanılan kesici soketlerin kalınlığına ve boyutlandırma ve polisaj aşamalarındaki işlemlerin niteliğine göre değışecektir. Mermerin işlenmesi sırasında oluşan toz atık, yaklaşık %35-45 oranında su içeren bir çamur halindedir. Tesislerde bu çamur ya havuzlarda dinlendirilmek suretiyle katı kısmı çöktürülerek ayrılmakta veya Su arıtma tesisinde arıtılarak katı atık filtre pres keki şeklinde ayrıştırılmaktadır. Elde edilen toz atıklar ya tesise ait alanlarda biriktirilmekte veya zaman zaman yerel yönetimler tarafından gösterilen atık alanlarına atılabiliyorsa da, genellikle

kontrol dışı bertaraf edilmeye çalışılmaktadır. Toz atık çamur halindeyken çevre ve canlılar için riskli olabileceği gibi (Şekil 12), kuru toz halindeyken de çevre için ciddi riskler oluşturabilmektedir (46):

- Çamur açık araziye döküldüğü zaman toprağın porositesini ve yeraltı suyunun yenilenmesini azaltarak verimliliği olumsuz etkiler,
- Çamurun döküldüğü alanlarda bitki gelişmez
- Kuruduktan sonra, çamurun ince taneli kısımları havaya uçuşarak ciddi hava kirliliğine neden olur. Bu sadece insanlar için değil bitkiler ve makinalar içinde zararlıdır.



Şekil 12. Mermer fabrikasının oluşturduğu bataklığa giren 6 koyununu kurtaran VY çamura saplandı, <http://www.posta.com.tr/batakliktan-itfaiye-kurtardi-haberi-96425>, 20.11.2017

Afyonkarahisar’da mermerin çıkarılması ve işlenmesi sürecinde %30'lara varan kayıplar olduğu bildirilmektedir (27). Bu değer raporlanan başka veriler göre oldukça düşüktür. İtalya'nın mermer üretiminin %15,7 sini ve dünya üretiminin %2,7 sini gerçekleştiren Sicilya'daki Custonaci Sanayi bölgesinde 1.800.000 ton /yıllık taş üretimin sadece %25'nin ticari ürüne dönüştüğü , %75'nin ise atık oluşturduğu belirtilmektedir(39). Pakistan'da patlatma yöntemiyle blok elde eden ocaklarda kullanılabilir taş

oranının %20 seviyesinde olduğu aktarılmaktadır(40).Önemli bir mermer sanayiine sahip Filistin’de çıkarılan taşın %72 sinin atığa gittiği ifade edilmektedir(47). Parça atık, ocağın dışında blokların veya iri molozların ST veya katraş makinalarında kesilmesi sırasında kapaklar ve paledyenler şeklinde de oluşmaktadır. Bir entegre mermer tesisiyle ilgili fizibilite raporunda mermer ocaklarındaki atık oranının %30 civarında olduğu, fabrikalardaki işleme sırasında oluşan atık miktarının ise işleme giren mermerin %30-50 arasında olduğu ifade edilmiştir (41).

Mermer tozları ise, ocakta mermer blok üretiminde elmas tel testere, zincir testere vb. kesiciler kullanıldığı zamanda ince mermer tozu oluşuyorsa da, ince mermer tozu oluşumu, öncelikle mermer blokların S/T ve Katraş makinalarında plaka haline getirilmesi ve sonrasında tekrar kesilip, boyutlandırılıp, parlatılması süreçlerinde ortaya çıkmaktadır. Ceylan(42), toz atıkların oranının mermerin en çok tüketildiği yer döşemesi, dış cephe kaplaması ve mezar yapımı gibi alanlarda %40 civarında olduğunu fakat bazı özel alanlarda oranın işlenen mermerin %60’ına kadar çıkabileceğini belirterek, 1991 yılında dünyada 29.270.000 ton mermer işlendiğini ve bunun 11.900.000 tonunun(%40,6) parça ve toz halinde üretim atığı olduğunu ifade etmektedir. Kullanım alanına göre oluşan atık miktarı ve yüzdeleri Çizelge 11’da görüldüğü şekilde aktarılmıştır(42). Özkara ve d.(27) tarafından, Afyonda üretilen ürüne göre 1 m3 mermerden elde edilen ürün miktarı ve fireler genel olarak Çizelge 12 deki gibi verilmiştir. S/T üretiminde verimlilik ve fire oranları ve S/T levhasında ebatlanmış mamul üretiminin verimliliği ve fire oranları ise, sırasıyla Çizelge 13 ve 14’ de görülebilir.

Çizelge 11. 1991 yılı dünya mermer üretiminde kullanım alanına göre oluşan atık miktarları ve oranları(42)

Kullanım Alanı	Üretime Giren (ton)	Atık Miktarı (ton)	Atık Yüzdesi (%)
Yer Döşemesi	9.990.000	4.050.000	40
Dış Cephe Kaplaması	5.890.000	2.380.000	40
Mezar Yapımı	4.860.000	2.260.000	46
Yapı Elemanları	2.140.000	520.000	24
Merdivenler	1.810.000	730.000	40
İç Cephe Kaplaması	1.370.000	560.000	41
Çeşitli Eşya	1.550.000	650.000	42
Özel İmalatlar	1.050.000	630.000	60
Diğer Kullanımlar	600.000	330.000	55
TOPLAM	29.270.000	11.990.000	41

Çizelge 12. Afyonkarahisar mermer işleme tesisi verimi (genel) (27)

İşlenen Ürün	Elde Edilen Ürün	Verim m2	Fire %
1 m3 blok	Plaka 2 cm.	25-30	40
1 m3 blok	Plaka 3 cm.	20-23	30
1 m3 blok	Plaka 4 cm.	Bilinmiyor	25
1 m3 blok	Fayans	30-40	40

Kaynak: ATSO

Çizelge 13. Este üretiminde verimlilik ve fire oranları (27)

Kalınlık (cm)	Ürün Sınıfı	Levha Adedi	Fire adedi	Net Adet	Ürün Miktarı	1 m3 Nihai Ürün	1 m3 Fire (%)	Cıralı Adet	Ürün Miktarı	1 m3 Fire (%)
4	Ham Levha	29	2	27	20,70	18,90	%8	25	17,50	%15
3	Ham Levha	37	3	34	26,40	23,80	%10	32	22,40	%15
2	Ham Levha	50	6	44	35,70	30,80	%14	40	28,00	%22

Kaynak: ATSO

Çizelge 14. Este levhasında ebatlanmış mamul üretiminin verimliliği ve fire oranları (27)

Kalınlık (cm)	1 m3 Ham Levha	60x60 Fire (%)	1 m3 50x50 Fire (%)	1 m3 40x40 Fire (%)	1 m3 30x60 Fire (%)	1 m3 Fire (%)			
4	15,40	12,65	%18	11,00	%28	13,20	%14	13,85	%10
3	18,20	14,55	%20	12,75	%30	15,30	%16	16,00	%12
2	22,40	17,45	%22	15,25	%32	18,35	%18	19,25	%14
1,5	29,40	22,65	%23	19,70	%33	23,80	%19	25,00	%15
1	36,40	27,30	%25	22,65	%35	29,10	%20	30,60	%16

Kaynak: ATSO

Çizelge 12-14'dan işlenen mermerin kalınlığı incelidikçe fire oranının arttığı görülmektedir. Mermerin türüne göre fire daha da artabilmektedir. Örneğin, S/T üretiminde renkli mermerde %15, Travertende %20 ve bej mermerde %25 daha fazla fire söz konusudur(27). S/T levhasında ebatlanmış mamul üretiminde incelik 1 cm ye indiği zaman fire %25'e çıkmaktadır. Aynı şekilde renkli mermerde %20, Traverten mermerde %25 ve bej mermerde %30 daha fazla fire oluşmaktadır. Cilalamadaki fire oranı ise bunlara ek olarak %10 civarındadır. Afyonda yapılan bilimsel bir araştırmanın sonucuna göre, 80-100.000 m³ civarında mermer işlendiğinde 24.000 m³ mermer çıkartıldığı tespit edildiği ve dolayısıyla %70-75 arasında işletme kaybının söz konusu olduğu bildirilmektedir(43). Elçi ve d.(44), ham blokların ve molozların işlenmesi sonrası oluşabilecek atık miktarının %40-60 arasında olabileceğini belirten sonuçları aktardıktan sonra, bizzat katrakta blok kesimi ve S/T de moloz kesimi üzerinde yaptıkları ölçümlerle, Katrak kesim sonrası ıskarta oranını %23, fayans üretmek üzere S/T deki fire oranını ise %41 olarak belirlemişlerdir. Yüzey işleme ve ebatlandırma işlemlerindeki atık oranı ise %10 olarak tespit edilmiştir.

Mermer işletmeciliğinde sadece ocaklar arasında blok verimliliği yönünden fark olmayıp, farklı bölgelerden elde edilen blokların yararlı malzeme verimliliği de farklılık gösterebilmektedir. Örneğin, Muğla'nın Kavaklıdere bölgesinde 1 m³ bloktan 24, 05 m² ürün elde edilirken, yatağan Bayır bölgesindeki ocaklardan elde edilen bloklardan 1 m³ den 16,31 m² ürün elde edilmektedir. Bu farkın nedeni olarak, Bayır bölgesindeki ocaklar daha eski olduğu için blok verimliliklerinin düşük olması gösterilmektedir(31).

Özetlersek, genel bir ifadeyle mermer sektöründe ocak aşamasında çıkarılan taşın yaklaşık %30 unun parça, taşın işlenmesi aşamasında ise ortalama %40 civarında bir kısmının parça ve toz atık olarak kaybedildiğini varsaymak yanlış olmaz sanıyorum. Dolayısıyla

ocaktan çıkan taşın yaklaşık %60-70 civarında bir oranı parça veya toz olarak atığa gitmektedir. MİGEM tarafından 2015 yılında 27.201.883 ton doğal taş çıkarıldığı belirtilmektedir(48). Bu değer Genel Müdürlüğe İşletme sahipleri tarafından beyan edilen rakamlardan oluşmaktadır. Dolayısıyla büyük olasılıkla ocaklardan çıkarılan ve ekonomik değeri olan taş miktarını ifade ediyordur, pasa olarak atılan ekonomik olarak değerlendirilemeyen taşları içermiyordur. Eğer ocaklarda %30 atık olduğunu kabul edersek, bu ocaklardan 38.589.857 ton taş çıkarılmış demektir. Bunun %30 u ocak atığı, Yaklaşık %40'ının da işleme atığı olacağını varsayarsak. Yılda yaklaşık 27.012.900 ton taş parça veya toz atığı olarak atılacak, sadece 11.576.967 ton taş son ürün olarak değerlendirilecek demektir.

4.1.1 Mermer atıklarının değerlendirilmesi

Mermer atıklarının değerlendirilmesiyle ilgili olarak, sadece internette ulaşılabilen literatüre bakınca bile birçok farklı alanda kullanılabilme imkânının araştırılmış olduğu görülmektedir. Literatür verilerine göre Parça mermer atıkları:

- İstinat duvarları, erozyon ve, yamaç şevleri ve köprü ayak kontrolleri(35)
- Yol temel malzemesi(49,50)
- Taşkın önleme ve Dere yataklarının ıslahı(51)
- Beton tuğla(briket)üretimi(52)
- Agregâ üretimi53-55)
- Peyzaj düzenleme taşı

Toz mermer atıkları ise;

- Betonda çimento yerine ikame(55,56)
- Betonda ince kum yerine ikame(57,58)
- Killi Toprakları jeoteknik özelliklerinin geliştirilmesi(59,60)
- Gaz beton üretimi(61)

- Seramik Tuğla üretimi(62)
- Çöp atık sahalarında zemin kaplaması olarak(63)

Kullanılmak üzere araştırılmış ve belli başarılarla elde edilmiştir.

Bunun dışında mermerin plastik, boya, kâğıt, seramik vb. sanayilerde kullanılmasının mümkün olduğu ifade edilmektedir(31,44). Yalnız bu sektörlerde kullanılan malzemeler genellikle saflık ve tane boyutu yönünden belli kriterlere tabidir ve burada referans malzemesi kalsit mineralidir. Dolayısıyla mermer tozunun bu sektörlerde kullanılabilmesi tamamen mermerin kalsit içeriğine ve renginin beyazlığına bağlı olacaktır.

Konunun geneline bir bakış, bu konuda sorulması gereken sorunun “atıklarla neler yapılabilir? ”den çok, “atıkları ekonomiye kazandırabilmek için neler yapılmalı?” olması gerektiğini düşündürüyor. Soruna teknik bir sorun olmaktan çok yönetsel bir sorun olarak bakmanın daha yararlı olacağı gözüküyor. Mermer atıkları gibi ve hatta birçok endüstriyel doğal hammadde gibi ağırlıkta fazla fakat pahada düşük malzeme için temel sorun malzemenin taşınıp pazara, uygun kullanıcıya ulaştırılması sorunudur. Atıkların toplamına baktığımızda atık miktarı çok yüksek gözükmesine rağmen, tek tek işletmeler boyutunda ele aldığımızda çıkan malzemenin miktarı, iyileştirilmesi veya başka bir sektörde kullanımı için bu konuda ciddi bir yatırımı ekonomik kılmaktan çok uzak olacaktır. Onun için konunun mermer sektörü boyutunda düşünülmesinde yarar gözükmektedir. Bu konuda, tabii öncelikle işletmeciliğin her aşamasında verimliliği arttırarak atık miktarının azaltılması öncelikli hedef olmalıdır.

Üretimin artması ve elbette buna bağlı olarak ihracatında artıyor olması arzu edilir bir şey. Yalnız, yenilenemez kaynaklar üzerinde çalıştığımızı ve değerinin altında sattığımız ya da verimsiz işletmecilikle atığa attığımız her malzemeyi, sonuçta gelecek

nesillerin haklarından çaldığımızı unutmamak durumundayız. Bunun için de daha verimli işletmecilik ve daha değerli ürünler üretip daha az kaynak tüketerek aynı katma değeri yaratabilmemiz gerekir. Bunun için:

a) Her şeyden önce her aşamada daha verimli işletmecilik yapabilmek durumundayız. Bu konuda anlaşıldığı kadarıyla, madencilik sektörümüzün en büyük eksiği olan arama aşamasına kaynak, zaman ve emek ayırmama, mostra madenciliğinden henüz kurtulamamış olma durumdayız. Birkaç sondajla ocak açıyoruz. Evet, ülke rezervlerimiz çok fazla ama her tepeyi de kazmak zorunda değiliz. Onun için arama aşamasında yatağın jeolojisini, morfolojisini iyi araştırıp, çok fazla çatlak kaybına neden olacak ocakları açmayabiliriz. Bu konuda ciddi sondaj çalışması yanında, Yer geçirimli Radar (Ground Penetratin Radar-GPR) ve Travertende Elektriksel Resistivite Yöntemleri(VES, ERT vb.) gibi bazı Jeofizik yöntemlerin yararlı olabileceği belirtiliyor(64-66).

b) Yine ocak işletme aşamasında yerinde güçlendirmeyeyle küçük çatlakların büyük kayıplara neden olmasını önleyebiliriz(67). Kayıpları azaltmak için güçlendirme işlemi mermerin işlenmesi aşamalarında da uygulanmalıdır.

Mermer atıklarının değerlendirilmesi konusunda ise, sektör bir bütün olarak ele alındığında:

1- Aynı bölgede çalışan, bilhassa benzer taşları çalışan mermer ocakları ocak atıklarını ocak civarında gelişi güzel terk etmek yerine uygun bir bölgede toplamaya yönlendirilebilir. Bu taş miktarını arttıracığı için, uygun bir ürüne dönüştürmek için gerekli alt yapının oluşturulmasını fizibil hale getirebilir.

2- Mermer işleme tesisleri bölgesel olarak merkezi konumda oluşturulacak Sektöre özel Sanayi bölgelerine toplanabilir(43).

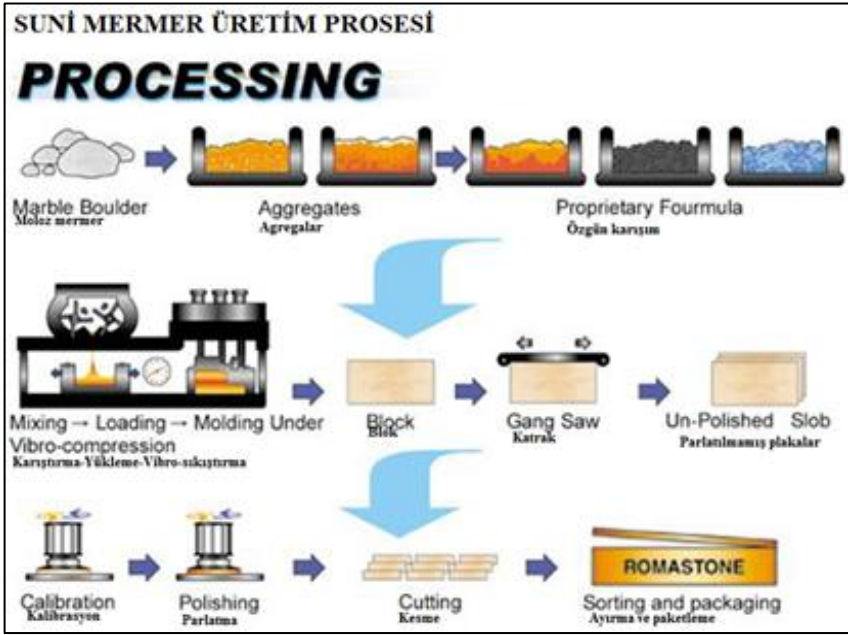
Mevcut tesislerin söz konusu Organize Sanayi Bölgelerine Taşınması için devlet firmalara bu konuda yardımcı olabilir. Bu mermerin işlenmesi aşamasında ortaya çıkan gerek parça gerekse toz atıkların toplanıp sistemli bir şekilde değerlendirilebilmesinin ortamını hazırlayacaktır.

3- Sektörle ilgili raporlar(17, 18, 20, 22, 28-30, 43), pazarda Türk mermeri markasının oluşturulmadığını ve piyasadaki mevcudiyetimizin kalite ve aranan ürün olmaktan çok düşük fiyata dayandığını göstermektedir. Bu düşük fiyat oluşumunda da en büyük faktörlerden birinin bizim yabancı rakiplerden çok kendi kendimizle rekabet ediyor oluşumuz gözükmektedir. Bu nedenle mermer firmaları, bölgesel olarak Dış Ticaret Firmaları kurmaya yönlendirilebilir. Sektördeki firmaların çoğunlukla küçük ve orta ölçekli firmalar olmaları ve markalaşmak için Ürün geliştirmeye kaynak ayıracak durumda olmamaları nedeniyle, kurulacak dış ticaret firmaları marka oluşumu için firmaların kalitesini denetlemeye ve ürün standartlarını oluşturmaya yetkili olmalıdır. Bu konuda gerekli alt yapıyı oluşturmalı ve gerekli uzman ekibi bulundurmalıdır. Dolayısıyla sektör firmaları tarafından ortak kurulacak dış ticaret firması sadece ürün satmayacak sektörün her yönden ilerleyip gelişmesine öncülük edecektir. Böylece her bölgesel ve kimlikli taş için Türk Mermeri markası oluşturulabilir. Piyasada daha uygun fiyat oluşması sağlanabilir.

Mermer atıklarıyla ilgili olarak yukarda işaret edilip listelendiği gibi, koşullar uygun olduğu sürece birçok uygulama imkânı bulunabilir. Akademik araştırmalarla bunlar daha da çeşitlendirilebilir. Burada temel sorun atığa nasıl ulaşabileceğimizdir. Sektörle ilgili olarak yukarda ifade edilen yapısal organizasyonların yapılması durumunda atık toplama merkezileştirilerek atığa dayalı ciddi ekonomik projeler geliştirilebilir. Bu konuda aşağıdaki konular bilhassa önemli olabilir:

1) Kırma taş üretimi: Türkiye’de alt yapı projelerinin boyutu ve İnşaat sektörünün önemi düşünüldüğünde agrega ve mucur olarak çok ciddi bir gereksinim olduğu muhakkaktır. Bu konuda çok sağlıklı veri yoksa da AB verilerine dayanarak Türkiye’nin Kırma taş üretiminin 2012 yılı için 431 milyon ton olduğu aktarılıyor(68). 2014 -2015 yılları için ise söz konusu değer 487,5 milyon ton olarak hesaplanmıştır(69). Eğer mermer ocakları ocak atıklarını belli bir ortak lokasyonda toplamaya yönlendirilirse, toplanan taş miktarı ortak bir kırma taş tesisi kurmak için uygun olabilir. Bu sayede hem doğa gelişi güzel kirlilik ve risk faktöründen korunmuş, hem de kullanılmayan atık taşlar ekonomiye kazandırılmış olacaktır. Üretilen kırma taş yerel yönetimler ve inşaat sektörü tarafından rahatlıkla kullanılabilir, böylece bu amaçla ayrıca taş ocağı açma gereksinimi de azaltılmış olacaktır. Benzer organizasyon Mermer Sanayine özgü sanayi bölgelerinde mermer işlemeden çıkan parça atıklar için de düşünülebilir. Zaten Çevre Mevzuatı gereği sanayi kuruluşları atıklarını bertaraf etmekle yükümlüdürler. Bu yükümlülük sektörün mevcut haliyle yerine getirilemez ama sektörün önerilen biçimde organize olması bunu mümkün kılacaktır.

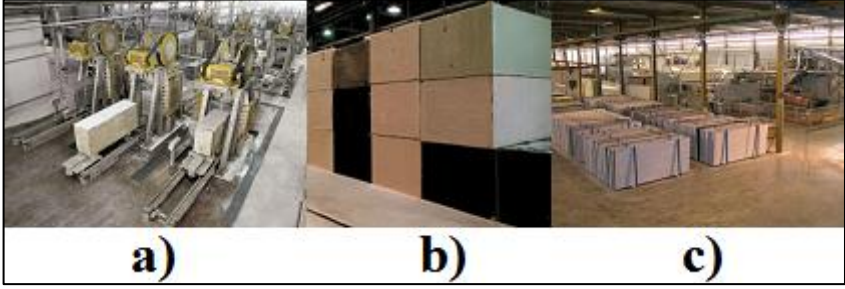
2) Suni Mermer Üretimi: Sektörün organize olmasıyla her türlü taş atığının yararlı alternatif bir ürüne dönüştürebileceği ikinci alternatif, Suni taş, Tasarlanmış taş (Engineered stone) olarak ta adlandırılan Suni mermer üretimi olabilir. Suni mermer, kırılmış mermer parçalarının uygun polyester veya epoksi reçinelerle karıştırılıp blok veya plaka halinde vakum ortamında vibrasyon eşiğinde basınç altında sıkıştırılması ile elde ediliyor(70,71). Taş oranı, taşın kırma boyutuna ve cinsine bağlı olarak Yaklaşık %85-95 arasında olabiliyor(72,73). Suni mermer üretimi için proses akım şeması Şekil 13 de gösterilmiştir.



Şekil 13. Suni mermer Üretim Prosesi (74)

Proses ve ilgili üretim teknolojisi 1960'lardan başlayarak İtalya'da bir firma tarafından geliştirilmişse de (70,71), bu gün dünyada başka teknoloji sağlayan firmalarda mevcuttur. Çin'de suni taş üreten en az 100 firma olduğu, Hindistan'da da 40 civarında firmanın bu konuda faaliyet gösterdiği ifade edilmektedir (72). Üretilen bloklar ve plakalar Şekil 14 de görülebilir. Bloklar, uygun kütleme işleminden sonra normal mermer loklar gibi kesilip işlenirken, plakalar da polisaj ve kesme ve boyutlandırma işlemine tabi tutulmaktadır.

Atıkların suni taş üretimi için değerlendirilmesi atık taş sorununa sadece çözüm getirmeyecek, mermer firmalarına ürün çeşitlenmesi sağlaması yanında kendi atıklarını kendilerinin bertaraf edebilmesi imkânını sağlayacaktır.



Şekil 14. Suni mermer bloklar (a, b) ve Plakalar (c)

5. SONUÇLAR

Artık günümüzde sürdürülebilir madencilik bir tercihten öte bir zorunluluktur. Verimsiz işlediğimiz her yenilenemez kaynak ve işletme sürecinde atığa attığımız her malzeme gelecek nesillerin yaşama hakkından çalınmış demektir. Onun için mermer işletmeciliğinde arama aşamasından başlamak üzere uygun mühendislik yöntem ve araçlarını kullanarak kaynakları en az fire ile işleterek ekonomiye kazandırmak hedef olmalıdır.

İşletmecilik sürecinde atık oranını en aza indirme çabası yanında, çıkan atığın çevreye en az zarar verecek şekilde bertaraf edilmesi zorunluysa da, en önemlisi çıkan atıkların tekrar ekonomiye kazandırılmasıdır. Mermer atıklarının kullanılabilceği değişik uygulamalar mümkünse de, burada temel sorun, olur mu olmaz mı dan çok, atık üreticisiyle, atık kullanıcısının nasıl ekonomik olarak buluşturulabileceği sorudur. Bu konuda, mermer sektörünün mevcut durumuna baktığımız zaman, sektörün dağınık yapısı ve sektördeki firmaların daha çok küçük ve orta ölçekli firmalardan oluşması, atıkları verimli değerlendirebilmek için öncelikle, atıkları ekonomik boyutta bir araya toplayabilmek için sektörü organize etmek gerekmektedir. Bunun için:

Aynı bölgede çalışan mermer ocakları, ocaklarında oluşan mermer atıklarını ocak bölgelerinde terk etmek yerine, eğer atıkları miktar olarak yeterliyse, kendileri işleyerek, ya da merkezi bir noktada toplamaya yönlendirilerek kırma taş üreterek veya başka bir şekilde birlikte değerlendirebilirler.

Mermer işleme tesisleri sektöre mahsus Organize Sanayi Bölgelerinde toplanarak, mermerin işlenmesi sırasında oluşacak parça ve toz atıklar tek bir merkezde toplanmak suretiyle, sektör firmalarının ortak olacağı firmalar üzerinden ekonomik olarak değeri olan ürünlere dönüştürülebilir. Örneğin Suni mermer ve plaka üretilebilir.

Bu yolla sadece atık bertaraf edilmiş olmayacak, atık sorunu bizzat sektör firmalarının kendileri tarafından çözüldüğü gibi yeni ürünler geliştirilmiş olacaktır.

3-Türk mermerinin Uluslararası pazarda Türk markasıyla satılıp değerini bulabilmesi için, sektörde kalite kriterlerini oluşturacak ve denetleyecek bölgesel bazda mermer firmaları tarafından oluşturulacak sektörel dış ticaret firmalarının kurulması yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

1-Wilki, E.T, “Air pollution aspects of the London fog of December 1952”, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Volume 80, Issue 344, pages 267–271, April 1954

2-Aslan F, “İktisadi Büyümenin Ekolojik Sınırları ve Kalkınmanın Sürdürülebilirliği”, Ankara Uni. Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2010

3- UN, “Paris Agreement”, Paris 2015, https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf (27.11.2017)

- 4- UN, "Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future", <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> (27.11.2017)
- 5- TİSK, "Sürdürülebilirlik Raporlaması İlavesiyle, İşveren Örgütleri İçin Kurumsal Sosyal Sorumluluk Revize Rehberi", Şubat 2016, TİSK, s7, <http://tisk.org.tr/wp-content/uploads/2016/02/tr-rehber.pdf> (27.11.2017)
- 6- "Sustainability Reporting Handbook for Employers' Organizations", Revised Edition, Feb. 2016, s.7, <https://www.csrforall.eu/en/icerik/publications/CSRforAll-010216.pdf> (27.11.2017)
- 7-Kocabağ, D, " Sürdürülebilir Gelişme Bağlamında Madencilik ve Çevre", 5. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 27-27 Kasım 2015- Antalya
- 8- "Guide to Corporate Sustainability",United Nations Global Compact, https://www.globalcompact.de/wAssets/docs/Nachhaltigkeits-CSR-Management/un_global_compact_guide_to_corporate_sustainability.pdf (28.11.2017)
- 9- "After the Signature, A Guide to Engagement in the United Nations Global Compact", https://www.ftc.gov/sites/default/files/documents/public_events/enforceable-codes-conduct-protecting-consumers-across-borders/un-global-compact.pdf (28.11.2017)
- 10-ICMM, "ICMM Sustainable Development Framework: Guide to elements and member commitments", <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000771.pdf>, (28.11.2017)
- 11- IGF Mining Policy Framework- Mining and Sustainable Development, October 2013, <http://igfmining.org/wp-content/uploads/2017/02/MPF-English-Oct-2013.pdf> (28.11.2017)
- 12-The Mineral Council Of Australia, "Enduring Value, The Australian Mineral Industry Framework for Sustainable Development", http://www.minerals.org.au/file_upload/files/resources/enduring_value/EV_SummaryBooklet_June2005.pdf , (28.11.2017)

- 13-The Mining Association of Canada, “Towards Sustainable Mining 101: A Primer”, Mart 2015, http://mining.ca/sites/default/files/documents/TSM_Primer_March_2015.pdf , (28.11.2017)
- 14-Towards Sustainable Mining, 2016 Progress Report, <http://mining.ca/sites/default/files/documents/TSM-Progress-Report-2016.pdf> (26.11.2017)
- 15- Goodland, R, “Responsible Mining: The Key to Profitable Resource Development”, http://www.uvm.edu/ieds/sites/default/files/Responsible_Mining.pdf (29.11.2017)
- 16- Miranda, M, Chambers, D ve Coumans, C, “ Framework for Responsible Mining: A Guide to Evolving Standards”, Ekim 2005, <http://www.csp2.org/files/reports/Framework%20for%20Responsible%20Mining%20Executive%20Summary.pdf> (29.11.2017)
- 17-Aycan, İ O, “Türkiye’de Mermercilik ve Geleceği”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, 2007, <https://madencilikrehberi.files.wordpress.com/2012/04/tc3bcrkiyede-mermercilik-ve-gelecece49fi.pdf> (29.11.2017)
- 18-Çetin, T, “Türkiye Mermer Potansiyeli, Üretimi ve İhracatı “,GÜ, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 23, Sayı 3 (2003) 243-256
- 19- Erkanol D ve Aydındağ A ,”Türkiye Geneli Doğal taş Potansiyel Alanların Belirlenmesi Projesi”, http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2013_16/147.pdf, (7.12.2017)
- 20-Kacı, S, “Bilecik Mermer Sektörü Raporu”, BEBKA, Mayıs 2017, <http://www.bebka.org.tr/admin/datas/yayins/149/1496296650.pdf> (29.11.2017)
- 21- Torun, M, “ Mermer ve Doğal Taş Sektörünün Durumu”, TSE Standart dergisi, yıl 51, Sayı 606, Kasım 2012, s.26-28.Mermer ve Doğal Ta 22- Genç, Ö, “Blok Mermer ve Mermer İşleme Sektörü”, Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş, Ekim 2004- Ankara, http://www.kalkinma.com.tr/data/file/raporlar/ESA/SA/2004-SA/SA-04-06-27_Blok_Mermer_ve_Mermer_Isleme_Sektoru.pdf (25.11.2017)
- 23-İMMİB, “ 2016 Çalışma Raporu”, <http://www.imib.org.tr/wp-content/uploads/2017/04/CALISMA-RAPORU-2016c-web.pdf> ,(24.11.2016)

- 24- IRMA, “Standard for Responsible Mining, Draft v1.0”, July 2014, [http://www.responsiblemining.net/images/uploads/IRMA_Standard_Draft_v1.0\(07-14\).pdf](http://www.responsiblemining.net/images/uploads/IRMA_Standard_Draft_v1.0(07-14).pdf) (30.11.2017)
- 25- ISO, “ISO 26000 Guidance on social responsibility”, <http://www.uobaghdad.edu.iq/uploads/pics13/qaa/iso26000.pdf> (30.11.2017)
- 26- Ekonomi Bakanlığı, İhracat Genel Müdürlüğü Maden, Metal ve Orman Ürünleri Daire Başkanlığı, 2016, “Doğal Taş Sektörü”, <https://www.karacabeytso.org.tr/blogfiles/621508322685.pdf> (25.11.2017)
- 27- Özkara, B ve d., “Mermer Sektöründe Katma Değerin ve İhracatın Arttırılması”, <http://www.zafer.org.tr/jdownloads/Raporlar%20%20Strateji%20Belgeler/mermer-sektorunde-katma-degerin-ve-ihracatin-arttirilmesi.pdf>, (20.11.2017)
- 28- Dadak, M T ve Gül M, “ Mermer Kenti Adıyaman Projesi, Adıyaman İli Mermer Sektörü Araştırma Raporu”, Kalkınma Projeleri Akademisi Derneği, Adıyaman 2012, <http://www.ika.org.tr/upload/yazilar/TRC112DFD2016-Adiyaman-Ili-Mermer-Sektoru-Arastirma-Raporu-1-547299.pdf> (4.12.2017)
- 29- Kısmın Z A ve Kan Ö D,”Elâzığ Mermer Raporu”, Fırat Kalkınma Ajansı, Elâzığ 2011, <http://www.elazigyatirim.gov.tr/tr/files/02015-04-09-21-46-52-000000.pdf>, (4.12.2017)
- 30- Bağcı, M ve Karataş, M,” Muğla Bölgesi Mermer Sektörünün Swot Analiz Araştırması”, AKU J. Sci. Eng.17 (2017) 025802 (736-752)
- 31- Bilgin Ö, Koç E, “Mermer madencilğinde Çevresel Etkiler”, Madencilik Türkiye, Ocak 2013, s.68
- 32- Angotzi G ve d, “World at work: Marble quarrying in Tuscany”, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1741029/pdf/v062p00417.pdf> 4.12.2017
- 33- Rizzo G, D’Agostino E F, ve Ercoli E L, “Problems of soil and groundwater pollution in the disposal of “marble” slurries in NW Sicily”, Environ Geol. (2008) 55:929–935
- 34-İşıl Arslan E ve d.,” Physico-chemical treatment of marble processing wastewater and the recycling of its sludge”, Waste Manage Res 2005: 23: 550–559

- 35- Ashmole I ve Motlounge M, “Reclamation and Environmental management in Dimension Stone Mining”, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, http://www.saimm.co.za/Conferences/SurfaceMining2008/155-178_Ashmole.pdf (22.11.2017)
- 35-Kulaksız S , “Doğal Taş(mermer) madenciliği İşletme Yöntemleri”, Madencilik Çevre Yönetimi, Afyon 2012, http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/c9e69f5ac607d69_ek.pdf?tipi=2.., 19.11.2017)
- 37- Ersoy M, Yeşilkaya L ve Gülseven H, “Mermer İşleme Tesislerinde Moloz ve Blok Kesme Verilerinin Karşılaştırılması”, TÜBAV Bilim Dergisi. Yıl: 2012, Cilt:5, Sayı:4, Sayfa:33-42
- 38- Eren A ve Ersoy M, “Mermer Blok Kesim Yöntemlerinin Bulanık Topsis Yöntemiyle Değerlendirilmesi “,Madencilik, Cilt 46, Sayı 3, Sayfa 9-22, Eylül 2007
- 39- Liguorii V, Rizzo G ve Traverso M, “Marble quarrying: an energy and waste intensive activity in the production of building materials”, <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/EEIA08/EEIA08020FU1.pdf> (24.11.2017)
- 40- World Bank, Report No. 35499-PK ,” Pakistan Growth and Export Competitiveness, Section C. An Integrated Value Chain Analysis of Mable Tiles “, April 25, 2006, <http://documents.worldbank.org/curated/en/253591468067731455/pdf/354991PK0rev0pdf.pdf> , (4.12.2017)
- 41-Şen B ve d., “Entegre Mermer İşleme Tesisi Fizibilite Raporu”, Elâzığ Tic ve San Odası, 2011, <http://www.elazigtso.org.tr/Parca/DosyaVeBelgeYonetimi/Upload/entegremermer.pdf> (5.12.2017)
- 42-Ceylan H, “Mermer Fabrikalarındaki Mermer Toz Atıklarının Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ, Isparta, 2000, <http://tez.sdu.edu.tr/Tezler/TF00314.pdf> , (5.12.2017)
- 43-Erkek D ve Özdemir S, “Mermer ve Traverten Sektörüne Küresel ve Bölgesel Yaklaşım”, GEKA, 2011, http://geka.gov.tr/Dosyalar/o_19v5e0ki7134g6no139s7pj10658.pdf 23.11.2017

44-Elçi H ve d.,” Hammadde Kaynağı olarak Doğal Taş Artıkları, Torbalı-İzmir Örneği”, <http://www.researchgate.net/publication/320474723>

45-Çelik M Y ve Tur Ş, “Afyonkarahisar Organize Sanayi Bölgesi Doğal Taş Atık Depolama Sahasındaki Mermer Atıklarının Özelliklerini İncelenmesi”, AKÜ FeBiD 12(2012)25802(9-15)

46- Indian Minerals Yearbook 2015 (Part- III: Mineral Reviews),Marble(advance Release), 54th Edition , http://ibm.nic.in/writereaddata/files/11232016170046IMYB2015_Marble_23112016_Adv.pdf (4.12.2017)

47-Hagar,
http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFE05_TCY_GA_000115_LAYMAN.pdf 4.12.2017

48-MİGEM, “ İşletme Ruhsatlı Sahalardan Ruhsat Sahiplerince Genel Müdürlüğümüze Beyan Edilen Maden Üretim Değerleri”

<http://www.migem.gov.tr/istatistikler/istatistik-dok/Maden%20C3%9Cretim%20Miktarlar%C4%B1%20Revizesi.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=1106c96f-5938-431e-afc2-de2fee11a7e4>, (5.12.2017)

49-Ural N ve Yakşe G, “ Atık Mermer Parçalarının Yol Temel Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi”, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt:2, Sayı:2, 2015 , s.53-62

50-Lima H, “Application of Marble Quarry waste in Pavement Layers”, <https://www.piarc.org/ressources/documents/actes-seminaires0102/c12-mongolie02/9156,1-3.pdf> (20.11.2017)

51- Çavuş, U Ş,” Mermer Parça Atıklarının Taşkın Koruma ve Akarsu Yatakları İslah Yapılarında Kullanımı “,AKÜ FeMüBiD 15 (2015) 025603 (19-28)

52- Hamza, R ve Khedr, S A, “Marble and Granite Waste: Characterization and Utilization in Concrete Bricks”, <https://www.researchgate.net/publication/271306517>

53- Singh R, Bhutani M ve Syal T, “ Strength evaluation of concrete using Marble Powder and Waste Crushed Tile Aggregates”, İnter. J Sci. And Emerging Tech with Latest Trends, 20(1), 18-28, 2015

- 54- Ghanbari M, Abbasi A M ve Revanshadnia M, “Economic and Environmental Evaluation and Optimal Ratio of Natural and Recycled Aggregate Production”, <https://www.hindawi.com/journals/amse/2017/7458285/> (15.11.2017)
- 55- Kumari, R ve Dhaka E J, “ Review on use of Marble Powder as partial replacement of cement in concrete mix”, *Inter J. For Technological Research In Engineering*, V.4, Issue 1, Sept.2016, p.93
- 56- Singh ve Bansal E R S, “Partial Replacement of Cement with Waste Marble Powder with M25 Grade”, *Int. J. of Technical Research and Applications* e-ISSN: 2320-8163, www.ijtra.com Volume 3, Issue 2 (Mar-Apr 2015), PP. 202-205
- 57- Lakhani R, Kumar R ve Tomar P,” Utilization of Stone Waste in the Development of Value Added Products: A State of the Art Review”, *Journal of Engineering Science and Technology Review* 7 (3) (2014) 180– 187
- 58- Sakalkalei A D, Dhawale G D ve Kedar R S, “ Experimental Study on Use of Waste Marble Dust in Concrete”, *Int. Journal of Engineering Research and Applications* www.ijera.com ISSN : 2248-9622, Vol. 4, Issue 10(Part - 6), October 2014, pp.44-50
- 59- Sivrikaya O, Kıyıldı K R ve Karaca Z, “Recycling waste from natural stone processing plants to stabilize clayey soil”, *Environ Earth Sci* (2014) 71:4397–4407
- 60-Görgün B ve Ural N, “Mermer Atığının Geoteknik Mühendisliğinde Kullanılması”, <http://www.isbs2015.gazi.edu.tr/belgeler/bildiriler/129-132.pdf> (12.11.2017)
- 61- Demir İ ve d. “Mermer Tozunun Gazbeton Üretiminde Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin araştırılması”, <http://i-sem.info/PastConferences/ISEM2014/ISEM2014/papers/A1-ISEM2014ID211.pdf> , (25.11.2017)
- 62- Dhanapandiana S ve Shanthib M, “Utilisation of Marble and Granite Wastes in Brick Products” , *Jr. of Industrial Pollution Control* 25 (2) (2009) pp 145-150
- 63- Mourinha L F, “Industrial Wastes of Marble and Sustainable Development. LIFE97 ENV/P/000154”, http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=1000&docType=pdf , (6.12.2017)

- 64- Cavelho J F, Patricia P H ve Luis F G, “Decision criteria for the exploration of ornamental-stone deposits: Application to the marbles of the Portuguese Estremoz Anticline” , Int J. of Rock Mechanics and Mining Sciences, V 45, Issue 8, 2008, P. 1306-1319
- 65-Öğretmen Z ve Seren A, “Investigating Fracture-Crack Systems with Geophysical Methods in Bayburt Kiratlı Travertine”, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6970438/> (7.12.2017)
- 66-Grandjean G ve Gourry J C, “ GPR data Processing in a Marble Quarry(Thassos, Greece), J App. Geophysics, 36(1996), 19-30
- 67-Acar H, “Doğal Taş Güçlendirme, İyileştirme ve Koruma Yöntemleri”, <http://www.inkatrade.com/files/Do%20C4%9FaTa%20C5%9FG%20C3%BC%20C3%A7le%20ndirme,%20C4%B0yile%20C5%9FfirmeveKorumaY%20C3%B6ntemleri.pdf> (7.12.2017)
- 68-Altınok A, “Agrega Üretiminde İş Sağlığı ve Güvenliğinin Değerlendirilmesi”, ÇSGB İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, <https://www.cs.gb.gov.tr/media/5009/aysegulaltinok.pdf> (26.11.2017)
- 69-7. Ulusal Kıрма Taş Sempozyumu, <http://agub.org.tr/7-ulusal-kirmatas-sempozyumu/> (26.11.2017)
- 70-Bretonstone slabs, <https://www.breton.it/en/engineered-> ,(11.12.2017)
- 71- Bretonstone Blocks, <https://www.breton.it/en/engineered-stone/bretonstone-blocks> , (11.12.2017)
- 72-Engineering Stone, <http://www.wikizero.org/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvRW5naW5lZXJlZ9zdG9uZQ> , (11.12.2017)
- 73- Carvalho E A S ve d. “ Development of Epoxy Matrix Artificial Stone Incorporated with Sintering Residue from Steelmaking Industry”, Materials Research. 2015; 18(Suppl 2): 235-239
- 74- High Purity Quartz in Kitchen Surfaces, <http://www.thequartzcorp.com/en/blog/2014/10/27/high-purity-quartz-in-kitchen-surfaces/98> , (11.12.2017)

ENDÜSTRİYEL KATI ATIK OLARAK MERMER ATIKLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ VE DEĞERLENDİRİLME ALTERNATİFLERİ

Fehiman ÇİNER¹, Neslihan Doğan-SAĞLAMTİMUR^{1,*}, M. Suat
DELİBALTA²

¹ Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

² Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

E-posta: neslihandogansaglamtimur@gmail.com

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun son yıllarda şehirlerde yoğunlaşması ve tüketimin artması sonucunda, miktarı hızlı bir artış gösteren katı atıkların uzaklaştırılması ve çevreye zarar vermeden depolanması büyük bir problem olmaya başlamıştır. Üretim ve dolayısıyla tüketimin artması sonucunda her geçen gün yeni ürünler keşfedilmekte ve bunlar atık miktarını daha da arttırmaktadır. Günümüzde bu atıkların azaltılması, mevcut atıkların potansiyel bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi, kullanılmış hammaddelerin yeniden kullanılması gibi atık yönetimi konuları giderek önem kazanmaya başlamıştır (Akbulut ve Gurer, 2006). Sanayileşmekte olan ülkelerde çevre bilincinin artmasıyla birlikte katı atıkların depolanmasında daha sıkı standartlar uygulanmaya başlanmıştır (Taşpolat vd., 2006).

Doğal kaynakların daha az tüketilmesi, çevre kirliliğinin daha aza indirgenmesi ve enerji maliyetlerinin azaltılması amacıyla endüstriyel atık kullanımı gün geçtikçe daha fazla ilgi çeken bir konu olmaktadır. Atıklar çevre sorununun yanı sıra birçok durumda depolanma zorunluluğundan dolayı ilave maliyet getirmektedir. Bu nedenle, birçok atık içeriğine bakılmaksızın ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır. Ancak, atık malzemelerin de bir değeri vardır ve atıklar katma değeri yüksek ürünlerin elde edilmesinde kullanılabilir (Beycioğlu vd., 2008; Yıldız vd., 2017).

Endüstriyel anlamda, ekonomik olarak kesilebilen ve parlatılabilen, bir ticari değeri olan her türlü kayaç “mermer” ismi altında belirtilmektedir (Kavas ve Kibici, 2001). Mermer, kalker ve dolomitik kalkerlerin basınç ve su etkileşimi altında başkalaşıma uğrayarak tekrar kristalleşmesiyle oluşan metamorfik kayaç olarak adlandırılmaktadır. Endüstriyel ve ticari anlamda ise mermer tanımlanması çok geniş bir anlam ifade etmektedir. Blok verebilen, kesilerek parlatma suretiyle cilalanabilen, dayanımı olan ve göze hoş görünen her türlü kayaç mermer olarak tanımlanmaktadır (Görgülü, 1994). Türkiye, Alp-Himalaya (tektonik) kuşağı içinde yer alması nedeniyle Dünya doğal taş rezervlerinin yer aldığı avantajlı ülkelerden biridir (Elçi vd., 2017). Türkiye’de uygulanan modern ocak üretim metotları ve son teknikler sayesinde rekabetin çok güçlü olduğu Dünya doğal maden pazarına uygun üretim ve pazarlama yapabilecek ürünler hazırlayabilen tesis sayımız artmış ve Türkiye Dünya doğal taş üretiminde lider 7 üretici ülke arasına girmiştir (Ural ve Yakşe, 2015).

Mermer yüzyıllardan beri kullanılagelmiş ve insanlık tarihinin her alanında yararlanılmış olan bir doğal taştır. İnsanlar mermeri gerek yapı taşı olarak gerekse de uygarlığın gelişmesine ve ilerlemesine paralel olarak sanatsal faaliyetlerde kullanmış ve kendi dönemlerinin sanat anlayışını mermerlere yansıtmışlardır. Günümüzde de bu değer ve önemi koruyan mermer pek çok alanda kullanılmaya devam

etmektedir. Mermerin günümüzdeki başlıca kullanım alanları, inşaat sektörü, dekorasyon, heykeltçilik, süs eşyalarının yapımı ve mezarlıktır. Bloktan üretilen plakalar ve diğer boyutlu ürünler, binaların iç ve dış kaplamasında, taban döşemesinde, merdiven basamaklarında, şömine, mutfak ve banyolarda, taşıyıcı sütunlarda kullanılır. İç dekorasyonda masa, sehpa, biblo, avize, kül tablası, vb. ürünlerin yapımında önemli miktarlarda özellikle damarlı mermer, renkli mermer, oniks mermeri ve yeşil somaki tüketilmektedir. Sanat malzemesi olarak anıtlar ve heykellerde ise en değerli mermer türü olan arı beyaz renkli ve düzenli tane yapılı mermer kullanılmaktadır (Taş ve Çakır, 2015).

Mermer endüstrisini son yıllarda ilgilendiren en önemli konu çevresel kirliliğe neden olan atıklardır. Mermer atıkları ocaklarda oluşan atıklar ve fabrikalarda oluşan atıklar olarak ikiye ayrılabilir. Birincisi mermer ocaklarında bulunan doğal durumlardan kaynaklı (fay, çatlak, yarık) blok üretimi sırasında; blok elde edilmemesine, dolayısıyla atık malzemelerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. İkincisi ise daha fazla çökeltme havuzlarında karşımıza çıkan mermer tozu atıklarıdır (Ural ve Yakşe, 2015).

Mermerlerin istenilen geometriye getirilebilmesi için bir takım kesme işlemlerinden geçmesi gerekmektedir. Kesme işlemi sırasında, kesici uçta ortaya çıkan ısıyı azaltmak ve mermerin tozumasını engellemek için soğutma suyu kullanılmakta ve sulu kesim yapılmaktadır. Su ile karışan 0-50 µm boyutundaki mermer partikülleri, ince şlam durumundaki bulamaç halini almaktadır. Bu bulamaç doğrudan araziye açılmış kuyulara doldurulmaktadır. Ayrıca bulamacın dışında, mermerlerin ocaktan çıkarılması sırasında da mermer üretiminden geriye kalan bütün mermer parçalar ve tozlar atık olarak kabul edilmektedir. Mermer atıkları, boyutlarına göre molozlar, kapaklar, paledyenler ve toz atıkları olarak adlandırılıp sınıflandırılmaktadırlar. Türkiye genelinde yıllık ortalama 1.750.000

ton mermer işlenmektedir (İpek vd., 2014). Tesislerde her yıl binlerce metreküp blok mermer üretimi yapılmakta ve ocaklardan çıkarılan mermer blokların %40-60'ı, fabrikalarda işlenilen mermer plakaların ise %30-35'i atığa çıkmaktadır (Çelik ve Sabah, 2008). Mermer tozları, mermer işleme atölyelerinde blokların ve plakaların kesilmesi esnasında açığa çıkan ve büyük çoğunluğu 1 mm'nin altında olan mermer tanecikleridir (Tozsın vd., 2015).

Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıkları olup mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi esnasında açığa çıkan, büyük çoğunluğu 1 mm'nin altında olan mermer tanecikleridir. Kesme işleminin suyla yapılması nedeniyle bu atıklar direkt olarak suya karışır; şlam halinde çöktürme havuzlarından veya kek olarak arıtma tesislerinde depolanır. Atıklar, değişik özelliklere sahip mermer tozlarından ve yabancı maddelerden oluşmaktadır (Ünal ve Kibici, 2001).

Mermer fabrikalarından üretim atığı olarak çıkan toz atıklar genellikle değerlendirilememekte, üstelik çevre kirliliği açısından da sorunlar yaratmaktadır. Mermer toz atıklarının değerlendirilmesine yönelik olarak uygulamaya sokulabilecek alternatifler, mermer fabrika işletmecilerine ve ülke ekonomisine kazançlar sağlayabileceği gibi, bu fabrikaların çevre kirletici özelliğini de önemli ölçüde azaltacaktır. Geçmişten günümüze mermer ocaklarında ve mermer işleme tesislerinde ortaya çıkan tozların değerlendirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar devam etmektedir (Erdem ve Öztürk, 2012; Kara ve Yazıcıoğlu, 2016). Mermer fabrikalarından çıkan atık tozların kullanılabilirliği endüstriyel açıdan kazanç olduğu kadar çevresel açıdan da bir sorunun giderilmesi anlamını taşımaktadır (Ceylan, 2000; Yıldız vd., 2017).

Yıllık mermer blok üretimi 550.000 ton civarında olup, işletme tesislerinin toplam plaka üretim kapasitesi 6,5 milyon m² civarında

olan ülkemizde, üretimdeki bu artış beraberinde atık oluşumunu da arttırmaktadır. Ülkemizde kesilen ve işlenen madenlerin %30'u atık olarak karşımıza çıkmaktadır (Görgülü, 1994). Bu atıkların çevreye olumsuz etkilerinin yanında ekonomik kayıplara neden oldukları da görülmektedir. Günümüzde değişik sektörlerde kullanılabilen bu atıklar, alternatiflerinin yerine kullanıldığı takdirde ham madde ihtiyaçları daha ekonomik olarak karşılanabilmektedir. Mermer atıklarının değerlendirildiği yerler; inşaat sanayi, seramik sektörü, çimento imalat sanayi, plastik sanayi, kâğıt sanayi, yol imalatı ve kimya sektörü olarak sıralanabilir (Ural ve Yakşe, 2015). Bu kitap bölümünde; mermer atıklarının su (yeraltı, yerüstü) kaynaklarına, havaya (atmosferik kirlilik), bitki örtüsü ve toprağa, görüntüye (görsel kirlilik) ve gürültüye etkileri konularına kısaca değinilmiştir. Endüstriyel katı atık olarak mermer atıklarının çevresel etkileri ve değerlendirilme alternatiflerine odaklanılmış; bu konular genel çerçevede ele alınmıştır.

2. TÜRKİYE DOĞAL TAŞ/MERMER REZERV VE ÜRETİM DURUMU

Dünyanın en zengin doğal taş rezervlerinin bulunduğu Alp-Himalaya (tektonik) kuşağında yer alan ülkemiz, 650'ye varan renk ve doku çeşitliliğine sahip mermerler açısından çok büyük bir potansiyele sahiptir. Bugünkü verilere göre; ülkemizde 4 milyar m³ işletilebilir mermer, 2,8 milyar m³ işletilebilir traverten, 1 milyar m³ granit rezervi bulunmaktadır. Bu değerlere göre, Türkiye Dünya doğal taş rezervinin yaklaşık %40'ına sahiptir (ETKB, 2017).

Tüm sektörde 2.468 adet mermer işletme izinli ruhsat sahası (mermer ocağı), fabrika ölçeğinde faaliyet gösteren yaklaşık 2.000 kadar tesis, orta ve küçük ölçekli 9.000 atölye faaliyet göstermektedir. İstihdam edilen kişi sayısı 300.000 civarındadır (ETKB, 2017).

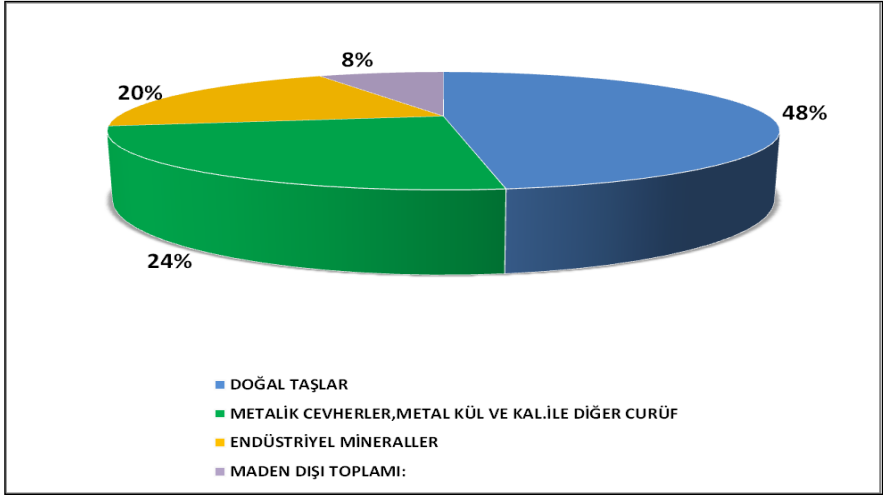
Üretimin tamamına yakın kısmı özel sektör tarafından yapılmaktadır. Üretimin en fazla olduğu iller; Balıkesir, Afyon, Bilecik, Denizli ve Muğla'dır. Bu bölgelerdeki üretim, tüm üretimin %65'ini oluşturmaktadır. Ekonomik mermer yataklarının bulunduğu diğer iller ise; Bursa, Kırşehir, Çankırı, Çorum, Kastamonu, Niğde, Kayseri, Artvin, Bitlis, Erzincan, Bayburt, Sivas, Tokat, Denizli, Kütahya, Eskişehir, Diyarbakır, Elazığ, Çanakkale, Konya, İstanbul ve Manisa'dır (İnanır vd., 2017).

2016 yılında 142,1 milyar \$ olarak gerçekleşen ülkemiz toplam ihracatından %2,7 pay alan madencilik sektörü ihracatı, bir önceki yıla göre %3,1'lik azalışla 3,79 milyar \$ olarak gerçekleşmiştir. Mermer, blok veya kesilmiş parlatılmış olarak ihraç edilmektedir. Doğal taş ihracatında katma değeri en yüksek ürün, işlenmiş mermer ve işlenmiş travertendir. Sektörün ihracat potansiyeli, yatırımlara paralel olarak hızla gelişmektedir. 2016 yılında en fazla ihraç edilen maden ürün grupları arasında doğal taşlar 6,5 milyon ton ve 1,8 milyar dolarla ilk sırada yer alırken bu ürün grubunu 3,63 milyon ton ve 930 milyon dolar ile metalik cevherler, 10 milyon ton ve 760 milyon dolarla endüstriyel mineraller, 219 bin ton ve 291 milyon dolarla ferro-alyajlar, mineral yakıtlar ile diğer ürünlerin ihracatı takip etmektedir (Şekil 1).

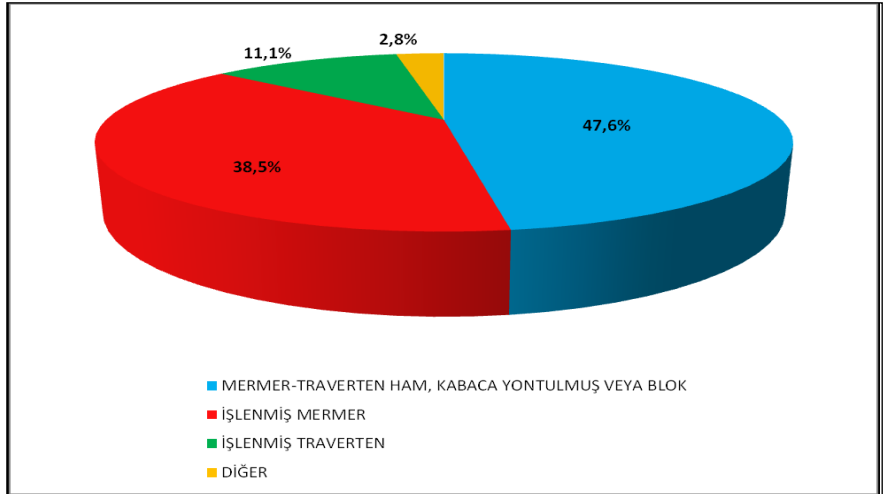
Dünya doğal taş ticareti potansiyelinin büyük bir kısmını oluşturan işlenmiş ürünler, 2016 yılında doğal taş ihracatımızda yaklaşık %49,6 paya sahipken, blok ürünler ise %47,6 pay almıştır (Şekil 2).

Söz konusu dönemde, doğal taş ihracatının yapıldığı ülkelerin başında 729 milyon dolarla Çin Halk Cumhuriyeti gelmektedir. Bu ülkeye olan ihracatımızda bir önceki yılın aynı dönemine oranla %0,33 oranında artış kaydedilmiştir. Çin'i sırasıyla 288 milyon dolarla ABD,

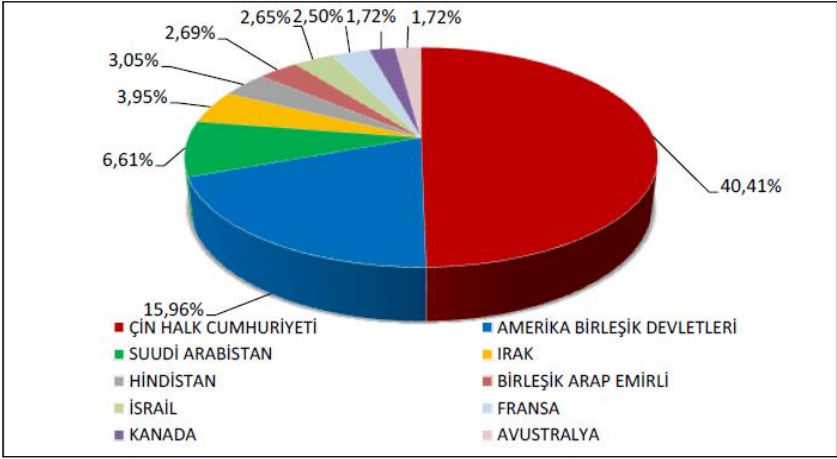
119 milyon dolarla Suudi Arabistan, 71 milyon dolarla Irak ve 55 milyon dolarla Hindistan izlemektedir (Şekil 3).



Şekil 1. Maden ihracatımızın mal gruplarına göre payları (%) (İMMİB, 2017)



Şekil 2. Doğal taş ihracatımızın ürün gruplarına göre dağılımı (%) (İMMİB, 2017)



Şekil 3. Doğal taş ihracatımızda ilk 10 ülke (%) (İMMİB, 2017)

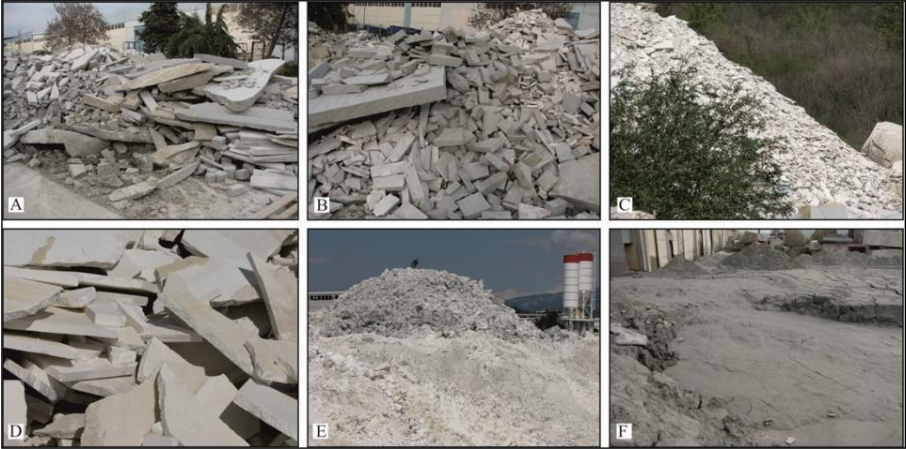
Maden İşleri Genel Müdürlüğü (MİGEM) maden üretim istatistiklerine göre ülkemizde yıllık yaklaşık 25 milyon ton (10 milyon m³) doğal taş üretimi gerçekleştirilmektedir. Ocak verimliliğinin en iyimser rakamla %25 olması durumunda bile ocakta kullanılmayan pasa şeklinde her yıl 75 milyon ton atığın doğaya bırakıldığı söylenebilir. 5 milyon ton blok ihracatı yapıldığına göre, bu durumda ülkemizde 20 milyon ton doğal taşın işlendiği sonucuna varılabilir. Fabrikada doğal taşların işlenmesi sırasında yaklaşık %40 oranında toz şeklinde kesim artıkları ve parça şeklinde paledyen artıkları oluşacaktır. Bunun miktarı da yıllık 8 milyon ton civarındadır. Tüm bu rakamlar bize; çevresel etkiler oluşturacak, yeniden kullanılması veya bertaraf edilmesi gereken doğal taş artıklarının miktarı konusunda bir fikir vermektedir (İnanır vd., 2017).

3. DOĞAL TAŞ/MERMER ATIKLARININ SINIFLANDIRILMASI

Doğal taş atıkları ortaya çıktıkları yerler göre; ocaklarda ve işleme tesislerinde oluşan atıklar olarak, boyutlarına göre de molozlar,

kapaklar, paladyenler ve toz atıklar olarak sınıflandırılır. Onargan, doğal taş işleme tesislerindeki atıkları, büyükten orta boyutluya kadar olan kırılmış parçalar (paladyen), orta boyuttan küçük boyuta kadar olan ince parçalar/ kırıntılar ve ince taneli sulu şlamlar olmak üzere üç grupta sınıflandırmıştır. Doğal taş atıklarının daha kapsamlı sınıflaması, Karaca ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Bu sınıflama sadece doğal taş işleme tesisleri atıkları değil, aynı zamanda doğal taş ocak atıkları da dikkate alınarak yapılmıştır (Elçi vd., 2017). Doğal taş atıklarını;

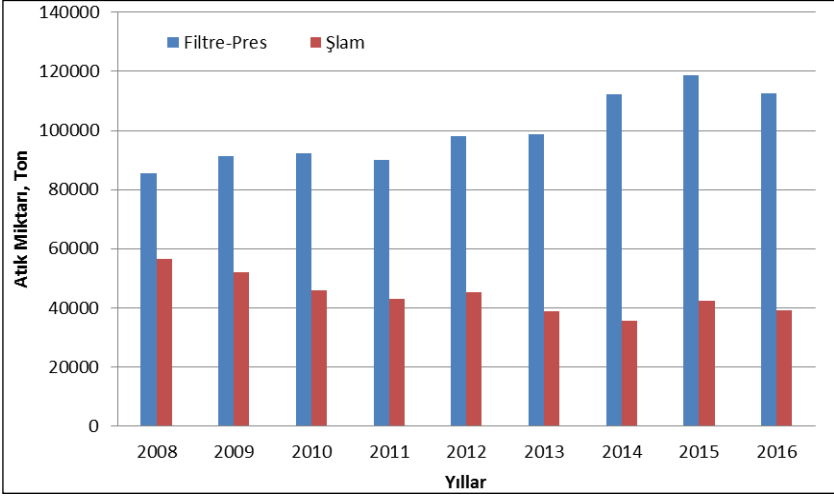
- **Katı atıklar:** Bu atıklar birkaç mm ile 100 cm arasında değişen boyutlardadır. Ocaklarda blok üretimden sonra arta kalan parçalar ve tesislerde kapak taşları ve paladyenler bu kategorideki atıkları oluşturur (Şekil 4).



Şekil 4. Doğal taş atıkları. Kapak taşları (A ve B), paladyen (C ve D), çamur ve şlamlar (Elçi vd., 2017)

- **Tozlar:** Ocakta susuz kesim yapıldığında ya da tesiste yüzey parlatma işlemi sırasında ortaya çıkan ağırlıklı olarak 100 µm'den daha küçük nadiren 150 µm boyutlarında olan kuru parçacıklardır.

- **Bulamaçlar ve çamurlar:** Gerek ocakta gerekse tesislerde her türlü kesim sonrası suyla taşınıp havuzlarda biriktirilen sulu doğal taş çamurlarıdır. Ocaklarda genellikle suyun hızlı burarlaşması ya da drene edilmesi nedeniyle kuru çamur halindeyken, tesislerde çökeltme havuzlarında bulamaç halindedirler (Şekil 5).



Şekil 5. Afyonkarahisar Merkez OSB mermer işleme tesislerinin artıklarının yıllar içindeki değişimi (İnanır vd., 2017)

Şekil 5’deki grafikler incelendiğinde, son yıllarda şlamdan ziyade filtre-pres şeklinde artıkların arttığı gözlenmektedir. Bunun sebepleri idari çevresel kısıtlamalar olduğu gibi ve aynı zamanda ekonomiktir. Bir kamyon atığın döküm sahasına nakliyesi 200 TL civarında olup 3 kamyon şlam atığın filtre-pres işlemleriyle bir kamyon indirildiği düşünülürse, şlam artıktaki azalma daha iyi anlaşılabilir. Bunun dışında; yazın artan inşaat sektörü ihtiyacına paralel olarak, artan mermer üretimi beraberinde artık miktarlarında da artışı getirmektedir.

4. DOĞAL TAŞ/MERMER TESİSLERİ VE ATIK MİKTARLARI

Madencilik; sanayi ve toplumsal yaşamın en önemli faaliyetlerinden birisidir. Madencilik amacı, ulusal kalkınma ve sosyo-ekonomik gelişme için gerekli olan enerji ve doğal hammaddeleri endüstriye sağlamaktır. Ancak, madencilik faaliyetleri sırasında ve sonrasında kaçınılmaz olarak; su rejimi, bitki örtüsü ve arazi bozulmaları, gaz emisyonları, atıklar, toz ve gürültü gibi pek çok çevresel problem meydana gelmektedir. Maden atıkları gerek miktar gerekse de farklı karakteristik (tehlikeli, tehlikesiz, inert) özellikler göstermeleri bakımından dikkatle yönetilmesi gereken bir atık türleridir (Delibalta ve Çiner, 2017).

Doğal taş işleme tesislerinde atık/artıklar; ham blokların ve molozların (düzgün yüzeylere sahip olmayan ham bloklar) kesilmesi ile elde edilen pasalar (Şekil 6), S/T (Diskli-Spiral/Testere) plakaları ile bunların yüzeylerinin işlenmesi ve son olarak kullanım amacına göre ebatlanması sırasında ortaya çıkmaktadır (İnanır vd., 2017).



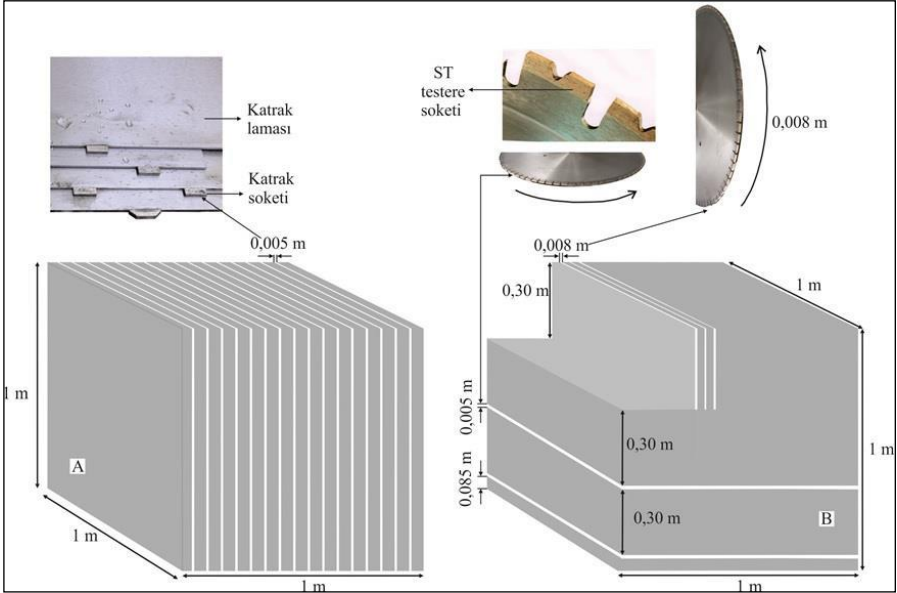
Şekil 6. İncehisar bir mermer işletmesinde pasa görünüşü (İnanır vd., 2017)

Doğal taş işleme tesislerinde ham blokların işlenmesi ile ortaya çıkan artık miktarı ekseri %30 olarak ifade edilmektedir. Bazı araştırmacılar bu miktarı %35-45 olarak ifade etmiştir. Bhatnagar, katrakta bir ham blok kesildiğinde ortaya çıkan artık miktarını en az %20 olarak hesaplamıştır. Ayrıca katrakta her zaman düzgün blokların kesilmediğini, moloz kesiminde bu miktarın %15-20 daha da artacağını belirtmiştir. Sonuç olarak bir ham bloğun doğal taş işleme tesisinde kesilip işlenmesi ve son ürün haline gelmesi ile ortaya çıkacak olan artık miktarını %30-40 olarak ifade etmiştir. Karaca ve arkadaşları ise, ham blok ve molozların işlenmeden önceki miktarları ile bunların doğal taş işlem tesislerinde işlenmesi sonrası elde edilen yarı işlenmiş ve işlenmiş ürünlerin miktarı dikkate alarak yapılan korelasyonla artık miktarını %40-60 aralığında olduğunu ifade etmişlerdir (Ceylan ve Mança, 2013).

Gerçek bir yaklaşımla doğal taş işleme tesislerindeki artık miktarı ancak tesise giren her bir ham bloğun veya molozun ağırlığından/hacminden, tüm işleme süreçlerinden sonra o bloktan ya da molozdan elde edilen nihai ürün ağırlığının/hacminin çıkarılması ile mümkün olabilir. Fakat doğal taş işleme tesislerinde bu veriler düzgün bir şekilde kayıt altına alınmadığından bu yöntemle doğal taş tesislerindeki artıkların hesaplanması mümkün değildir. Bu nedenle bu çalışmada bir ham bloğun ya da molozun kesilmesi ile ortaya çıkan artık miktarının teorik olarak hesaplanması önerilmiştir. Ham bloklar katrakta, molozlar da S/T makineleri ile kesilerek levha ve S/T plakası haline getirilirken ortaya çıkan artık miktarı, levhaların ve S/T plakaların kesim kalınlığına, kesici olarak tercih edilen makine tipine (Katrak ya da S/T) ve kesici yüzey (Katrak soketi ya da S/T soketi kalınlığına bağlı olarak değişir (Şekil 7).

Katrak ve S/T kesimlerinde ortaya çıkan atık miktarı teorik hesabı 1 m^3 'lük ham bloklar için yapılmıştır. Gerçekte doğal taş işleme tesislerinde kesilen ham blokların boyutları 1 metreden büyüktür. Bu

da ortaya çıkacak olan artık miktarını artıracaktır. Ayrıca, düzgün yüzeylere sahip olmayan molozların kesilmesi ve hem ham blokların hem de molozların süreksizlik içermesi ortaya çıkacak artık miktarını artıran sebeplerdir. Çizelge 1’de doğal taş ham bloklarının katrak ve S/T makinelerinde kesilmesi ve kesilen parçaların işlenmesi sonrası ortaya çıkan toplam artık miktarları %39,2 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. Blokların katrakta levha ve S/T makinelerinde S/T plakası şeklinde kesilmesi ve kesici soket kalınlıkları (Elçi vd., 2017)

5. MERMER ATIKLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ

Tüm ortamlarda meydana gelen kirlenmelerde etkin rol oynayan insan kaynaklı unsur, sanayidir. Sanayiye bağlı olarak ortaya çıkan katı, sıvı ve gaz şeklindeki atıklar, çevre kirliliğine yol açmaktadır. Mermer endüstrisi de bu ekseninde çevreye olumsuz etkileri olan faaliyetleri içermektedir. Özellikle üretim sonucu ortaya çıkan katı atıklar çevreye rastgele bırakılmakta, denetim ve geri kazanım yapılmadığından

doğaya olumsuz yansımaları olmaktadır. Mermer tozlarının rüzgar vasıtasıyla üretim yapılan çevreye yayılması da tarım, hayvancılık ve ulaşım gibi faaliyetler için uzun vadede olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir (Taş ve Çakır, 2015).

Çizelge 1. Doğal taş ham bloklarının katrik ve S/T makinelerinde kesilmesi ve işlenmesi sonrası ortaya çıkan atık miktarları (Elçi vd., 2017).

1m³ ham bloğun Katrakda levha kesimi sonrası ortaya çıkan artık miktarı			
Levha kalınlığı (cm)	Soket kalınlığı (mm)	Hacim (m ³)	%
1	5	0,335	33,5
2	5	0,20	20
3	5	0,145	14,5
Ortalama		0,227	22,7
1m³ ham bloğun S/T de plaka kesimi sonrası ortaya çıkan artık miktarı			
S/T plaka kalınlığı (cm)	Testere soket kalınlığı (mm)	Hacim (m ³)	%
2	8/5	0,267	26,7
3	8/5	0,213	21,3
Ortalama		0,240	24,0
1m³ ham bloğun S/T de fayans için plaka kesimi sonrası ortaya çıkan artık miktarı			
S/T plaka kalınlığı (cm)	Testere soket kalınlığı (mm)	Hacim (m ³)	%
2,8	8/5	0,41	41
Yüzey işleme ve ebatlama işlemi sonrası ortaya çıkan artık miktarı		10	
Toplam Artık Miktarı		39,2	

Çevreye doğrudan atık malzeme bırakmak çevre sorunlarına neden olabilir. Bu nedenle pek çok ülkede atık malzemelerin yeniden kazanımı sayesinde, çevreye daha az zarar vermek için çalışmalar yapılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde çevreyi korumak için katı kurallar vardır. Atıklar yeni ürünler üretmek için ya da doğal kaynakların tekrar kullanımı için dönüştürülür; böylece çevre atıklarla kirletilmekten korunur. Türkiye’de mermer tozu ve mermer parçalarının atık hale gelmesi tarım ürünlerinde olduğu gibi insan ve hayvan sağlığında da tehlike oluşturmaktadır. Ayrıca çevreye atılan atık maddeler görüntü kirliliğine sebep olmaktadır. Mermer atıklarının çevreyi olumsuz etkilediği beş alan bulunmaktadır. Bunlar; topografyanın değişikliğe uğraması, toprak işgaline neden olması,

yüzey ve yeraltı suyunun bozulması, hava kirliliği oluşturması ve görünümlü kirliliği oluşturmasıdır (Şekil 8) (Görgün ve Ural, 2015).



Şekil 8. Afyonkarahisar Merkez OSB Mermer depolama alanlarından görünümler (İnanır vd., 2017)

Mermer ocaklarında oluşan atıklar, Dünya genelinde etkisiz atık (inert) olarak değerlendirilmektedir. Ancak, bu atıklar, etkisiz atık olma özelliğine rağmen mermer sektörünün en önemli sorunlarından birisidir. Bu sorunun temelinde, halkın bilgilendirme eksikliği ve bu atıkların değerlendirilmeden yıllarca ocak sahalarında bekletilerek yapay atık dağlarının oluşması gibi hususlar yatmaktadır (Kun, 2013).

Uluslararası kabullere göre açık ocak işletmeciliğinin yarattığı çevre zararları: Her tarafta bilinen, genellikle yöresel, zamanla sınırlı, korunma yöntemleri iyi bilinen zararlar olarak tanımlanmaktadır. Buna rağmen açık ocak işletmeciliğinin çevre tahribatının herkes tarafından görülebilmek özelliğinden dolayı önemli ve tehlikeli olarak kabul edilir (Libicki, 1992).

Mermer atıklarının önemli bir kısmı ocaklarda blok alınma sırasında ortaya çıkmaktadır. Mermer ocaklarında blok alınmasını

sınırlayan en önemli unsur mermer yatağındaki kırık ve çatlakların durumudur. Bu tür atıkların miktarına, ocağın jeolojik yapısının yanı sıra yanlış üretim metodu uygulamak da sebep olabilir. Ocaklarda mermer atıklarının oluşmasına sebep olan bir diğer etken de sayalama işlemidir. Ocakların tektonik yapısına uygun olarak elde edilen çok büyük şekilsiz kütleler, çeşitli yöntemlerle istenilen ebatlarda alt, üst ve yanlarından kesilirler. Kesim sonucu ortaya çıkan bu atıklar ve blok elde edilmesi sonucu oluşan diğer tüm atıklar bir tarafta biriktirilir. Bu atıklar yükleyiciler vasıtasıyla kamyonlara yüklenerek pasa döküm sahasına dökülmekte ve yığınlar oluşturularak çevrede istenmeyen görüntüler oluşmaktadır. Bu tip ocak işletmeleri, çevrenin özelliğine bağlı olarak olumsuz etki yaratmaktadırlar. Her işletme bazı estetik kayıpların yanı sıra çevrenin kendine özgü niteliklerinin de yok olmasına neden olur (Nicholson, 1995; Akbulut ve Gurer, 2006).

1. Mermer tozu en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan ve büyük çoğunluğu da 300 µm altında olan mermer tanecikleridir. Kesme işleminin suyla yapılması nedeniyle mermer atıkları direkt olarak suya karışır, mermer çamurunu oluşturur ve suyla birlikte çökeltme havuzlarına taşınır (Gazi vd., 2012). Havuzlarda çökelen mermer tozu daha sonra atık sahalarına alınmaktadır. (Zorluer ve Usta, 2003). Bu kirleticilerin çoğu atık olarak kalmakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Atığın boyutu düşünülecek olursa mermer çıkarılması ve işlenmesi esnasında ülkemizde ciddi miktar da mermer tozu, katı atık ve mermer çamuru kirliliği oluşmaktadır (Gazi vd., 2012). Mermer atıklarının meydana getirdiği çevresel olumsuzluklar yanında, bu atıklar kullanım alanı bulamaması durumunda büyük ölçüde ekonomik kayba neden olmaktadır. Ülkemizde mevcut olan mermer rezervinin büyüklüğü ve mermer işleme prosesi içerisinde oluşan atık oranının yüksek olması göz önünde bulundurulduğunda,

oluşabilecek çevresel sorunlar ve ekonomik kayıpların da ne kadar büyük bir önem oluşturduğu açıkça görülmektedir (Tozsın vd., 2015).

Ülkemizde ve yurt dışında mermere olan talep hızla artmakta ve bunun sonucu olarak mermer sektörü ile uğraşan işletmelerin de sayısının artmasına neden olmaktadır. Bu işletmelerin büyüklüğü ve yoğunluğuna bağlı olarak çamur ve parça mermer atıklar açığa çıkmaktadır. Mermer işleme tesislerinde üretim atığı olarak çıkan bulamaç halindeki atıklar genellikle değerlendirilememekte ve doğrudan çevreye atılmaktadır. Bu atıklar çevre kirliliği açısından da sorunlar yaratmakta, ekosistemde yaşayan canlılar için de hayati risk teşkil etmekte, sağlık ve doğal görünümü bozucu etki yapmaktadır (İpek vd., 2014). Mermer fabrikalarında işlenen mermerlerin ortalama %30-35'inin üretim atığı olarak ortaya çıktığı belirtilmiştir. Ülkemizde mermer blok işleme sonrası çok fazla miktarlarda mermer tozunun değerlendirilmeden atıldığı göz önüne alındığında böyle bir potansiyeli sanayide değerlendirmek, ulusal ekonomiye önemli kazanımlar sağlayacaktır (Köse ve Diker, 1999).

6. MERMER ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLME ALTERNATİFLERİ

6.1. Mermer Endüstrisi Atıklarının Değerlendirilme Biçimleri

Doğal hayatı korumak için yapılan çevresel çalışmaların en önemlisi, doğal kaynakların kullanımının azaltılmasını sağlayan atıkların geri dönüşümüdür. Beton üretiminde betonun dayanımı ve dayanıklılığı üzerine yapılan çalışmalarda değişik malzeme ve metotlar kullanılmaktadır. Kullanılan bu malzemelerden birisi de mermer tozudur. Mermerlerin düzgün geometrik şekil alabilmesi için kesilmesi gerekmektedir. Kesme işlemi sonunda mermer tozu ortaya çıkmaktadır. Mermer tozları sedimantasyon yöntemi ile çökeltilmekte veya doğrudan araziye bırakılmaktadır. Dolayısıyla çevre kirliliğinin

azaltılması için mermer tozlarının farklı endüstri alanlarında değerlendirilmesi faydalı olacaktır (Terzi ve Kardeş, 2003; Gökçer vd., 2015).

Mermer endüstrisinin parça ve toz artıkları bir çok alanda değerlendirilebilmektedir. Mermer üretimi ve mermerin işleme sürecinde açığa çıkan parça mermer atıkları, belirli bir boyuta kırılarak ya da bazı işlemlerden geçirilerek farklı endüstriyel alanlarda kullanılabilir. Bu alanlar, mineral sıva yapımı, paledyen yer döşeme, mozaik döşeme, ekşitilmiş parça döşeme, yapay döşeme, agrega (mıcır) üretimi ve metalürji sanayi gibi alanlardır (Şekil 9). Toz mermer artıklar ise, çimento, seramik, kağıt, soda, cam, boya, plastik sanayilerinde, kireç, çelik ve refrakter tuğla üretimi yapımında ve tarım sektöründe kullanılabilir (Kun, 2013).



Şekil 9. Sert taş artıklarının parke taşı (A-F) ve paledyen (G-I) olarak değerlendirilmeleri (Elçi vd., 2017)

Teknolojik ve ekonomik değeri olan mermer atıklarının değerlendirilmesi ne yazık ki çok düşük seviyede kalmaktadır. İnşaat sektöründe de bu atıkların geri dönüşüm döngüsü içerisinde kullanım alanı ve yaygınlığı, atıkları ortadan kaldıracak düzeyde değildir. Atık ürünlerin depolanması ya da doğal çevreye atılması çevre kirliliğine ve doğal kaynakların kirlenmesi gibi sorunlara neden olmaktadır. Günümüzde atık ve artık olarak ortaya çıkan malzemelerin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü konusunda yoğun olarak çalışılmaktadır. Kaynakların sürdürülebilir ve yenilenebilir halde kalabilmesi için ortaya çıkan atıkların uygun şekilde değerlendirilip geri kazanım döngüsü içerisinde kullanılması kaçınılmazdır. Atıkların yeniden kullanımı veya geri dönüşümü; sınırlı olan doğal kaynakların kullanımını azaltarak, doğanın tahrip edilmesini önlemekte, üretimde verimliliği artırmakta ve atık depolanması sonucu oluşacak çevre problemlerini en aza indirmektedir (İpek vd., 2014).

Üretimi ve işlenmesi esnasında meydana gelen atık miktarı %60'lara ulaşan mermer sektörü de yeniden kullanım için önemli miktarlarda hammadde açığa çıkarmaktadır. Meydana gelen atıklar toz ve parça atıklar olmak üzere ikiye ayrılmakta ve bunlar çeşitli şekillerde değerlendirilmektedir. Bu atıklardan inşaat sektöründeki değişik alanlarda yararlanma yöntemleriyle ilgili literatürde çeşitli çalışmalar yapılmakta, sanayideki bazı uygulamaları günlük hayata yansımaktadır (Gurer vd., 2004).

Son yıllarda çevre kirliliğinin azaltılabilmesi amacıyla atık malzemelerin inşaat sektöründe değerlendirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır (Şekil 10). Atık malzemelerin yeniden kullanılabilirliği, sınırlı olan doğal kaynakların kullanımını azaltmakta ve atıkların depolanması sorununu da ortadan kaldırmaktadır. Mermer ocakları ve mermer işleme tesislerinde her yıl tonlarca mermer tozu atığı ortaya çıkmaktadır. Atık mermer tozunun kullanılabilir olduğu

sektörlerden birisi de hazır beton sektörüdür (Yazıcıoğlu ve Kara, 2015).



Şekil 10. Tanbur makinesi (A, B ve C), Tanburlanmış doğal taş artıkları (D-L) (Elçi vd., 2017)

Mermer işletmeciliğinde moloz toz ve paledyen ürünleri satılabilir ve değerlendirilebilir bir hammadde olmaları sebebiyle artık bir madde olup, üretim esnasında ortaya çıkan havuz çökeltileri de çeşitli işlemlerden sonra işe yarayan hem bir hammadde hem de ekonomik açıdan değerli bir malzeme olabilir (Ünal ve Uygunoğlu, 2004).

2. Mermer atıklarının en iyi kullanım alanlarından birisi, asfalt yol kaplamaları ve kullanılan agreganın (atık mermer) sertlik derecesine göre yol yüzey kayma tabakasında veya binder tabakalarında kullanımındır (Akbulut ve Gurer, 2003). Mermer atıklarının beton üretiminde kullanılması üzerine yapılan bir çalışmada (Ünal vd., 2003), beton üretiminde ince malzeme oranının %10'u mermer tozu ile yer değiştirmesi halinde basınç dayanımında belirli bir artış yaptığını belirtmiştir.

Mermer toz atıkları özellikle mermer işleme fabrikalarının civarında önemli çevre sorunları oluşturmaktadır. Bu nedenle bu malzemelerin yol üst yapı inşaatında değerlendirilmesi ekonomiye ve çevreye önemli bir katkı getirecektir. Filler, bitümlü karışımlarda ince agrega oranını arttırmak, boşluk miktarını azaltmak ve yüksek sıcaklıklarda asfalt betonunun deformasyona karşı dayanımını arttırmak için kullanılır. Yapılan araştırmalar asfalta katılan mermer tozunun asfalt yaşlanmasını önemli oranlarda geciktirdiğini göstermiştir. Eklenen mermer tozu asfalt çimentosunun viskozitesinin artmasını sağlayarak teker izi deformasyonlarının azalmasında faydalı olmaktadır (Little ve Epps, 2001). Mermer toz atıklarının asfalt betonu karışımında filler malzemesi olarak kullanılabilirliği üzerinde yapılan çalışmalar, taş tozu filler malzemesinin az bulunduğu veya bulunmadığı yerlerde, mermer tozunun filler malzemesi olarak bitümlü karışımlarda değerlendirilebileceğini göstermiştir (Çetin, 1997; Terzi ve Karaşahin 2003). Bunun dışında mermer toz atıkları sıva katkı malzemesi, çimento üretiminde katkı malzemesi, kireç üretiminde, kalsine dolomit üretiminde, refrakter malzeme olarak inşaat sanayinde çeşitli şekillerde kullanılmaktadır (Gurer vd., 2004).

Mermer toz atıklarından yararlanılan diğer önemli alanlardan birisi de bozuk zemin özelliklerinin iyileştirilmesinde kimyasal katkı maddesi olarak mermer tozunun filler katkı malzemesi olarak kullanımudur. İlk çağlardan günümüze kadar kullanıldığı bir diğer yapı malzemesi de betondur. İnsanlar, barınma, savunma vb. amaçlarla inşa ettikleri yapıları, zemin üzerine ya da zeminin içine inşa etmişlerdir. Böylece zeminin temel yada inşaat malzemesi olarak kullanılmasıyla çeşitli problemlerle karşılaşmaya başlanmıştır. Karşılaşılan problemlerde zeminlerin stabilizasyonu çok eski tarihlere kadar dayanmaktadır. Zeminin özelliklerinin iyileştirilmesinde katkı maddeleri olarak ilk uygulamalarda bitki köklerinden yararlanılmıştır.

Günümüzde değişik kimyasal maddelerle farklı uygulamalarda bulunmaktadır (Gurer vd., 2004).

Bu nedenle, farklı sektörlerde mermer tozu ve mermer parçalarının kullanımı çevrenin korunmasına yardımcı olacaktır. Bir taşıyıcı olarak zemin, üzerine yapılacak yapı için uygun özelliklere sahip olmayabilir. Bu durumda çözüm yapı yerini değiştirmek veya zemin özelliklerini iyileştirmekle elde edilebilir. Birinci çözüm her zaman mümkün değildir; bu durumda zemin özelliklerinin iyileştirilmesi yoluna gidilmektedir. Zemine katkı maddeleri katarak yapılan iyileştirme yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Son zamanlarda ise, katkı maddeleri olarak atık malzemelerin kullanımı söz konusu olmaktadır. Bu durum, zeminlere istenen özellikleri kazandırırken atık malzemelerin de değerlendirilmesini ortaya çıkarmaktadır. Mermerin işlenmesi esnasında oluşan ve çökeltme havuzlarında biriken mermer tozu bu malzemelerden biridir. Mermerin kimyasal bileşiminin kireçle büyük benzerlik göstermesi ve mermer tozu taneciklerinin çok küçük boyutlu olması, ince taneli zeminlerin iyileştirilmesi için kireç yerine mermer tozunun kullanılabilceği fikrine neden olmuştur. Artan şehirleşmeyle birlikte yeni yollara, konut binalarına ve hizmet binalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum taşıma gücü yüksek olmayan zeminler üzerine de yollar ve binalar inşa edilmesi durumunu ortaya çıkarmaktadır. Yüksek şişme/büzülme potansiyeline, aşırı oturmaya ve düşük dayanıma sahip killi zeminler ise her ne kadar mühendislik yapısı iyi projelendirilmiş olsa da yapılar için sorun oluşturmaktadır. Bu problemlerin azaltılmasında, katkı maddeleri ile zemin iyileştirme yoluna gidilebilir. Zemin iyileştirilmesinde çimento, uçucu kül, kireç, bitüm, mermer atığı gibi maddeler kullanılabilir. Katkı maddeleri tek başına zemin iyileştirmesinde kullanıldığı gibi katkı maddelerine atık maddeler de ilave edilerek zemin iyileştirmesi sağlanabilir. Buna ilave olarak mermer tozu zeminlerin gerek dayanımını arttırmada (Ural vd.,

2014) gerekse de zeminlerin şişmesinin azaltılmasında (Gandhi, 2013) kullanılmıştır. Ayrıca mermer toz atıkları da kullanılarak yol inşaatlarında temel ve alt temel malzemesi olarak atıklar değerlendirilmiştir (Okagbue ve Onyeobi, 1999).

Bunun yanında, ülkemizde mermer ocaklarında genel olarak blok veriminin çok düşük olması nedeniyle büyük miktarlarda artık oluşmaktadır. Blok alınmasında jeolojik yapı olarak mermer yatağındaki kırık, çatlak ve eklem sistemleri en önemli husus olup, bunun dışında, blok veriminin düşmesinde, hatalı ocak yeri seçimi ve plansız üretimin de etkili olduğu bilinmektedir. Üretim sonucu açığa çıkan artıkların gelişigüzel çevreye atılması nedeniyle, artık yığınlarının kayması şeklinde meydana gelebilecek tehlikeli durumlar söz konusu olmaktadır. Ayrıca üretimin artması ile artan artık miktarı nedeniyle, daha fazla depolama alanı ihtiyacı doğmakta ve orman, mera ya da tarım arazi kullanımı da artabilmektedir. Üretim sonucu ortaya çıkan artıkların başka endüstriyel alanlarda değerlendirmeye alınmaması da, uzun yıllar sonucu biriken bu artıkları, görüntü kirliliği açısından yapay artık dağları olarak karşımıza çıkarmaktadır (Demir ve Güngör, 2013).

Mermerin gerek üretimi sürecinde gerekse işleme tesislerinde işlenmesi sürecinde açığa çıkan parça mermer atıkları, belirli bir boyuta kırıldıktan sonra farklı kullanım alanları bulabilmektedir. Bunlar beton ve asfalt karışımlarda agrega, yol zemini ve baraj inşaatlarında dolgu malzemesi, suni mermer plağı, karosiman ve bir mermer süsleme sanatı olarak antik taş yapımında kullanılmasıdır. Betonda basınç dayanımını belirleyen önemli özelliklerden birisi de agregaların özellikleridir. Özellikle mermer ocaklarında açığa çıkan mermer parça atıklarının agrega olarak değerlendirilmesi ile ilgili özel girişim örnekleri Afyonkarahisar ili çevresinde görülmektedir (Gurer vd., 2004).

3. Mermer toz atıklarının asfalt betonu karışımında filler malzemesi olarak kullanılabilirliği üzerinde yapılan çalışmalar, taş tozu filler malzemesinin az bulunduğu veya bulunmadığı yerlerde, mermer tozunun filler malzemesi olarak bitümlü karışımlarda değerlendirilebileceğini göstermiştir (Çetin, 1997; Terzi ve Karaşahin, 2003). Mermer toz atıkları sıva katkı malzemesi, çimento üretiminde katkı malzemesi, kireç üretiminde, kalsine dolomit üretiminde, refrakter malzeme olarak inşaat sanayinde çeşitli şekillerde kullanılmaktadır (Ceylan ve Mança, 2013).

4. Zorluer ve Usta 2003 yılında yaptıkları çalışmada, atık mermer tozunun zemin iyileştirmesinde kullanılabilirliğini araştırmış ve Meşelik kilinin şişme potansiyeli üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Numuneler, Meşelik kilinin kum ağırlığına göre atık mermer tozu ile belirli oranlarda karıştırılarak standart proctor sıkıştırma enerjisinde hazırlanmıştır. Numunelerin şişme yüzdeleri odometre deneyleri ile belirlenmiştir. Deney sonuçları, atık mermer tozunun killerin şişme potansiyelini etkilediğini göstermiştir ve atık mermer tozunun zemin iyileştirmesinde kullanılabilir bir malzeme olduğunu belirtmiştir.

5. Yapılan başka bir çalışmada mermer tozlarının geçirimsiz tabakalarda, mevsimsel sıcaklık farklılıklarından kaynaklanan donma-çözünme ile tabakalarda oluşan deformasyon miktarları araştırılmıştır. Geçirimsiz kil tabakası için Kaolinit+Bentonit (90K+10B) karışımı belirlenmiştir. Bu numuneye %5, %10, %15 oranlarında atık mermer tozu ilave edilmiştir. Kullanılan karışımların mevsimsel sıcaklık farkları sonucu ortaya çıkan donma/çözülme etkilerine karşı dayanımı araştırılmıştır (Taşpolat vd., 2006).

Atık mermer parçaları ve tozunun asfalt kaplamalarda iki şekilde kullanımı mümkün olabilir: Sürtünme tabakası ve binder tabakasında agrega olarak, diğeri ise bağlayıcı katkı malzemesi veya ince malzeme olarak kullanılır. Atık mermer parçalarının asfalt yol

kaplamalarında agrega olarak kullanımı bu malzemelerin değerlendirilmesi için en uygun yollardan birisidir (Akbulut ve Gurer, 2003).

Araştırmalar atık mermer bulamaçların reaktif pudra betonda kullanılan kuvars pudrasının yerine kullanılabileceğini göstermektedir. Numuneler üzerinde basınç ve eğilme dayanımı, kırılma tokluğu, ultrases geçiş hızı, schmidt test çekici deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak basınç dayanımının mermer bulamacı katılması sonucu çok az bir miktarda (%6) azaldığı görülmüştür. Eğilme parametrelerinde ise kayda değer bir etkiye sebep olmadığı gözlemlenmiştir. Birim maliyet analizleri, kuvars pudrası yerine mermer bulamacı kullanılmasının eğilme dayanımında %2,5, kırılma tokluğunda ise %6,12 oranında ekonomik olduğunu göstermektedir. Reaktif pudra betonda mermer bulamacının kullanımıyla hem ekonomi hem de doğaya zararlı bir atığın bertaraf edilmesi sağlanabilecektir (İpek vd., 2014).

6.2. Mermer Atıklarının Kullanıldığı Alanlar Seramik sektörü

Bu sektörde yaklaşık %5-6 civarında mermer kullanılabilmektedir. Seramik bünye ve sırlarında CaO olarak bünyeye alınan hammadde kaynakları genel olarak; kalsit, dolomit ve mermerdir. Bünyedeki CaO sırdaki SiO₂ ile reaksiyona girerek bir ara tabaka oluşturur. Bu ara tabaka seramik teknolojisinde çok önemlidir. CaO sır içindeki diğer oksitlerle birleşerek cam oluşumuna yardımcı olmaktadır. Ayrıca bu tabaka sayesinde gerilimleri emerek çatlama önler (Kavas ve Kibici, 2001; Bilgin ve Koç, 2013).

Çimento sanayii: Çimento; CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ ve eser halde MgO içerir, esas itibarıyla kalker ve kil karışımı olan, klinkerleşme sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra, gerektiğinde alçı, vb. katkı maddeleri karıştırılıp öğütülerek toz halinde elde edilen bir

malzemedir. Çimento sanayinde her ne kadar çok miktarda CaCO_3 bileşimli hammaddeler kullanılırsa da, mermer -yapısı ve oluşum mekanizmasından dolayı- sadece beyaz portland çimentosu yapımında kullanılmaktadır (Kavas ve Kibici, 2001; Ünal ve Uygunoğlu, 2004; Bilgin ve Koç, 2013).

Plastik sanayii: Plastik malzemelere doluluk, kalınlık ve tokluk vermek amacı ile bünyeye çeşitli dolgu maddeleri katılmaktadır. Bu dolgu maddelerinden birisi de mermerdir. Ayrıca, mermer plastik bünyeye girince yüksek sıcaklığa karşı dayanım ve taneli yapı kazandırma gibi özellikleri bünyeye katar (Ünal ve Uygunoğlu, 2004; Bilgin ve Koç, 2013).

Kağıt sanayii: CaCO_3 kağıt sektöründe dolgu yada kaplama malzemesi olarak kullanılır. Özellikle sigara kağıdı başta olmak üzere (düzenli yanmayı sağlar) gazete kağıdı, kaliteli kitap ve dergi kağıtları üretiminde kullanılmaktadır. CaCO_3 'ün yağ emme özelliğinden dolayı matbaada mürekkebinin hızlı kurumasını sağlar (Ünal ve Uygunoğlu, 2004). Kağıt imalatında selülozun pişirilmesi sırasında sıvının hazırlanmasında mermer kullanılmaktadır (Bilgin ve Koç, 2013).

Tarım ve gübre sanayii: Topraktaki kalsiyum miktarına bağlı olarak toprağın ihtiyaç duyduğu kireç miktarı ile onun asit, baz ya da nötr karakteri ile pH değeri belirlenir. Toprak için ihtiyaç duyulan kalsiyum miktarı sürekli olarak doğal etkilerle (yağmur gibi) azaldığı için belirli sürelerde toprağa kalsiyum ilavesi (mermer atıkları ya da kireç gibi maddelerle) yapmak toprak ıslahı için gereklidir (Ünal ve Uygunoğlu, 2004).

Yem sanayii: Özellikle yumurta yemlerinde CaO veya CaCO_3 olarak boyutu 2 mm altında olan toz katılmaktadır. Bu oran %10-12 arasında

değişmektedir. 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 CaCO₃ bulunan mermerler bu amaç için kullanılmaktadır (Bilgin ve Koç, 2013).

Boya sanayii: Boya imalatında katkı maddesi olarak kullanılan kalsit (CaCO₃), özellikle sulu boyalar için önemlidir. Bunun için 10 µm'nin altında ve çok saf kalsit kullanılmaktadır. Kalsitin içindeki demir oksit oranı % 0,03'ten az olması istenmektedir. Bu nedenle boya sanayinde -gerekli işlemlerden geçtikten sonra- mermer tozu atığı kullanılabilir (Ünal ve Uygunoğlu, 2004; Bilgin ve Koç, 2013).

Yol yapımı ve demiryolu zemin malzemesi: Mermer atıkları, stabilizasyon malzemesi olarak yollarda kullanılır. Yol zeminindeki kil mineralleri ile birleşerek plastisite, genleşme ve kabarma katsayılarına etki eder. Ayrıca mıcır olarak da yol yapımında kullanılmaktadır. Demiryoluna sağlam bir zemin oluşturmak için öncelikle zemine bazalt 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 korunmaktadır (Ünal ve Uygunoğlu, 2004).

Cam sanayii: Magnezyum ve kalsiyumca zengin kireçtaşları içeren mermer atıkları kullanılır. Kalsiyumca zengin olan malzeme şişe ve pencere camı, magnezyumca zengin olanlar ise özel cam imalinde kullanılmaktadır (Bilgin ve Koç, 2013).

Kimya Sanayii: Mermer atıkları bu sanayide 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 (Bilgin ve Koç, 2013).

Diğer Kullanım Alanları: Mermer atıkları bu alanlar dışında soda imalatında, refrakter malzeme imalatında, oto lastiği imalatında, patlayıcı malzeme imalatında, temizlik malzemeleri, haşere öldürücü ilaçlarda ve kaynak elektrot imalinde kullanılır. Ayrıca madencilikte yer altı işletmeleri, cüruf yapıcı, flotasyonla, kalsine dolomit üretiminde kullanılır (Bilgin ve Koç, 2013).

Toz mermer atıklar; zirai kireçtaşı, zirai toprak ve zemin ayarlayıcı, yem ve mineralli besinler, sıva katkı malzemesi, çimento üretimi, kireç üretimi, kalsine dolomit üretimi, cüruf yapıcı malzeme, refrakter malzeme, asit nötrleştirmede, cam üretiminde, kağıt üretiminde, şeker rafinasyonunda, baca gazından kükür- dün gideriminde kullanılmaktadır (Bilgin ve Koç, 2013).

Mermer artıkları öğütülerek toz haline getirilmiş ve mermer atıkları balata dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Çeşitli katkı maddeleri kullanılarak yeni formülasyonlu fren balataları üretilmiştir. Balata özelliklerini iyileştirmek amacıyla balata bileşiminde metalik parçacıklar, granit tozu, mermer tozu ve barit kullanılmıştır. Mermer tozu fren balatası üretiminde farklı oranlarda kullanıldı. Böylece mermer tozunun frenleme performansına etkisi incelenmiş oldu. Mermer tozunun frenleme performansında olumlu sonuçlar verdiği gözlemlendi. Bu sonuçlar ışığında fren balatasında mermer tozu kullanılması hem mermer atıklarının değerlendirilmesi hem de üretim maliyetinin azaltılması açısından önemlidir (Kılıç, 2010).

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğal taş ocaklarından üretilen ham blokların ve molozların, doğal taş işleme tesislerinde katrak veya S/T kesimi ve elde edilen levha ve S/T plakalarının işlenmesi sonrasında %40 oranında bir atık ortaya çıkmaktadır. Atıkların boyutunun çeşitli olması, miktarların çokluğu ve yeniden kullanıma kazandırılması oranının çok düşük olması, işletmeleri stoklama veya işletmeden uzaklaştırma noktasında ek maliyet yüklemekte, fabrika ve yakın çevresinde çevresel açıdan sürekli sorun oluşturmaktadır.

Üretim sürecinden açığa çıkan toplam atık oranının %40 civarında olduğu göz önüne alındığında, değerlendirilebilen oranın tahmini %1-2 olduğu öngörülebilir. Doğal taş sektöründeki gelişme süreci dikkate alındığında, önümüzdeki 5-10 yıl içerisinde üretimin birkaç kat artacağı açıktır. Buna bağlı olarak, hammadde niteliğinde olan doğal taş atık miktarının artacağı beklenen bir sonuçtur. Bu nedenle, %40 civarında olan atık oranını kullanılabilir hale dönüştürmek için bölgeler bazında merkezi AR-GE tesisleri kurulmalı, mermer artıkları bu merkezlerde toplanmalı, kullanılabilir boyutlara ya da duruma getirilmelidir. Diğer taraftan inşaat ve inşaat malzemesi sektörlerinde kullanımı teşvik edilmeli ve belirli oranlarda kullanımı zorunlu kılınmalıdır. Günümüzden başlayarak bu tür çözümler uygulamaları yapılmadığı sürece yakın gelecekte çok daha büyük çevresel sorunlarla karşı karşıya kalınacaktır.

Doğal taş atıklarının kimyasal bileşimi, kesilen doğal taşın mineralojik bileşimiyle doğrudan ilgilidir. Ülkemizde CaCO_3 içerikli gerçek mermer ve kireçtaşları büyük oranda kesilip işlendiğinden, atıkların bileşimi de önemli oranda CaCO_3 içermektedir. Mermer artıkları, özellikle CaCO_3 içeriğindeki mermer artıkları başta olmak üzere; inşaat sanayinde, seramik sektöründe, çimento sanayinde, plastik sanayinde, kağıt sanayinde, tarım ve gübre sanayinde, yem

sanayinde, boya sanayinde, yol yapımında, demiryolu zemin malzemesi olarak, cam sanayinde, kimya sanayinde ve diğer birçok alanda kullanılmaktadır.

Sanayinin gelişmesi ile mermer kullanımını arttırmıştır. Mermer ocak işletmeciliği ve üretim tesislerinde ortaya çıkan parça ve toz boyutundaki, atıkların miktarı oldukça fazladır. Büyük oranlardaki bu atıkların geri kazanımı ve yeniden kullanımı hem çevrenin hem de doğal kaynakların korunması bakımından önem taşımaktadır. Yapılan araştırmalarda çevre için büyük tehdit unsuru olan mermer atıklarının inşaat sektöründe kullanılabilirliği üzerine yapılacak çalışmaların geri dönüşüm mekanizmaları oluşturma açısından önemli olduğu görülmüştür. Türkiye’de kullanılmayan mermer atıkları önemli ekonomik kayıptır. Bu malzemelerin ekonomiye kazandırılması gerekmektedir. Kullanılan mermer atıklarıyla sadece enerji tasarrufu yapılmaz, büyük oranda çevreye ve tarım arazilerine verilen zararlarının da en aza indirilmesi gerekmektedir (Görgün ve Ural, 2015).

Mermer atıklarının genel “atık” kapsamında değil, çevreye zarar vermeden tekrar değerlendirilebilen hammadde/kaynak olarak ele alınması daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Üretim sonucunda arta kalan artıklar inert/etkisiz atıklardır. Mermer atıklarının değişik endüstri dallarında günden güne daha çok kullanım alanı bulması, bu atıkların madencilik sektörü için bir atık değil, değerlendirilebilir bir ürün olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır (Kun vd., 2013).

KAYNAKLAR

Akbulut H., Gurer C. (2003) Mermer atıklarının çevresel etkileri ve yol katmanlarında kullanılarak faydalanma ve atık azaltma imkanları, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı (18-19 Aralık 2003), s. 371-378, Afyonkarahisar/Türkiye.

Akbulut, H., Gurer, C. (2006) Atık mermerlerin asfalt kaplamalarda agrega olarak değerlendirilmesi, İMO Teknik Dergi, s. 3943-3960.

Beycioğlu, A., Başığit, C., Subaşı, S. (2008) Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanımı ile geri kazanılması ve çevresel etkilerinin azaltılması, Çevre Sorunları Sempozyumu Bildiriler Kitabı (14-17 Mayıs 2008), s. 1386-1394, Türkiye.

Bilgin, Ö., Koç, E. (2013) Mermer madenciliğinde çevresel etkiler, Madencilik Türkiye Dergisi, 68-79.

Celik, M.Y., Sabah, E. (2008) Geological and technical characterization of Iscehisar (Afyon-Turkey) marble deposits and the impact of marble waste on environmental pollution. Journal of Environmental Management, 87, 106-116.

Ceylan, H. (2000) Mermer fabrikalarındaki toz mermer atıklarının ekonomik olarak değerlendirilmesi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 53 s., Isparta.

Ceylan, H., Mança, S. (2013) Mermer parça atıklarının beton agregası olarak değerlendirilmesi, SDU Teknik Bilimler Dergisi, 3, 2, 21-25.

Çetin, A. (1997) Endüstriyel atıkların asfalt beton kaplama karışımında değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 99 s., Eskişehir.

Demir, B.G., Güngör, N. (2013) Mermer madenciliği ve çevre, İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi, 20, 7-14.

Demirbas, O., Karadağ, A., Alkan, M., Dogan, M. (2008) Removal of copper ions from aqueous solutions by hazelnut shell, Journal of Hazardous Materials, 153, 677-684.

Delibalta, M.S., Çiner, F. (2017) Türkiye’de maden atıkları yönetimi ve çevresel boyutu üzerine bir araştırma, Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu-ISME2017 Bildiriler Kitabı (27-29 Eylül 2017), s.3-17, Bodrum/Türkiye.

Dlamini, H.M. (2009) An evaluation of lime requirement methods for agricultural soils in East Texas, MSc Thesis, Stephen F. Austin State University, 99 p., USA.

Elçi H., Hacımustafaoğlu, R., Yılmaz, M., Yılmaz, Ö. (2017) Ham madde kaynağı olarak doğal taş artıkları Torbalı-İzmir örneği, Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu-ISME2017 (27-29 Eylül 2017), s.1029-1043, Bodrum/Türkiye.

Erdem, R.T., Öztürk, A.U. (2012) Mermer tozu katkısının çimento harcı donma-çözünme özellikleri üzerine etkisi, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 1, 2, 85-91.

ETKB (2017) Doğal taşlar, tabii kaynaklar, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Bilgi Merkezi, 2 s., www.etkb.gov.tr, Ankara.

Gandhi, K.S. (2013) Stabilization of expansive soil of Surat Region using rice husk ash and marble dust, International Journal of Current Engineering and Technology, 3, 4, 1516-1521.

Gazi, A., Skevis, G., Founti, M.A. (2012) Energy efficiency and environmental assessment of a typical marble quarry and processing plant, Journal of Cleaner Production, 32, 10-21.

Gökçer, B., Yıldız, S., Keleştemur, O. (2015) Cam lif takviyeli çimento harçlarının aşınma direnci üzerine atık mermer tozunun etkisi, 2nd International Sustainable Buildings Symposium (28-30 Mayıs 2015), Ankara/Türkiye.

Görgülü, K. (1994) Bazı mermer ocaklarında (Isparta-Burdur-Sivas) işletme sistemlerinin incelenmesi ve öncelikli kaya madde/kütle özellikleri ile ilişkilendirilmesi araştırmaları, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 95 s., Sivas.

Görgün, B., Ural, N. (2015) Mermer atığının Geoteknik Mühendisliğinde kullanılması, 2nd International Sustainable Buildings Symposium (28-30 Mayıs 2015), Ankara/Türkiye.

Gurer, C., Akbulut, H., Kurklu, G. (2004) İnşaat endüstrisinde geri dönüşüm ve bir hammadde kaynağı olarak farklı yapı malzemelerinin yeniden değerlendirilmesi, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı (13-14 Mayıs 2004), s. 28-36, İzmir/Türkiye.

Gücek S. (2011) Mermer tozu ve uçucu külün kil zeminlerin iyileştirilmesinde kullanımı, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 101 s., Afyonkarahisar/Türkiye.

İpek, M., İyiliksever, R., Yılmaz, K. (2014) Atık mermer bulamacının reaktif pudra betonunun mekanik özelliklerine etkisi, SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, 18, 3, 183-192.

İMMİB (2017) Maden sektör görünümü, İstanbul Metal ve Maden İhracatçılar Birliği, 14 s., www.immib.org.tr, İstanbul.

İnanır, A., Engin, İ.C., İnanır, S.O. (2017) Afyonkarahisar mermer sektörü artıklarının çevresel etkilerinin incelenmesi, Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu-ISME2017 (27-29 Eylül 2017), s.1045-1055, Bodrum/Türkiye.

Kara, C., Yazıcıoğlu, S. (2016) Mermer tozu atığı ve silis dumanının betonun karbonatlaşma özelliğine etkisi, BEU Fen Bilimleri Dergisi, 5, 2, 191-202.

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 (3-5 Mayıs 2001), s. 327-335, Afyonkarahisar/Türkiye.

Kılıç, H. (2010) Mermer atıklarının otomotiv fren balata üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82 s., Afyonkarahisar.

Köse, H.M., Diker, M. (1999) Maden ve madencilğe dayalı sanayilerin Türkiye ekonomisine katkısı, 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı (14-15 Ekim 1999), s.1-5.

Kun, N. (2013) Mermer jeolojisi ve teknolojisi, Genişletilmiş 2. Baskı, 222 s., İzmir.

Libicki, J. (1992) Environmental facts of open quarry mining and social effects, 15. World Mining Congress (25-29 May 1992), Madrid/Spain.

Little, N.D., Epps, J.A. (2001) The benefits of hydrated lime in hot mix asphalt, National Lime Association, USA.

Nicholson, D.T. (1995) The visual impact of quarrying, Quarry Management, 22, 7, 39-42.

Okagbue, C.O., Onyeobi, T.U.S. (1999) Potential of marble dust to stabilise red tropical soils for road construction, Engineering Geology, 53, 371-380.

Taş, B., Çakır, M. (2015) İncehisar ilçesinde mermer sanayisi ve çevre sorunları, Doğu Coğrafya Dergisi, 20, 34, 25-34.

Taşpolat, L.T., Zorluer, İ., Koyuncu, H. (2006) Atık mermer tozunun geçirimsiz kil tabakalarda donma-çözölmeye etkisi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2, 11-16.

Terzi, S., Karaşahin M., 2003. Mermer toz atıklarının asfalt betonu karışımında filler malzemesi olarak kullanımı, İMO Teknik Dergi, 193, 2903-2922.

Tozsın, G., Öztaş, T., Arol, A.İ., Kalkan, E., Koç, E. (2015) Mermer atıklarının asidik toprakların n6trolizasyonu ve fındık tarımı 0zerine etkileri, 2nd International Sustainable Buildings Symposium (28-30 Mayıs 2015), s. 29-36, Ankara/T0rkiye.

Ural, N., Karakurt, C., C6mert, A.T. (2014) Influence of marble wastes on soil improvement and concrete production, Journal of Material Cycles and Waste Management, 16, 3, 500-508.

Ural, N., Yakşe, G. (2015) Atık mermer parçalarının yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesi, Bilecik Şeyh Edebali 0niversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2, 2, 53-62.

0nal, O., Kibici, Y. (2001) Mermer tozu atıklarının beton 0retiminde kullanılmasının araştırılması, T0rkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı (3-5 Mayıs 2001), Afyonkarahisar/T0rkiye.

0nal, O., Demir, İ., Erg0n, A. (2003) Mermer atıklarının (havuz ç6keltisi) beton 0retiminde kullanılmasının araştırılması, AK0. Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Projesi, Afyon.

0nal, O., Uygunoğlu, T. (2004) Afyon mermer tozu ve soma uçucu k0l katkılı betonların donma-çöz0lme 6zellikleri ve ekonomik değerlendirilmesi, End0striyel Hammaddeler Sempozyumu (13-14 Mayıs 2004), s. 83-88, İzmır.

Yazıcıoğlu, S., Kara, C. (2015) Betonda atık mermer tozu kullanımının karbonatlaşmaya etkisi, 2nd International Sustainable Buildings Symposium (28-30 Mayıs 2015), Ankara.

Yıldız, S., Alişer, B., Keleştemur, O. (2017) Atık mermer tozu ve cam lif katkılı çimento harçlarının s0lfat etkisi altındaki mekanik ve fiziksel 6zelliklerinin incelenmesi, Fırat 0niversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 29, 2, 23-31.

Zorluer İ., Usta, M. (2003) Zeminlerin atık mermer tozu ile iyileştirilmesi, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (18-19 Aralık 2003), s. 305-312, Afyonkarahisar/Türkiye.

MERMER ATIKLARININ NEDEN OLDUĞU ÇEVRE SORUNLARI VE ANALİTİK YAKLAŞIMLAR

Şeref GÜÇER, Ümran Seven ERDEMİR

Uludağ Üniversitesi, Kimya Bölümü

E-posta: sgucer@uludag.edu.tr

1. GİRİŞ

Toplumların gelişme süreçlerinde ihtiyaçlarının sürekli artış göstermesi, birçok sektördeki doğal kaynakların kullanılma hızını artırmış ve dolayısıyla çevre sorunlarına yol açan bir atık problemi oluşmasına sebebiyet vermiştir. Böyle bir ikilemin çözümü konusunda yapılan çalışmalar son senelerde yoğunlaşmış olup, ulusal ve uluslararası kuruluşlar düzenledikleri mevzuatlarla bu atıkları en aza indirmeyi hedeflemişlerdir [1].

Büyük miktarlarda atık üreten sektörler arasında mermer ocağı ve ilgili işletmeleri yer almakta olup bu değerli mineral kaynağının en az yarısından fazlasının maden çıkarma, işleme ve parlatma işlemleri sırasında kaybedildiği belirtilmektedir [2-3].

Muğla’ da düzenlenen bir çalıştayda çevre faktörü göz ardı edilerek madencilik faaliyetlerinin yürütülmesinin, yirmi birinci yüzyılda mümkün olmadığı, madencilik sektöründe, çevre dostu teknoloji ve yöntemlerin kullanılması, madencilik süreçlerinde ya da sonrasında çevrenin korunmasına ya da yenilenmesine yönelik

önlemlerin alınmasının sektörün gelişimini engellemeyeceği, aksine sektörün gelişimine yönelik katkı yapacağı vurgulanmıştır. Bu çerçevede, doğal taş sektöründe, atıkların değerlendirilmesi, görüntü kirliliğinin önüne geçilmesi ve çalışılan alanların yeniden düzenlenerek doğaya geri kazandırılması istenmektedir [4].

Bursa'da düzenlenen bir çalıştayda da, ruhsat verme sürecinde malzeme ve mühendis planlaması yapılmadan her isteyen işletmeye ruhsat sağlanması, işletme izni alındıktan sonra gerekli fiziki önlemlerin alınmamasından dolayı yer altı ve yüzey sularının zarar görmesi, dökülen atıklardan dolayı flora ve faunanın olumsuz etkilenmesi, ocaklarda mermer ve taş kesimleri sırasında yapılan hatalı uygulamalar nedeni ile etrafa toz yayılmasının (emisyonunun) bölgeye zarar vermesi, üzerinde ağırlıkla durulan konular arasındaydı [5].

Çalışmamızda mermer sektörün oluşturduğu çevre sorunları kısaca özetlenip Analitik Kimya bilimi kullanılarak üretilen analitik çözümler için insan boyutu ve alt yapısı ile organizasyonu konusundaki bilgiler özetlenecektir.

Problem , araştırma yapılarak, üzerinde düşünülerek, çözülecek sorun olarak tanımlanır. Her hangi bir problem durumun da birey, engel ve amaç gibi üç unsur sayılmaktadır. Yukarıdaki üç unsurdan biri yoksa problem de yoktur. Şu altın kuralın altını çizelim. Karşılaştığınız sorunu sadece eleştirirsek sorun katlanır-Sadece sorunu düşünmekle yetinirsek sorun yerinde sayar Soruna çare bulursak sorun, sorun olmaktan çıkar. Analitik kimya problem çözme üzerine yönelmektedir. Ancak problem hangi alandan gelirse gelsin önce analitik problem haline dönüştürülebilir. Ondan sonra ölçüm teknikleri ile doğru bilgi üretilmeye gidilecektir. Problem olarak düşündüğümüz şey bazen gerçek bir problem olmayabilir. Bu yüzden gerçek problemin bulunması için deneme gereklidir. **Kök nedeni**

analizi- etkin bir deneme metodudur – bir şeyin ne, nasıl ve niçin oluştuğunun belirlenmesine yardımcı olmaktadır.



Şekil.1 Problemin belirlenmesinde sorulan temel sorular (5n 1k)

Analitik düşünce ile problem çözümündeki basamaklar sırasıyla Problemin belirlenmesi, hipotezin oluşturulması, gerçek bilgilerin toplanması, bunların yorumlanması ve sonuç çıkarımı olarak sayılabilir.

Problem belirlenmesi, eğer bir insanı düşünce yoluyla vardığı doğrusu diğerlerinininkinden farklılık gösterirse belirlenebilir. Bunu analitik kimya alanında kullanılan ölçüm cihazlarının aynı örnek için farklı sonuçlar vermesine benzetebiliriz. Şekil 1 de ne, nerede, ne zaman, niçin, nasıl soruları sorularak (5N) ve kim sorularak (K) sorularak problem belirleme yolu verilmiştir. Analitik düşünce ile problemler aşağıdaki yollarla belirlenebilmektedir;

- Karşılaştırma/ bilgileşim (benchmarking) çalışmaları (Firma içi bilgi)
- Performans rapor kayıtları üzerinden, mevcut performansı gerçek veya hedeflere karşı değerlendirerek saptanır (Firma içi bilgi)

- Şikâyetler (TMMOB, Dernekler... çalıştay sonuç bildirgeleri) [4,5].
- SWOT Analizi – güçlü ve zayıf yanları ile zorluk ve fırsatların değerlendirilmesi[6].
- Muayeneler ile (Analitik parametrelerin ölçülmesi)

Sonuç olarak problem mermer endüstrisinin atıkları olarak belirlendi. Şimdi diğer basamak hipotezin oluşturulması ve gerçek bilgilerin toplanması basamağına geçebiliriz.

2. MERMER TOZLARI VE HAVA KİRLİLİĞİ

Mermer ocak işletmeciliğinde, traverten ve kireçtaşı türü oluşumlarında kullanılan kollu kesicilerin özellikle basınçlı hava ile delik delme işlemleriyle kuru kesim yapması durumunda toz yayılması ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ocak nakliye yollarında da zaman zaman toz yayılması olabilmektedir. Bu tozlar çalışanları, çevre yerleşim merkezlerini, bitki örtüsünü olumsuz yönde etkileyebilmektedir. AB ülkelerinde mermer ve taş ocaklarının etrafında izin verilen toz miktarı 20 ile 150 mg/m³.gün olarak belirlenmiştir. Mermer ocak işletmelerinde oluşan tozlanmanın herhangi bir toksik etkisi olmadığı ve sadece değişik yaşam formlarında fazla toz yayımlarında düşük etkileri olabileceği ileri sürülmüştür. Gerekli önlemlerin alınması halinde mermer madenciliğinde tozun önemli bir çevresel etki yaratan unsur olmaktan çıkacağı söylenebilir. Mermer ocak işletmeciliğinin yanı sıra, mermer işleme tesislerinde oluşan tozların da çevre açısından çok fazla önem arz edecek bir tehlikesi bulunmadığı öngörülmüştür [7]. Önemsiz görülen bu etkinin analitik metotlarla uzun süreçler boyunca incelenmesine gerek duymaktayız.

Bursa atmosferinde yapılan bir çalışmada partiküle madde PM_{10} ile $PM_{2.5}$ fraksiyonları ve element içerikleri araştırılarak istatistiksel metotlarla ilişkilendirilmeye çalışılmıştır [8]. Yılın ortalama $PM_{2.5}$ ile PM_{10} değerleri sırasıyla 53 ve 83 $\mu g/m^3$, olarak verilirken bu ortalamaların oranı 0,64 olarak bulunmuştur. $PM_{2.5}$ ile PM_{10} değerleri kış aylarında ölçüm noktasında yüksek korelasyon (ilgileşim) göstermektedir ($R=0,91$ tümü). Kış aylarında özellikle kaba ve ince fraksiyonlar soğuk geçen aylarda yüksek ilişki gösterirken $R=0.67$ ($p<0.1$), sıcaklığın yüksek olduğu aylarda ilişki bulunmamıştır ($R=0,01$). Bursa’da bulunan bu $PM_{2.5}$ ile PM_{10} değerlerinin mevcut ve hazırlanan yeni AB hava kalitesi standartlarına göre yüksek değerlere sahip olduğu ve halk sağlığında önemli etkileri olacağı öngörülmüştür [8]. Element dağılımları açısından bakıldığında havayı kirleten kaynakların saptanması ve bu partiküle taneciklerin havada kalma süreleri ve etkileşimleri hakkında daha temel çalışmalara ve sonucunda da yeni stratejilere ihtiyaç duyulacaktır.

3. MERMER ÇAMURUNUN OLUŞMASI VE SORUNLARI

Mermercilik işlemlerinde açığa çıkan tozu tutmak için su kullanıldığı zaman mermer çamuru meydana gelir. Mermer çamurlarının çevreye verilmesi halinde de ekosistem için fiziksel, kimyasal ve biyolojik riskler oluşturacaktır.

Toprağa dökülen mermer çamuru kuruduğu zaman küçük tanecikler halinde havada uçarak hava kirlenmesine neden olurken, dere yataklarının doldurulması, dere kesitinin daralmasına da yol açabilir. Yağmurlu mevsimlerde mermer çamurları nehirlerle, kanallara ve yollara akarak suyun kalitesini olumsuz etkilemekte, depolama kapasitesini azaltmakta ve suda yaşayan canlılara zarar vermektedir. Katı maddelerle birlikte akarak göl ve göletlerin su tutma kapasitesini azaltabilmektedir. Mermer fabrikaları, boşaltım için

kendilerine gösterilen alanlara rağmen fabrikalarına yakın herhangi bir vadi veya boş araziye mermer çamurlarını boşaltmaktadır. Bu da özellikle çamurun kurumasından sonra geniş arazilerin işgali ve toz kirliliği gibi ciddi çevre problemlerine yol açmakta ve aynı zamanda yer altı su rezervlerini kirletmektedir. Mermer çamuru çevre ekosistemine, fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlerine ciddi tehlikeler getirmektedir. Karşılaşılabilecek problemler aşağıda belirtilen maddeler altında toplanmaktadır:

1. Uygun olmayan toprak alanlarına boşaltıldığında, atıklar, tanecik büyüklüğüne bağlı olarak fiziksel risk oluşturabilir. Örneğin toprağın gözeneklerini, su emme kapasitesini veya su geçirgenliği azaltarak toprak verimliliğini düşürebilecektir. Ancak kil içeriği yüksek ve tarım açısından problemlili topraklara bu atıkların ile toprak ıslah edilerek ekonomik yarar getirmesi de mümkündür [9].

2. Çamur boşaltılan alanlar herhangi bir bitki topluluğunu etkileyebilecektir [7]. Bu konuya temel bilim penceresinden bir bakalım. Biyoloji, fitokimya, biyokimya, vb. alanlarının ortak çalışmaları sonucunda yapılan birkaç çalışmayı inceleyelim:

Bitkilerde kalsiyum stres çalışmalarına bir örnek çalışmada *Arabidopsis* SOS2 ailesi yirmi altı protein kinazları (CIPKs) ve etkileşim aktivatörleri, protein SOS3 ailesinin on kalsiyum-bağlayıcı protein (CBLs) ve protein fosfatazlar 2C (PP2C) tipi birlikte farklı çevresel uyarılarda ortaya çıkan kalsiyum sinyalleri için dekoder işlevi görebilmektedir. Biyokimyasal veriler, sabit CBL-CIPK veya CIPK-PP2C kompleksleri iyon homeostazını kontrol eden çeşitli substratların aktivitesini düzenleyen bileşikler olabileceğini önermiştir. Mevcut yapısal bilgiler CBLs ve kinaz aktivasyonu ile kalsiyum algılama birleştirilerek genel bir düzenleyici mekanizma sağlamaktadır. Bu yapısal temelli moleküler mekanizma ve çok özel ağı gözden geçirilip, ayrıntılı olarak incelenmiştir [10]. Bu bilgileri

basitleştirerek sunmaya çalışırsak: Doğal çevre şartlarında sıcaklık artışı işe çözümlüğü artan kalsiyum, bitkilerde birçok biyokimyasal faaliyeti tetiklemektedir. Doğal olmayan koşullarda neler olabileceğini artık siz düşününüz. Bu konuda Tungsten madeni çevresindeki bitkilerin takım çalışması yaparak toprağı temizlemeye çalıştığını gösteren yayınlarımız örnek olarak da incelenebilir [11-13].

3. Kuruduğı zaman ince tozlar hava ile taşınarak yakın çevresinde ciddi hava kirliliğı oluşturabilir. Bu da işçi sağığı problemlerine neden olabilir [14] . Bunun dışında çalışma alanlarında kurulu alet ve makinelerin de performanslarını etkileyebilmektedir.

4. Yağmurlu mevsimlerde atık çamur; nehir, kanalizasyon, yol ve su kitlelerine taşınarak su kalitesini etkiler. Depolama kapasitesini azaltarak su ekosistemine zarar vermektedir.

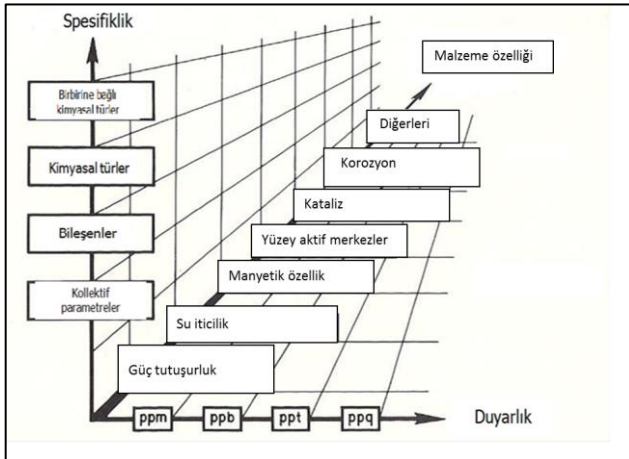
5. Toprak üzerindeki tozlar uzun vadede birikimden dolayı, akiferleri ve yeraltı su akımları önemli ölçüde etkileyebilmektedir [15] .

6. Fabrikanın her tarafına dağıtılan çamur atık yığınları, bir görüntü kirliliğı oluşturarak tüm bölgenin estetiğini bozacaktır. Sonuçta da ülkenin turizm potansiyeli olumsuz olarak etkilenmektedir [16].Bu konu Muğla çevresi açısından önemli olup öncelik arz edecektir.

Bursa'daki BEBKA Çalıştay'ın da katı atık deponi sahası yer teminindeki zorluklar ve kamulaştırma vb. prosedürlerin uzun olması, küçük miktarda tehlikeli atık üreten tesislerde taşıma ve bertaraf maliyetlerinin yüksekliğı, maden atıklarının (özellikle mermer) depolanması, uygun yer bulma problemi ve geri kazanımındaki yetersizlikler tartışılmıştır. Aynı Çalıştay da Bilecik genelinde madencilik ve madencilik işleme sanayi fabrikalarının arıtma çamurları ve katı atıkları il genelinde en büyük problemlerden biri olduğu vurgulanmıştır. İlde 700 civarında, mermer, feldspat, kuvars, kil vb. maden ocağı, buna bağılı olarak küçük ve büyük ölçekli toplam

43 mermer, 26 seramik fabrikasından büyük miktarlarda arıtma-çökeltme çamuru ile katı atık oluşturduğu dile getirilmiştir.. Bu sorunun çözümüne yönelik olarak söz konusu atıkların; sanayide hammadde olarak veya farklı amaçlarla tekrar kullanım olanaklarının araştırılması /geliştirilmesi ve tekrar kullanılmayan kısmının nihai depolanması için gerekli düzenli depolama alanlarının inşa edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır (18).

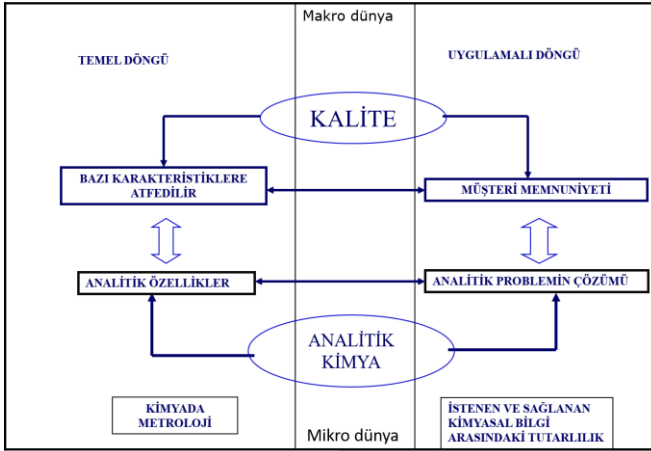
Şimdi mermer atıklarının kalsiyum başta olmak üzere içerdiği eser elementler açısından zararlı canlı sistemlere olduğuna belirlediğimize göre çözümler için analitik yaklaşımlara değinebiliriz Analitik kimya bir ölçme bilimi olarak ilgi duyulan alanlarda yol göstermekte. Örneğin mermer atıklarının riskleri amaca yönelik kullanımında yardımcı olacaktır. Şekil.2 seçilen analitik teknik için ölçüm duyarlılığı (biz bunu mikroskoba benzetip ne kadar küçük dünyaları görebilir),selektifliği (görüntü netliğini) ve uygulama eksenlerini göstermektedir.



Şekil 2. Analitik tekniklerin seçimi ve uygulama amaçlı kullanımını (W. Stumm,R.Schwarzenbach;IAWR 7.Arbeitstagung Basel 1979, 36-59' den değiştirilerek alınmıştır.)

Teknolojik gelişimin, kullanılan analitik tekniğin duyarlılığı arttıkça ilgilenilen alandaki yeni bilgilerin ulaşılmasına yardımcı olacağı aşikârdır. Başka bir deyişle de yeni analitik teknikler yeni teknolojilerin oluşmasında rol oynamaktadır. İşletmelerde karşılaşılan problemlerin çözümünde kalite kontrol amaçlı olarak standart metotlar rutin olarak kullanılırken; gelen analiz taleplerinin yoğunluğu nedeni ile valide edilmiş kurum içi (in-house) metotlara da ihtiyaç duyulacaktır.

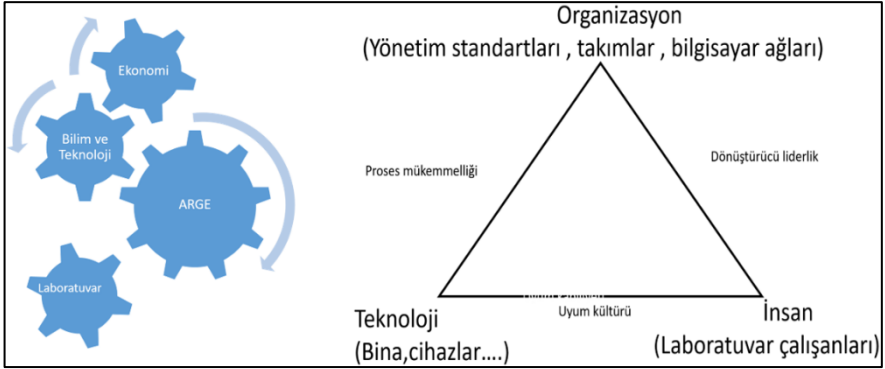
Analitik kimya mikro dünya ve makro dünya arasında bir ara yüz olarak birçok sosyal bilim alanında örneğin Hukuk bilimine kesin kanıtlar sunabilmektedir. Bu amaca yönelik basit bir şema ile analitik kimyada kullanılan kavramlarla kalite arasındaki ilişki özetleyebiliriz (Şekil.3).



Şekil 3. Analitik kimya ve kalite arasındaki ilişki: Mikro makro dünya geçişindeki arayüz

Sorunlarımızın çözümünde ilk başarılması gereken basamak **akreditasyon belgeli laboratuvarlar** olacaktır Çünkü ancak doğru sonuçlar ile doğru hedeflere ulaşılabiliriz. Bu laboratuvarla Bilim ve

Teknoloji ve daha sonrada ekonomi çarkını çevirecektir. Ülkemiz yönetimleri gerek kamu ve gerekse özel kurumlara sunduğu desteklerle Bizi iyi bir noktaya getirmiştir. Organizasyon ve insan kaynakları ki bunlar birbirleri ile ilişkilidir, zamana ve tecrübe kazanmaya ihtiyacımız bulunmaktadır (Şekil.4).



Şekil 4. Laboratuvarların önemi ve çevirim üçgeni

Üçgenin kenarları olarak gösterilen yöneticinin kurumunu değiştirebilme gücü, çalışanların teknolojiye uyum kültürü ile laboratuvarın kurulumu ve işletilmesi de organizasyonun kurumsallığına bağlı olacaktır.

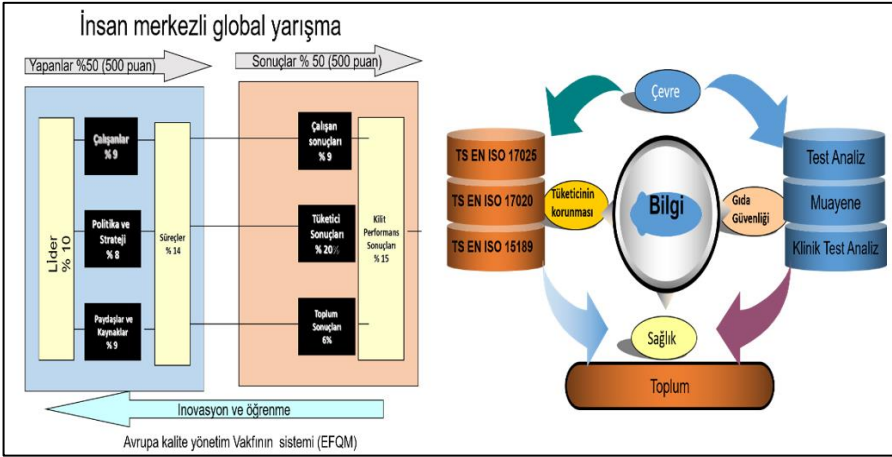
Yasal zorunlukları bir yana bırakılırsa, Ar-Ge faaliyetlerinin kalite yönetim sistemlerinin kullanımında aşağıdaki gerekçeleri de sıralayabiliriz:

1. Ar-Ge, temel bilim alanında yapılırsa, dünyanın bir yerinde bulunduğu sonuçları herhangi bir yerde yapılanları ile mukayese edilebilir olmalıdır.
2. AR-Ge uluslararası rekabet için sağlanan endüstriyel sübvansiyonları ile kalitesine karar verilen bir çalışma ürünüdür,

3. Ulusal ve uluslararası kuruluşların bilimsel kadroları kurumsallaşabilmek için kurumlarında giderek daha fazla kalite yönetim sistemlerine ihtiyaç duymaktadır.

4. Ayrıca temel araştırma üçüncü şahıslara da anlaşılır olmak zorundadır. Bilimsel toplum Ar-Ge 'nin yetkin ve dürüst yürütüldüğünün sorumluluğunu taşımaktadır.

Kurumların sürdürülebilirliklerinin sağlanması açısından insan merkezli yönetim sistemleri giderek yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Bu sistemlere bir örnek EFQM ve sağlık v e Çevre standartları Şekil.5 özetlenmişti. Kurumlar bu sistemin altında müşterilerinin güvenirliliği açısından ISO 17025 vb. standartları uygulanmaktadır.



Şekil 5. EFQM ve sağlık v e Çevre standartları

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Daha önce bazı bilimsel toplantılarda sunulan önerilerde dikkate alınıp insan kaynaklarına dayalı bazılarını daha derinleştirerek incelemeye çalışacağız.

Eğitilmiş insan gücü artırılmalıdır...

Sektördeki firmalarda hizmet vermekte olan veya bizzat girişimci olan mühendis, teknisyen gibi teknik donanımlı yöneticilerin kendi mesleki eğitimlerinin yanı sıra dış ticaret konusunda da eğitim almalarının faydalı olacağı önerilmiştir [19].

Ancak ülkemizde bilimsel çalışmalar Üniversitelerimiz de hala önemini koruyarak sürdürdüğü düşünülürse, ekonomik performansımızı daha uzun süreler olumlu yönde etkileyeceği beklenmelidir. Bu nedenle de toplumumuzun ihtiyaçlarını karşılayabilecek inovasyon çalışmaları Üniversite sanayi ve devlet üçlü sarmalının, yönetsel başarısı yanında alt yapının etkin kullanılmasına da bağlı olmaktadır. Bu sebeple çok disiplinli çalışmalara imkân verebilecek merkez laboratuvarlarında insan kaynaklarının takım kurma, kaynak oluşturabilecek proje çalışma becerilerinin artırılmalıdır.

Sektörün yararlanabileceği akreditasyona sahip laboratuvarlara sahip bir merkez oluşturma çalışmalarına destek verilmelidir (Örneğin MTA laboratuvarı ya da Afyon Kocatepe Üniversitesi DAL veya varsa özel laboratuvar).

Sektörün ihtiyacına yönelik atıkları değerlendirecek firma veya firmalar arasında sektör içi işbirliği ile kurulmalıdır. Bu açıdan proje çalışmaları ile TÜBİTAK projelerinden yararlanılabilir.

Örnek: Avrupa birliğine verilen ve Portekiz'deki bizim tartıştığımız konu ile ilgili karşılaştırma yapabileceğimiz bir örnek: Ancak çevre koşulları bu proje sonuçlarını birebir uygulamamızı engelleyecektir[20]. Projenin genel amacı, doğal ve kıymetli taş sektöründen kaynaklanan ve çevreye zarar veren atıklarını katma değeri yüksek ürünlere dönüştürerek. Oluşturdukları çevre problemlerini çözmektir.

Bu atıkların değerlendirilmesi üzerine daha ayrıntılı bir seri çalışma yapılması önerilmektedir. Bunlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

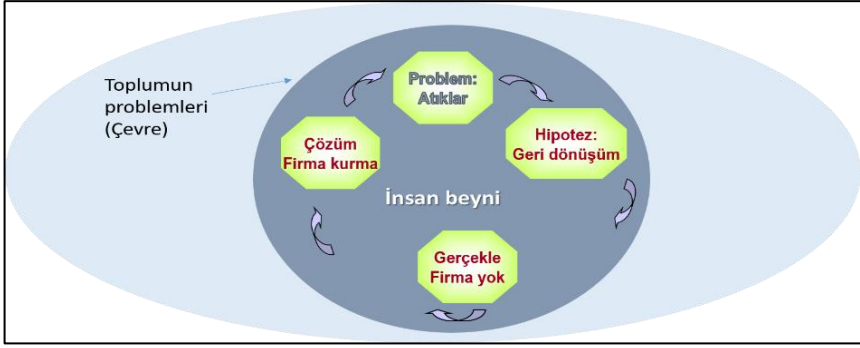
1. Pilot tesis malzemesi olarak belediye çöplüğü kullanma bilirliğinin araştırılması: Bunun teknik geçerliliği de dâhil olmak üzere çalışmayı içermektedir. (yeraltı su kalitesini izlenmesi, kirlilik kaynakları ve kirlileme düzeyleri.)
2. Geri dönüşümlü kullanımı belirlemek amacıyla jeo-mekanik ve mikrobiyolojik testleri (geçirgenlik, sıkıştırma kapasitesi vb.) yapılmaktadır.
3. Belirli bir taş ocağının çevre sorunun çözümünde, bir atık alanı veya inşaat atıkları toplama alanına depolanması önerilmektedir.

Toz kalsiyum karbonat (GCC) ve **çöktürülmüş kalsiyum (PCC)** üretimleri açısından bakıldığında birincisine yönelik firmalarımız uygun yataklar bularak, hitap ettikleri alanlara yönelik standartlarına uygun üretime laboratuvar alt yapılarını tamamlayarak üretime başlamış olduklarını memnuniyetle saptamış olmasına rağmen ikincisi konusunda henüz bir faaliyet görülememiştir. Bu başarılı olduğunda katma değeri daha yüksel olan İlaç ve yem sektörünün ham madde ihtiyacı karşılanabilecektir. Burada da kalite kontrol ve AR-GE laboratuvarları önemlidir.

Çöktürülmüş kalsiyum karbonatın sektörün atıklarını değerlendirme potansiyeli olabilir. Ancak burada da standartların ön gördüğü saflaştırma süreçleri yapılabilir ki burada da fizibilite çalışmaları önemlidir [21-23].

Sonuç: atıkların; sanayide hammadde olarak veya farklı amaçlarla tekrar kullanım olanaklarının araştırılması / geliştirilmesi ve tekrar kullanılmayan kısmının nihai depolanması için gerekli düzenli depolama alanlarının inşa edilmesi fikirlerinin desteklenmesi gerekmektedir. Bu işi sahiplenecek bir kurum oluşturamazsak sorunun

katlanarak daha çok toplantılara konu olacaktır. Bu sağlandıktan sonra engeller aşılabacağı kanısındayız.



KAYNAKLAR

- [1] OECD. Road transport research: recycling strategies for road works. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris, France; 1997.
- [2] Çelik MY. Recycling of waste marble. MSc thesis, Afyon Kocatepe University, Natural Science Institute, Department of Mining Engineering, Afyonkarahisar; 1996
- [3] Akbulut H, Gürer C. The environmental effects of waste marble and possibilities of utilization and waste minimization by using in the road layers. Proceeding of the fourth national marble symposium, Afyonkarahisar, December 2003. p. 371–8
- [4] Muğla Mermer Çalıştay sonuç bildirgesi, Muğla Valiliği, Muğla Üniversitesi, Muğla Mermerciler Derneği ve Maden Mühendisleri Odası i 08 - 09 Mart 2012
- [5] Bursa'da Mermer, Taş ve Kum Ocakları Durumu Çalıştay, Doğader ve TMMOB, 15.01.2011, Bursa
- [6]. Metin Bağcı, Mustafa Karataş: Muğla Bölgesi Mermer Sektörünün Swot Analiz Araştırması, AKÜ FEMÜBİD, 17 (2017) 025802 (736-752)
- [7] Öykü Bilgin ve Ercüment Koç. Mermer Madenciliğinde Çevresel Etkiler, Madencilik Türkiye, 15 Ocak 2013, 68-78

[8] Michaela Kendall , Kayıhan Pala , Sumru Ucakli and Seref Gucer, Airborne particulate matter (PM2.5 and PM10) and associated metals in urban Turkey, *Air Qual Atmos Health*, 4: 3–4 (2011) 235–242 ,DOI 10.1007/s11869-010-0129-9

[9] Altuğ Saygılı, Use of Waste Marble Dust for Stabilization of Clayey Soil, *MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA)*. 21: 4(2015)601-606 <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ms.21.4.11966>

[10] María José Sánchez-Barrena, Martín Martínez-Ripoll and Armando Albert :Structural Biology of a Major Signaling Network that Regulates Plant Abiotic Stress: The CBL-CIPK Mediated Pathway , *Int. J. Mol. Sci.* 14(2013) 5734-5749; doi:10.3390/ijms14035734

[11] Erdemir, U. S. 2016. Development of sample preparation strategy for the determination of tungsten in soil samples by inductively coupled plasma mass spectrometry using a response surface methodology. *Turkish Journal of Chemistry* 41:3(2016) 54–69. doi:10.3906/kim-1607-19

[12] Erdemir, U. S. . Boron and molybdenum contents of *Verbascum olympicum* Boiss. Growing around an abandoned tungsten mine: A case study for ecological problem solving. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry* 4 (2017)489–500. doi:10.18596/jotcsa.282219.

[13] Erdemir, U. S., G. Guleryuz, H. Arslan, and S. Gucer. 2017. Elemental composition of plant species from an abandoned tungsten mining area: Are they useful for biogeochemical exploration and/or phytoremediation purposes? *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 98:299–303. doi:10.1007

[14] M. I. El-Gammal, M. S. Ibrahim, El-Sayed A. Badr, Samar A. Asker and Neven M. El-Galad. Health Risk Assessment of Marble Dust at Marble Workshops , *Nature and Science*, 9:11 (2011) 144-154, <http://www.sciencepub.net/nature>

[15] Turgut Öztaş. Yeraltisulari Açısından Jeolojik Ortamlar ve Akiferlerin Sınıflanması

Jeoloji Mühendisliği/Eylül 1982 ,21-284

[16]. Hüseyin Akbulut Cahit Gürer , Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agregata Olarak Değerlendirilmesi* İMO Teknik Dergi, 2006 3943-3960, Yazı 261

- [17] Vijayalakshmi, V, Singh, S., Bhatnagar, D., 2001. Marble Slurry: A New Resource Material For Entrepreneurs, Science Tech Entrepreneur Project, 9, India.
- [18] BEBKA Ulusal Çevre Politikalarının Yerel Yansımaları Çalıştayı 26-27 Mayıs 2011,Bursa
- [19] Sevim Yalçın, Tülay Uyanık Dünya Mermer Ticaretinde Türkiye'nin Yeri). Türkiye 3. Mermer Sempozyumu (MERSEM '2001) bildiriler Kitabı 3-5 Mayıs 2001 /Afyon
- [20] LIFE97 ENV/P/000154
http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=1000&docType=pdf
- [21] Nurettin Sezer, Production of precipitated calcium carbonate from marble wastes ODTÜ, Yüksek Lisans Tezi,Eylül,2013,58s
- [22] Murat Solak, Mehmet Kılıç, Hüseyin Yazıcı, Nazlı Baldan Pakdil. Elektrokoagülasyon ve kimyasal koagülasyon prosesleri ile mermer işleme atıklarının arıtılmasının ekonomik analizi Dokuz eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,16,2(2014)13-26
- [23] Sebastian Teir *, Sanni Eloneva, Ron Zevenhoven . Production of precipitated calcium carbonate from calcium silicates and carbon dioxide Energy Conversion and Management 46 (2005) 2954–2979

MERMER OCAKLARINDA KESME VERİMİ VE BAZI ÇEVRESEL FAKTÖRLERİN İRDELENMESİ

Osman Zeki HEKİMOĞLU

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

E-posta: ozhekimoglu@mu.edu.tr

1. GİRİŞ

Maden mühendisliğinde en pahalı açık ocak işletmeciliği Mermer üretiminde yer almaktadır. Bunun en önemli nedenlerinden birisi mermerlerin ocaktan blok halinde elde edilme zorunluluğudur. Her bir mermer bloğunun renk, desen ve sağlamlık açısından homojenlik göstermesi gerekmektedir. Kırık ve çatlak içermeyen bir mermer bloğu renk ve desen değişikliği nedeniyle atıl olarak kalabilmektedir. İstenilen özelliklere sahip olan bir mermer bloğu fabrikadaki kesim sırasında da kimi şekilde kayıplara uğramaktadır. Örneğin ilk kesme sırasında, bünyesinde ki mikro çatlakların yoğunluğuna bağlı olarak parçalara ayrılarak levhalar olarak elde edilme özelliğini yitirebilmektedir. İlk aşamada yüksek boyutlu olarak elde edilebilen levhalar daha sonraki aşamalarda verimli olarak boyutlandırılmazlar ise yine de kayıplar ortaya çıkmaktadır. Yani ocaktaki üretimden başlayarak fabrikada en son ürün haline gelinceye dek mermerlerde önemli kayıplar her zaman söz konusu olabilmektedir.

Mermer madenciliğinde ocak üretimi için gereken ilk yatırım fabrika için olan yatırıma göre daha düşüktür. Enerji giderleri göz ardı edildiğinde, ocak ve fabrika aşamalarında işletme maliyetini etkileyen en önemli faktörlerden birisi kesme işleminde kullanılan makine ve kesiciler ile ilgili sarf malzemeleridir. Ocaklarda blok üretimi sırasında uygulanan kesme işlemi işletme maliyetini etkileyen diğer bir önemli faktördür. Blokların kesilerek yerinden çıkarılması ve bunu izleyen sayalama işlemleri genel olarak zaman alıcıdır.

Mermer ocaklarında blok üretimi için gereken kesme işlemi günümüzde mekanik yöntemlerle olmak üzere elmaslı teller ve zincirli kollu kesme makineleriyle gerçekleştirilmektedir. Her iki kesme şeklinin birbirlerine göre kimi üstünlükleri bulunmaktadır. Buna karşın her iki kesme şeklinde de kesme hızlarının artırılması ve daha düzgün bloklar çıkarılarak sonraki aşamalarda yapılan blok yüzeylerinin düzleştirilmesi işlemlerinin aza indirilmesi amacı çok önemlidir.

Mermer üretiminin katma değer sağlayan ve gittikçe artan ihracat girdisi kazandıran bir endüstri dalı oluşu bu sektörde önemli büyümelere olanak vermiştir. Ancak bu büyüme kimi çevresel etkilerin neden olduğu bazı sorunları da beraberinde getirmiştir. Bu durum haliyle madencilik sektöründe önemli çevresel faktörlerin göz önüne alınma zorunluluğunu gerektirmiştir. Etkin çevresel önlemlerin alınamayışı mermer üretiminde üretim maliyetini olumsuz olarak etkileyen ek faktörlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

2. MERMER MADENCİLİĞİNDE ÜRETİM VERİMLİLİĞİ

Mermer madenciliğinde üretimi etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bunların en başında çalışılan mermer yatağının özellikleridir. Önemli oranda makro ve mikro çatlak içermeyen, masif, renk ve desen özeliğini sürdürebilecek düzeyde izotropik olan yataklar

kuşkusuz verimli mermer yatakları olarak bilinirler. Türkiye’de Toros Kuşağı üzerinde yer alan Genç Jurasik Dönemde oluşmuş mermer yataklarında blok veriminin yüksek olduğu görülmektedir. Mermer yataklarının süreksizlik düzlemleri içerip içermediği daha çok sismik yöntemlerle araştırılabilir. Ancak renk ve desen özelliklerinin önceden etkin bir şekilde saptanması her zaman kolay değildir. Karotlu sondajlar bu konuda önemli yer tutarlar, ancak maliyetleri yüksektir. Bu konuda etkin yöntem, yarmalar açarak bunların yüzeylerinde geniş aynalar oluşturmaktır.

Blok çıkarma yöntemi elmaslı tel ve zincirli kesicilerle yapılmaktadır. Elmaslı tel kesme yöntemi her tür mermer ve kayacın kesimine uygundur. Bu yöntemde en az üç adet mermer aynasının ve elmaslı tellerin geçeceği kılavuz deliklerinin önceden hazırlanması zorunluluğu vardır (Şekil 1).



Şekil 1. Elmaslı tel mermer kesme makinesi

Delme işlemi ek bir makine ve işletme maliyet gerektirir. Elmaslı telin geçeceği delikler düzgün hizalanmaz ise blok boyutu istenilen düzgünlükte elde edilmez ve bunu izleyen sayalama vb. aşamalarda mermer kaybı ve buna bağlı olarak maliyet artışı söz

konusu olur. Ayrıca elmaslı tel ile yapılan kesme sırasında, gergin halde bulunan telin potansiyel kopma tehlikesi nedeni ile iş güvenliği açısından riskler bulunmaktadır. Bu sakıncaları nedeniyle son zamanlarda zincirli kollu kesicilerin kullanımına gidilmektedir. Bu makineler ray üzerinde hareket eden ana gövdeye bağlı bir kesme kolu üzerindeki sonsuz zincire yerleştirilen kesicilerin hareketiyle kesme yaparlar (Şekil 2). Burada kullanılan kesiciler genelde tungsten karbürden yapılmış olup doğası gereği aşındırıcı özellikteki mermer ve doğaltaşların kesimine uygun değildirler. Ancak son zamanlarda, elmas emprenyeli kimi bileşenler kullanılarak elde edilen kesicilerle aşındırıcı malzemelerin kazısında da kullanıldığı görülmektedir. Zincirli kollu kesicilerin ilk yatırım maliyeti elmaslı tel kesicilere göre yüksek olmasına karşın, elmaslı tel kesicilerle karşılaşılan delik delme ve önceden kesim aynasının hazırlanması gibi bazı sorunları ortadan kaldırması açısından daha tercih edilebilir konumdadır.



Şekil 2. Zincirli kollu mermer kesme makinesi

Günümüzdeki zincirli kollu kesicilerin en önemli sorunlarından birisi makinenin kesme hızının belli bir düzeyin üzerine çıkarılamamasıdır. Yapılan ön araştırmalar, bunun bir ölçüde kol

üzerindeki kesicilerin dizilim yöntemlerinden kaynaklandığını göstermiştir. Örneğin, keski dizilim düzeninde yapılan küçük ölçekli bir tasarım değişikliği ile aynı koşullarda kesme hızının yaklaşık % 25 oranında arttığı ve keski aşınmasının düştüğü gözlemlenmiştir (HEKİMOGLU). Yani makinede var olan kurulu gücün ve ağırlığın istenilen verimde kullanılmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Keski aşınmasının düşürülmesi yalnızca keski maliyetinin azalması anlamına gelmemektedir. Aynı zamanda makinenin bakımı ve arızadan kaynaklanan tamir ve onarım maliyetinin düşmesi ve dolayısı ile etkin çalışma ömrünün artmasına neden olmaktadır. Zincirli kollu kesicilerle yapılan bu ön araştırma çalışmaları daha ileri düzeye taşınabilirse, bu makineler ile daha yüksek performans ve kesme hızı elde edilebilir. Bu tür araştırma çalışmaları sırasında denenecek belli dizilim tasarımları için yeni keski tutucuların en az beş boyutlu CNC tezgâhlarında yapılması gerekmektedir. Bu konuda TÜBİTAK, ilgili bakanlıklar ve yerel kalkınma ajanslarının parasal desteklerine gereksinim bulunmaktadır.

3. MERMER MADENCİLİĞİNDE ÇEVRESEL SORUNLAR

Madenciliğin diğer alanlarında olduğu gibi mermercilik sektöründe de kimi çevresel sorunlar ön plana çıkmaktadır. Her şeyden önce, ocakta ve işleme fabrikalarında geriye bırakılan mermer yığınlarının ‘atık’ olarak değil de ‘artık’ olarak tanımlanması gerekir, çünkü bu artıkların kimi şekilde yeniden değerlendirme şansı bulunmaktadır. Mermer ocaklarındaki düşük blok verimi nedeniyle kuşkusuz ocaklarda önemli mermer artıklarının yığılması söz konusu olmaktadır. Bu artık mermerler bir ölçüde kalsit, moloz vb. kimi amaçlar için değerlendirilebilirse de yine mermer ocaklarında büyük artıkların oluşmaktadır. Ancak bu değerlendirilemeyen artıklar, mermer ocağı ömrünü tamamladığında üretim nedeniyle açılan boşluklara dökülerek alan yeniden doğaya kazandırılabilir. Mermer işleme

fabrikalarındaki artıklar, plaka kesimi sırasında geriye kalan ve paledyen olarak adlandırılan parçalar ve testerelerle kesim sonrası oluşan şlam şeklindeki malzemeleridir. Ocak yakınında kurulu mermer işleme tesisleri için bu değerlendirilemeyen artıklar yeniden ocağa dökülerek doğaya kazandırılabilir. Ancak mermer üretiminin yoğun olduğu bölgelerde, ocaktan uzak olan tesislerde bu durum ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Örneğin, Muğla İli Bayır Beldesinde dağınık halde kurulu ve ocaklardan uzak birçok mermer işleme tesisleri bulunmaktadır. Buradan günde yaklaşık 1600 ton civarında paledyen ve şlam çıkışı söz konusudur (YUCA, 2017). Bu artıklar şimdilik Muğla Büyükşehir Belediyesi tarafından sağlanan bir döküm alanına taşınmaktadır (**Şekil 3**). Ancak gelecekte bunlar çok daha önemli olası çevresel sorunlara neden olabilecektir. Bunun önüne geçebilmek için etkin önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu artıklar üzerinde yapılan bazı ön çalışmalar, bunların çimento hammaddesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir (AKDEMİR, 2017. Buna, Denizli Çimento Fabrikası'na civardaki traverten ocaklarından sağlanan traverten artıkları örnek olarak verilebilir.



Şekil 3. Mermer artıklarının döküm alanı.

Mermer artıkları Yatağan'da bulunan kömür madeni ile de ilişkilendirilebilir. Nitekim Yatağan Termik Santralindeki baca gazı

arıtma işlemleri için bu malzemelerden şimdiden yararlanılmaktadır. Ancak bu durum artık yığılmasının önünü almakta yetersizdir. Yatağan'daki kömür madeni açık ocak ömrünü tamamlamak üzere olduğundan burada yakın bir gelecekte yeraltı kömür üretimi söz konusu olacaktır. Bu tür termik santrali yeraltından besleyecek yüksek kapasiteli üretim önemli ilk yatırım gerektirir. Yapılan ilk çalışmalarda tam mekanize uzun ayak yeraltı üretim uygulamasının var olan koşullarda burada istenilen ekonomik düzeyde olmadığı izlenimini vermiştir (AKIN, 2017). Buna alternatif olarak dolgulu yeraltı yöntemleri düşünülebilir. Burada gerekli olan dolgu malzemesi için, santral külünün yanı sıra yöredeki mermer işleme fabrikalarının artıkları da kullanılabilir. Yani mermer ve kömürün entegre edildiği bir yöntem çok yararlı olacaktır. Bunun için geniş kapsamlı bir araştırmanın yapılması gerekmektedir. Eğer bu sav başarılı olursa Muğla gibi önemli mermer üretim bölgesindeki mermerden kaynaklanan çevresel sorunlar azaltılıp var olan kömür madeninin de etkin kullanımı söz konusu olabilecektir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Muğla Yöresindeki madencilik faaliyetleri ile ilgili olarak verimlilik ve çevresel kavramlar açısından aşağıdaki konuların gözetilmesi yararlı olacaktır:

1. Mermer ocak üretiminde zincirli kollu kesicilerin kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Yapılan ön çalışmalar, bu makinelerin kesme hızının arttırılabileceği ve keski aşınmalarının düşebileceğini göstermiştir. Bu araştırmaların çok daha ileri bir düzeye getirilmesi bu alanda çok yararlı olacaktır.
2. Muğla Yöresinde olası çevresel sorunlara neden olabilecek mermer artıklarının, yöredeki termik santrali besleyen kömür madenciliği ile ilişkilendirilebilme olanağı bulunmaktadır.

Yöredeki mermer artıklarının özellikle Yatağan'daki kömür yatakları için yakın gelecekte uygulanacak yeraltı üretim yönteminde dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması için çok yararlı olacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazar, verdikleri değerli bilgiler nedeniyle Sayın Y. Akın (Bereket Enerji Yatağan kömür İşletmesi), Sayın M. Ercan (ERMAŞ Mermer A.Ş.) Sayın Y. Akdemir (Ado Madencilik A.Ş) ve Sayın B. Yuca'ya teşekkür eder. Bu yazıda verilen görüşler bütünüyle yazara aittir.

KAYNAKLAR

Akdemir, Y. Ado Madencilik, Kişisel görüşmeler, 2017.

Akın, Y. Bereket Enerji, Kişisel görüşmeler, Muğla. 2017.

Hekimoğlu, O.Z., Studies on increasing the performance of chain saw machines for mechanical excavation of marbles and natural stones. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 72(2014) 230-24.

Yuca, B. Entaş Mermer, Kişisel görüşmeler, Muğla. 2017

MERMER ATIKLARININ MİKRONİZE KALSİT OLARAK DEĞERLENDİRİLME POTANSİYELİ

Vedat DENİZ

Hitit Üniversitesi, Polimer Mühendisliği Bölümü

E-posta: vedatdeniz@hitit.edu.tr

1. GİRİŞ

Dünya kabuğunun % 4'ten daha fazlası kalsiyum karbonat içerir, bu da onu doğanın en bol hammaddelerinden biri haline getirir. Kalsiyum karbonat neredeyse M.Ö. 40.000 yıl öncesine kadar mağara boyalarında kullanıldığı durumdan bu gün kağıt ve plastik sektörü gibi gelişmiş teknolojilere kadar kullanılabilen eşsiz özellikleri nedeniyle çok önemli bir mineraldir. Tebeşir, kireç taşı ve mermer de dâhil olmak üzere diğer kalsiyum karbonat formları ile birlikte, günümüzde insanlara dokunan geniş bir ürün gamında kullanılmaktadır. Kalsiyum karbonat dünyadaki en yaygın kullanılan hammaddelerden biridir ve yeni uygulamalar sürekli gelişmekte olup, kullanımının bir sonraki binyılda da devam etmesi muhtemeldir.

Doğal kalsiyum karbonat, bloklu (tebeşir), scalenohedral (kalsit) veya kısa iğne asiküler (aragonit) gibi çeşitli kristal şekillerde oluşur. Kireç taşları grubunda yer alan kalsit, dolomitik kireçtaşı ve

aragonit genellikle beyaz renkte olup, bazen safsızlığı bozan katkıları sebebiyle sarıdan kırmızıya kadar ve kahverengiden gri renge kadar renk alabilmektedir. Kalsit ya da bir başka adıyla “Kalsiyum Karbonat” (CaCO_3), sertliği 3, özgül ağırlığı 2.7 g/cm^3 olan, parlak ve saydam renkte, kolay kırılabilen ve iri kristalli bir mermerdir. Mikronize edildiğinde parça boyuttaki renginden çok daha beyaz bir toz elde edilir (Yüçetürk, 2010).

Ocaktan üretilirken blok verebilen, kesilip parlatılabilen ve özellikleri açısından kaplama taşı özelliklerine uygun olan her türden taş, kökeni ister ilk oluşum olarak tortul (sedimenter) veya magmatik ister sonradan basınç ve sıcaklık etkisi ile metamorfik olsun, ticari olarak "Mermer" olarak bilinmektedir. Birçok yapı malzemesi içerisinde kullanılan kalsit, mermer olarak kullanıldığı gibi kendine özgü özellikleri ile endüstriyel mineral olarak da kullanılmaktadır.

Kalsiyum karbonat veya kalsit ufalama ve sınıflandırma işlemlerinden geçerek mikronize edilir ve sektörüne göre doğal öğütülmüş olarak ya da öğütülüp kaplama işleminden geçirilmiş olarak, genellikle dolgu malzemesi (filler) olarak, seramik, cam, boya, kâğıt ve plastik sektörlerinin kullanımına sunulur. Ayrıca, mikronize kalsit yem, diş macunu, yapıştırıcı, çiklet, sünger, kauçuk, halı tabanı ve muşamba içerisinde belirli oranlarda konularak kullanılmaktadır (Tercan ve Özçelik, 2000).

Öğütülmüş doğal kalsiyum karbonatın kullanımı sırasında kalitesini tanımlayan temelde üç niteliği vardır. Bunlar parça boyutu, renk açısından optik özellikleri (beyazlık, parlaklık ve sarılık) ve kimyasal saflığıdır. Bunun dışında kullanım yerine bağlı olarak; yüzey alanı, boyut dağılımı, yağ emme, çözeltide dağılabilme v.b. özellikler de aranmaktadır.

Bu çalışmada, mermer ocaklarının çevreye olan görsel kirliliğine neden olan özellikle beyaz mermer atıklarının endüstride mikronize kalsit olarak elde edilebilme potansiyeli üzerine durulmuştur. Toz kalsit üretiminde kalsit mineralinin piyasa şartlarına uygun özelliklere sahip olabilmesi için mermer atıklarının özelliklerinin iyi incelenmesi gerekir. Bunun için, önce malzeme üzerinde gerekli olan testlerini yaparak, ortaya çıkan test sonuçlarına göre, sektörün istemiş olduğu koşullara uygun mikronize kalsit olarak mermer atıklarının endüstriye tekrar kazandırılabilirliği incelenmiştir.

2. MERMER OCAKLARI VE MERMER FABRİKALARINDA ATIK DURUMU

Atık ve artık ürünlerin çevreye gelişi güzel atılması veya belirli alanlarda depolanması hem görsel çevre kirliliğine hem de diğer unsurlarla bir araya gelerek diğer doğal kaynakların kirlenmesine neden olabilmektedir. Günümüzde, atık veya artık olarak ortaya çıkan malzemelerin geri dönüşümü konusunda son yıllarda birçok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Bu çalışmalarda, atıkların mevcut birçok sektörde dolgu maddesi olarak kullanılıp kullanılmayacağı ortaya koymak veya atıklardan yeni kullanım alanlarında değerlendirilerek yeni kullanım yelpazesi yaratmaktır. Mermer atıkların geri kazanımı veya farklı sektörlerde değerlendirilmesi ile hem henüz el değmemiş doğal kaynakların kullanımını azaltarak, doğanın tahrip edilmesi önlenmekte hem de mevcut mermer üretiminin verimliliği artırılmaktadır. Buna ek olarak, atıkların depolanması sonucu oluşacak çevre sorunları da ortadan kaldıracaktır (Yazıcıoğlu ve Kara, 2017).

Mermerlerin ocaktan kesilerek çıkarılması ve blok mermerlerin fabrikada işlenmesi esnasında ortaya çıkan ve mamul mermer üretiminden geriye kalan bütün parça ve tozları mermer atığı

olarak kabul edilmektedir (Demir ve ark., 2014). Mermer atıkları, oluşum yerlerine göre ocaklarda ve fabrikalarda oluşan atıklar, boyutlarına göre ise molozlar, kapaklar, paledyenler (Şekil 1) ve toz atıkları (Şekil 2) olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 1. Farklı parça beyaz mermer atıklarının görünümü



Şekil 2. Beyaz toz mermer atıkları

Mermer ocak ve fabrikalarında potansiyel görsel etki yaratan durum (Şekil 3-4), ocağın yapısal özellikleri, hareketli alanlar ve inşaat alanlarıdır. Mermer ocaklarının genel görüntüsü, çeşitli boyutlardaki çukurluklar ile toprak ve mermer atıklarından oluşan döküm sahaları şeklinde görülmektedir. Bu manzaranın çevre görüntüsüne kattığı olumsuz etkiden dolayı özellikle günümüzde gittikçe artan çeşitli çevrelerde, psikolojik boyutta tepkilerin oluşmasına sebep olmaktadır (Yüçetürk, 2010).



Şekil 3. Mermer ocağı ve atık saha görüntüsü



Şekil 4. Mermer fabrikası atık saha görüntüsü

Çevresel tepkilerin ortadan kaldırılması veya azaltılmasını sağlamak amacı ile birçok sektör açısından mermer ocaklarındaki atıklar beton ve yol için mıcır olarak genellikle değerlendirilmektedir.

Oysa bu sektörlerde malzemenin ton fiyatı 5-10 \$ civarında iken, özellikle beyaz renge sahip olan mermer atıklarının endüstriyel hammadde olarak değerlendirilmesi düşünüldüğünde kullanım alanına bağlı olarak ton başına 60\$ ile 400\$ arasında bir değer de piyasaya sunulabilmektedir. Özellikle nano boyutlu kalsitler 400-500 \$ civarında alıcı bulabilmektedir.

Mermer ocakları ve fabrikalarında birikmiş yüz binlerce hatta milyonlarca ton atık olan bu ekonomik potansiyelin, bir endüstriyel ürün malzemesi olmasına imkân verecek çalışmalar yapılarak endüstriye katkı malzemesine yükseltilmesi sayesinde ülke ekonomisine katkısı açısından da önemlidir. Ayrıca görüntü kirliliğine neden olan mermer atıkları ortadan kaldırılarak hem çevre sakinlerinin tepkisinden kurtulmuş hem de ocak ve fabrikada var olan %50 ila %70'e varan üretim kayıpları bu sayede azaltılmış ve işletme açısından ek kazanç sağlanmış olacaktır.

3. ENDÜSTRİYEL HAMMADDE OLARAK MİKRONİZE KALSİT'İN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Aslında, mermer atıklarının mikronize kalsit dışında kullanıldığı sektörler olan; çimento, beton ve agrega malzemesi üretiminde, cam ve seramik sektöründe, seramik yapıştırıcı ve derz dolgusu sektöründe, suni mermer üretiminde, oto lastiği üretiminde, toprak düzenleyici olarak ziraat sektöründe ve hayvan yemi üretimi gibi sektörlerde de atık mermerler ufalanma ve hatta çok ince öğütülme ihtiyaçları söz konusudur. Yukarıda bahsi geçen sektörler dışındaki diğer katma değeri yüksek sektörlerde ise yüksek oranda CaCO_3 içeriğinin yanı sıra hem boyut özellikleri açısından çok ince (mikronize) öğütülmeleri hem de optik özellikler açısından istenen özellikleri (beyazlık, parlaklık ve sarılık değerleri) sağlaması istenmektedir.

Mikronize kalsit, tüm kağıt sektörü üretiminde selüloz'a %15-%40 oranında katılarak kullanılmaktadır. Kalsit, başka diğer katkı maddelerine oranla daha ucuz oluşu ve teknik anlamda parlak ve beyaz renkte oluşu ile kâğıda kazandırdığı diğer teknik özelliklerden dolayı son 30 yıldır Avrupa ve tüm dünyada kaolinin yerini alarak kâğıt sektörüne girmiştir. Kâğıt sektöründe daha az selüloz ve daha az optik beyazlatıcı olan titanyum dioksit (TiO_2) tüketimi sağlayarak çevreye de ciddi katkılarda bulunmaktadır (Özçelik, 1999; Yüçetürk, 2010).

Yine boya sektöründe, inşaat boyalarında iç ve dış kaplamada su bazlı boya sisteminde %25-%30 oranında öğütülmüş kalsit kullanılmakta ve titanyum dioksit tüketimini azaltarak maliyetleri düşürücü yönde etki etmektedir (Yüçetürk, 2010).

Kimyasal saflığı, beyaz ve parlak rengi ve ucuzluğu gibi nedenlerle birçok plastik mamul üretiminde kullanılan mikronize kalsit, gerek doğal öğütülmüş gerekse kaplanmış olarak 2 çeşittir. Mikronize kalsit, Polypropilen (PP), Plyami (PA), Termoplastik (TPES) ve PVC reçineleri esas olmak üzere, bir çok plastik mamul üretiminde, özellikle kablo sanayinde, PVC boru, PVC profil (Pen), PVC lambri vb. sektörlerde yoğun biçimde kullanılmaktadır (Yüçetürk, 2010).

Mikronize kalsit, ayrıca, seramik yapıştırıcılar, yem sanayi, çiklet, diş macunu, halı tabanı ve muşamba, sünger, kauçuk vb sektörlerde de kullanılmaktadır. Boya, plastik ve kâğıt sektörlerinde her geçen yıl kalsit kullanımını artmakta ve yaklaşık her yıl %10 büyüyen ve yeni kullanım alanları oluşan mikronize kalsit tüketimi her yıl en az %20 artmaktadır.

Dünya kalsit rezervleri hakkında düzenli ve yeterli bilgi bulunmamaktadır. Özellikle metamorfik kireçtaşlarında açılmış olan mermer ocağı artıkları ve blok alınamayan sahalarda üretim yapılması

ile dünyada kalsit için bir rezerv problemi olmadığı bilinmektedir. Ancak çok beyaz renkli, saf ve “öğütülebilme indeksi” yüksek olan yani kolay öğütülen, limanlara ve tüketim merkezlerine yakın olan karbonatların her zaman tercih edilmeye devam edilmektedir.

Dünya kalsit piyasa büyüklüğü 2012 yılında 15.6 milyar dolar karşılığı 86.5 milyon ton olarak Global-Market-Research tarafından rapor edilmiştir (Market-Research-Reports.com.) Bu rakamların 2013– 2019 yılları arasında yıllık ortalama %7 artarak 25 milyar dolara ve 138.5 milyon tona yükseleceği öngörülmektedir. ABD’nin payı %20.7 iken Avrupa pazarı 20.5 milyon ton ile %23.5 pay almaktadır. Global kalsit pazarında Çin ve Hindistan’ın başı çektiği Asya pazarı büyümenin de en yüksek olduğu kesimdir. Çin Asya’daki üretimin % 70’den fazlasına sahiptir. Çin kalsit üretiminin 2019 yılında 30 milyon tonu bulması beklenmektedir. Ülkemizde tüketilen kalsit miktarı Dünya tüketiminin %1’ine bile ulaşmamaktadır. Dolayısıyla, ülkemiz kalsit rezervleri ve beyaz mermer atıklarının iyi değerlendirilmesi sonucu ülke ekonomisine çok büyük katkı yapacaktır.

4. MERMER ATIKLARINDAN BEYAZ OLANLARIN AYIKLANMASI

Kireçtaşı kökenli mermer endüstrisindeki katı atıklar %80-90 CaCO₃ (kalsiyum karbonat) içermektedir. Ayrıca, demir, magnezyum, sodyum ve diğer metal ile metal olmayan iyonlar gibi farklı kirlilikler (safsızlıklar) içerir. Kalsiyum karbonat, kağıt endüstrisinde, boya endüstrisinde, plastik endüstrisinde, mürekkep, kozmetik, gıda ve ilaç endüstrisinde yaygın kullanılmakta ve bu sektörlerde kalsiyum karbonatta kirliliğin bulunmaması çok önem arz eder. Doğal kalsiyum karbonatların bünyesindeki bu kirliliklerin sorun teşkil etmesi ve birçok mermer ocaklarındaki atıklarında benzer kirlilikleri ocaktan

ocağa değişmekle birlikte bu sektörlerde kullanımını kısıtlamaktadır. Bu durumda, doğal kalsiyum karbonat olan mineraller (kalsit, tebeşir, aragonit v.b.) kirlilikleri giderecek yöntemlerle göre zenginleştirilmeleri gerekmektedir.

Nispeten beyaz mermer atıkları iri boyutlarda (5-25 cm) Şekil 5’de gösterildiği üzere renklerine göre zenginleştirme işlemleri açısından el ile tavuklama (triyaj), ya da daha küçük boyutlarda (0.2-8 cm) otomatik optik ayırıcılar ile tavuklama yöntemi kullanılması mermer atıklarının katma değeri çok daha yüksek ürün ihtiyacı olan sektörlerde (boya, kağıt, plastik v.b.) değerlendirilmesi için zorunludur. Şekil 6’da optik ayırma sonucu başarılı bir şekilde beyaz mermer ile renkli mermer atıklarının ayrılmış hali gösterilmektedir.



Şekil 5. Elle ve otomatik (optik) ayıklama işlemi

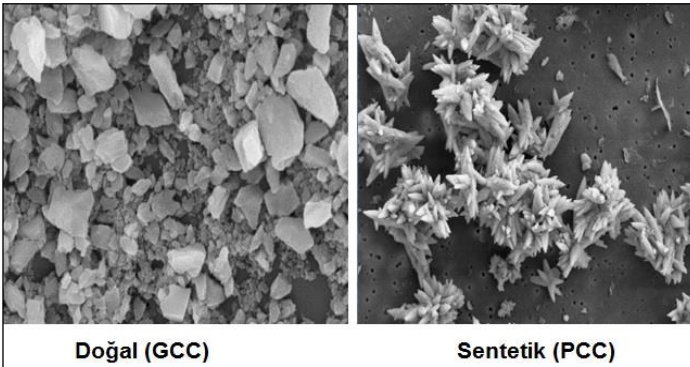


Şekil 6. Optik ayırıcı sonrasında beyaz kalsit örneklerin görünümü

Ayrıca, mermerlerin içerisinde bulunan demir ve mangan mineralleri manyetik ayırma ile, silis içerikleri de flotasyon veya elektrostatik ayırıcılar ile zenginleştirilmeleri mümkündür. Bu tür zenginleştirme yöntemleri hem bu yöntemlerin çok pahalı olması hem de mevcut kalsitlerin kalitesi yüksek olması sebebiyle günümüzde tercih edilmemektedir.

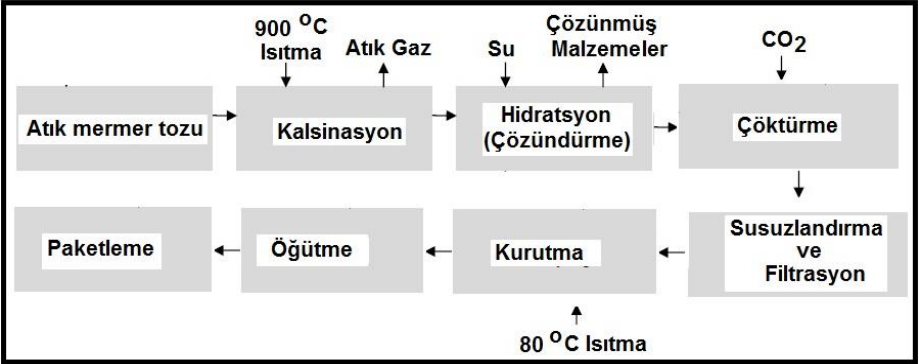
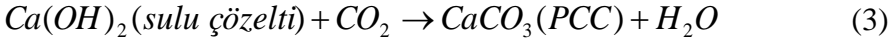
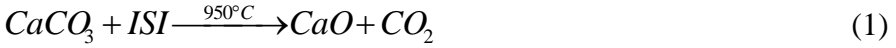
5. ÖĞÜTÜLMÜŞ DOĞAL KALSİYUM KARBONAT'IN (GCC) YERİNE ALTERNATİF KULLANIM ÜRÜNÜ; SENTETİK (ÇÖKTÜRÜLMÜŞ) KALSİYUM KARBONAT (PCC)

Kalsiyum karbonat, kağıt, boya, plastik, kozmetik, gıda ve ilaç endüstrisinde yaygın kullanıldığını ve bu sektörlerde kirliliğin bulunmamasının çok önem arz ettiğini daha önce bahsetmiştik. Bu durumda, ya doğal kalsiyum karbonat (GCC) olan minerallerin (kalsit, tebeşir, aragonit vb.) kirliliklerini giderecek yöntemlerle göre zenginleştirilmeli, ya da kirlilik barındırsalar da bir mermer ocağındaki kalsiyum karbonat kökenli atıklar sentetik (çöktürülmüş) kalsiyum karbonat (PCC) üretmek ile mümkün olabilecektir. Doğal öğütülmüş (GCC) ve sentetik (çöktürülmüş) (PCC) kalsit'in SEM görüntüsü Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. Doğal öğütülmüş (GCC) ve sentetik (PCC) kalsitin SEM görüntüsü

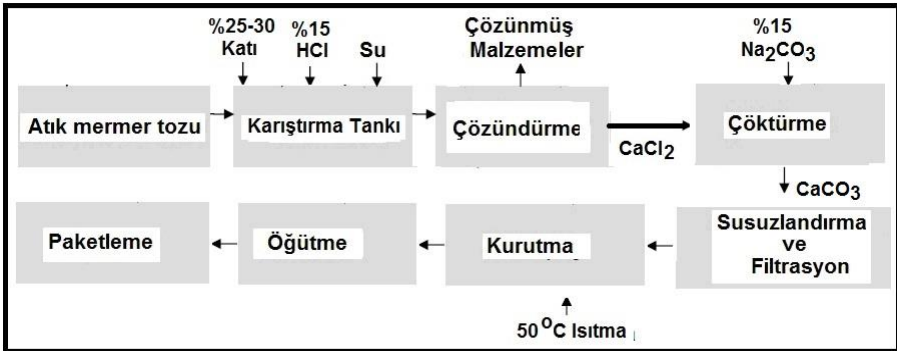
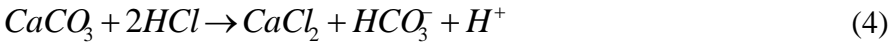
Sentetik (çökeltilmiş) kalsiyum karbonat (PCC), iki yöntemle üretilir. Daha fazla tercih edilen yöntem, Şekil 8’de gösterildiği üzere 950 °C’nin üzerinde kalsine edilerek (kavurma) elde edilen CaO’dan su ile hidrata ederek sönmüş kireç (Ca(OH)₂) formunda çamur haline dönüştürülür ve sonrasında çamura CO₂ gazı enjekte edilerek PCC halinde CaCO₃ çökertilir ve fırınlarda kurutulur. Bu sürecin kimyasal işlem reaksiyonları Eşitlik 1 ile Eşitlik 3 arasında verilmiştir. Kavurma (kalsine) işleminin 950 °C gibi yüksek sıcaklıkta gerçekleşiyor olması, çöktürme işlemi için CO₂ gaz tüketiminin olması ve çöken PCC çamurunun 80 °C’de kurutulma ve sonrasında öğütülme ihtiyacı nedeniyle oldukça pahalı bir işlem olduğu da göz ardı edilmemelidir.



Şekil 8. Kalsinasyon ile sentetik (çöktürülmüş) kalsiyum karbonat üretimi akım şeması

İkinci yöntem olarak, Şekil 9’da gösterildiği üzere HCl asitle çözüldürülerek CaCl tuzu olarak sulu çözeltiliye sodyum karbonat

(Na_2CO_3) ilavesi ile reaksiyona girerek ince ve yüksek parlaklıktaki bir kalsiyum karbonat ürünü (PCC) çöktürerek elde edilir. Aşağıda, Eşitlik 4-5’de bu işlemin kimyasal reaksiyonları verilmiştir. Bu yöntemde de, oldukça fazla miktarda HCL asit (620 L/t) ve sodyum karbonat (Na_2CO_3) (1 t/t) kullanıyor olması ve çöken PPC çamurunun 50°C ’de kurutulma ihtiyacı sebebiyle, işletme maliyetleri açısından problem doğurabilmektedir (Satyanarayana ve ark., 2015).



Şekil 9. HCl asitle çözündürme ile kalsiyum karbonat üretimi akım şeması

Her iki metotla da birçok farklı kristal yapıda sentetik PCC ürün elde edilebilir. Sektörün istediği kullanım durumuna ve özelliklere göre PCC uyarlanabilir. Kâğıt, plastik, gıda v.b sektörlerde sentetik PCC kullanıldığında, GCC'ye kıyasla daha parlak, daha düşük aşındırma ve daha yüksek saflık elde edilebilmesi açısından Avrupa’da tercih edilmektedir. Özellikle, Avrupa ülkelerinde beyaz renkli kalsiyum karbonat minerallerin (kalsit, tebeşir, mermer, aragonit v.b) rezerv açısından son yıllarda bulunamaması sebebiyle sentetik PCC, doğal GCC’ye alternatif olmuş ve bu nedenle birçok

sentetik PCC üreten fabrika kurulmuştur. Ülkemizde ise hale hazırda beyaz ve kirlilik ihtiva etmeyen kalsit ve beyaz mermer rezervleri oldukça fazla olması sebebiyle doğal öğütülmüş kalsiyum karbonat (GCC) üretimi daha yaygın olup sadece Afyon ilinde olmak üzere 1 adet sentetik PCC üretim yapan fabrika vardır. Sentetik çöktürülmüş kalsiyum karbonat (PCC) üretim süreçlerinde elde edilen ürün çamur halinde olması sebebiyle önce filtre edilip kurutulmaları gerekmektedir. Ayrıca, kurutulma sebebiyle ürünün kekleşmesi sebebiyle tekrardan öğütülme ihtiyacı duyması açısından doğal GCC'ye göre dezavantajlıdır. Doğal öğütülmüş kalsiyum karbonat (GCC), hem ilk yatırım maliyetleri hem de işletme maliyetleri açısından sentetik PCC'ye karşı çok daha avantajlıdır. Gelecekte ise doğal kalsit ve mermerlerimizi iyi değerlendirememesi sebebiyle Avrupa ülkelerine benzer sentetik PPC üretimine geçmek zorunda kalacağımız aşikârdır.

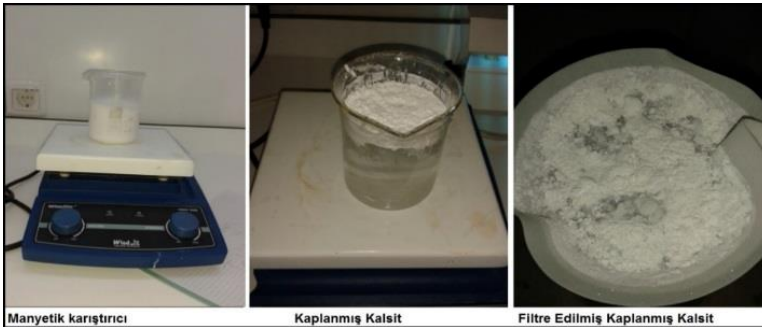
6. DOĞAL VE KAPLANMIŞ MİKRONİZE KALSİT

Dolgu maddesi olarak çok ince öğütülmüş kalsiyum karbonat (kalsit) birçok sektörde yaygın olarak kullanılır iken, hidrofobik (su sevmez) kalsit taneleri, kağıt, plastik, kauçuk ve yapıştırıcı sektöründeki ürünün matrisine (kütlesine) daha uyumludur. Yüzey kaplama işlemi, kalsit tanelerini hidrofobik yapmak için yaygın kullanılır. Plastik, kağıt, kauçuk ve yapıştırıcı gibi sektörlerde kalsitin dolgu malzemesi olarak kullanımında yüzey kaplama ile kalsitin mekanik ve fizikokimyasal özelliklerinin yanı sıra kütledeki dolun yükünü arttırması ve daha düşük nihai üretim maliyetine etki etmesi sebebiyle tercih edilir.

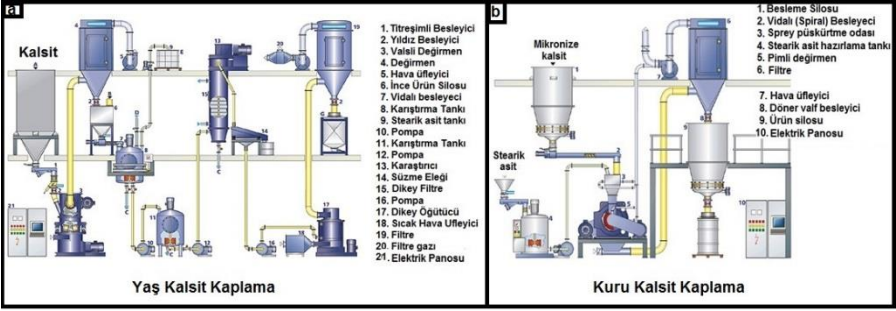
Kalsitin kaplanması sonucu plastik, kağıt, kauçuk ve yapıştırıcı gibi sektörlerde ürüne kazandırdığı özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

Kolay dağılma	Daha az kalıp aşınması
Mukavemet artışı	Organik ortamlara uyumluluk
Kimyasal dayanım	Hidrofobik (su sevmez) bir yapı
Yüksek homojenlik	Daha parlak ve daha pürüzsüz yüzey
Düşük yüzey enerjisi	Üretim araçlarının verimliliklerinde artış

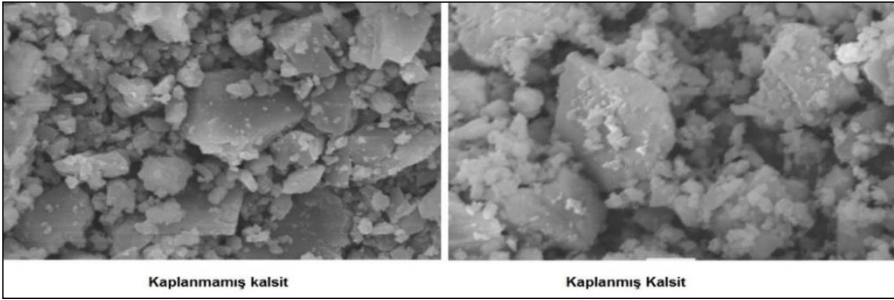
Kalsit kaplama işleminde birçok polimer kullanılmakla birlikte, çoğunlukla *stearik asit* ya da *kalsiyum stearat* kullanımı yaygındır. Daha az olmakla birlikte, magnezyum stearat, çinko stearat, lityum stearat, Wax, PAA, PAN v.b. polimerler ile de kaplama yapılabilmektedir. Kaplamada önemli olan ucuz maliyetli olan kaplama malzemesini seçmek gerekmektedir. Kalsit kaplama teknolojisi, kuru ve yağ yöntem olarak yapılabilmektedir. Şekil 10'da stearik asit ile yağ kalsit kaplama tekniği laboratuvar ölçeğinde nasıl yapıldığı görülmektedir. Şekil 11a'da ise endüstriyel anlamda örnek bir akım şeması verilmiştir. Yağ teknik sonrası elde edilen kaplanmış kalsiti filtre edip kuruttuktan sonra tekrar öğütme ihtiyacı doğması bir dezavantajdır. Bu nedenle günümüzde daha çok yaygın kullanılan ve Şekil 11b'de gösterilen kuru kalsit kaplama tesisi daha yaygın tercih nedenidir. Ayrıca, kaplanmış kalsit'in SEM görüntüsü Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 10. Yağ kalsit kaplama tekniği



Şekil 11. Yaş ve kuru kalsit kaplama tesisi akım şeması



Şekil 12. Kaplanmamış ve kaplanmış kalsitin SEM görüntüsü

7. ENDÜSTRİNİN İHTİYAÇ DUYDUĞU MİKRONİZE KALSİT İÇİN TEST YÖNTEMLERİ

Mikronize kalsit'in endüstriyel anlamada katma değeri yüksek ürün olarak talep edilmesi için bazı fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal özellikleri açısından endüstrinin istemiş olduğu özellikleri taşıması gerekmektedir. İstenen mikronize kalsit özellikleri, onu kullanacak sektörden sektöre değişmekle birlikte mikronize kalsit'in değişik sektörler açısından istenen özelliğinin bazı testlerle belirlenmesi gerekir.

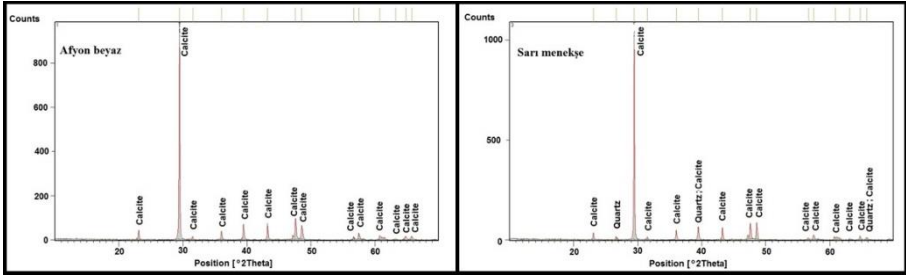
1. *Kimyasal analizler* (XRF); Kalsit örneğinin içerik analiz değerlerinin (CaO, SiO₂, MgO, Fe₂O₃, Al₂O₃, Na₂O, K₂O, SO₃, Kızdırma kaybı) belirlenmesi,

Çizelge 1. Beş farklı kalsit örneğinin XRF sonuçları

No	KK	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
1	44.01	51.30	2.75	1.34	0.21	0.15	0.19	0.06	0.00
2	43.21	54.90	0.26	1.19	0.13	0.14	0.13	0.04	0.00
3	41.72	50.34	0.92	1.81	0.22	4.65	0.15	0.09	0.10
4	43.17	55.48	0.12	0.36	0.04	0.00	0.03	0.01	0.00
5	43.39	55.77	0.24	0.42	0.03	0.01	0.09	0.01	0.03

KK: kızdırma kaybı

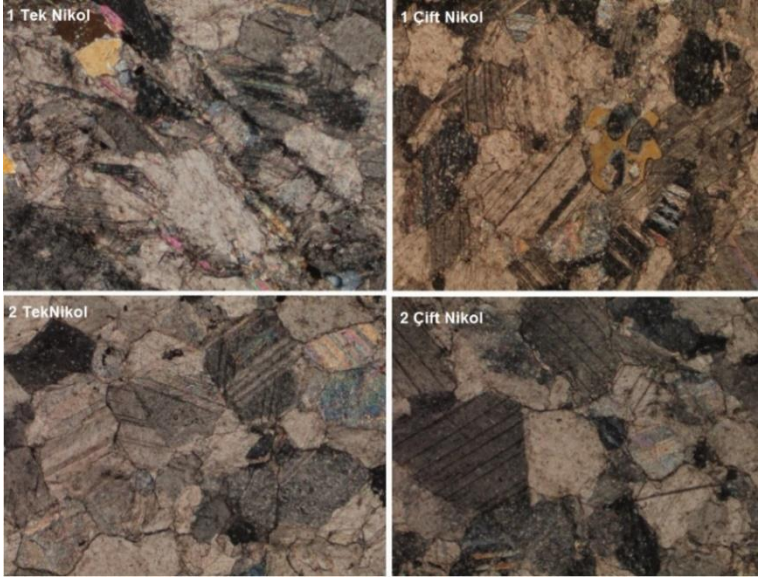
2. *Kayaç yapısı* (XRD); kayaç yapısında kalsit, tebeşir, kalker veya aragonit olup olmadığı ve diğer mineraller içerip içermediğinin tespitinin yapılması,



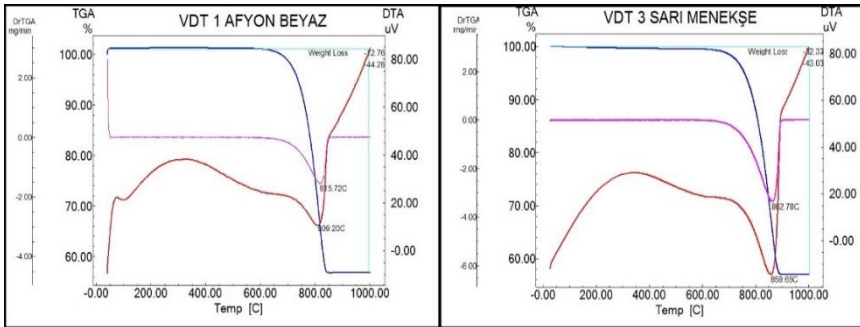
Şekil 13. İki farklı mermer atığının XRD sonucu

3. *Mineralojik analizler* (Polarize mikroskop), minerallerin kristal yapısı, rekristalisasyonu ve büyüklüğü, kristallerin dilinimli olup olmaması, mineral dağılımının homojen veya heterojen olması ve eser oranda bulunan diğer minerallerin belirlenmesi,
4. *Termal Gravimetrik Analiz* (TGA) ve *Diferansiyel Termal Analiz* (DTA); malzeme bünyesinde meydana gelen ağırlık değişimleri (su kaybı, organik madde uzaklaşması gibi) belirlemede TGA, ekzotermik ya da endotermik reaksiyonlar sonucu meydana gelen sıcaklık değişimleri DTA cihazı ile tespit edilmesi,

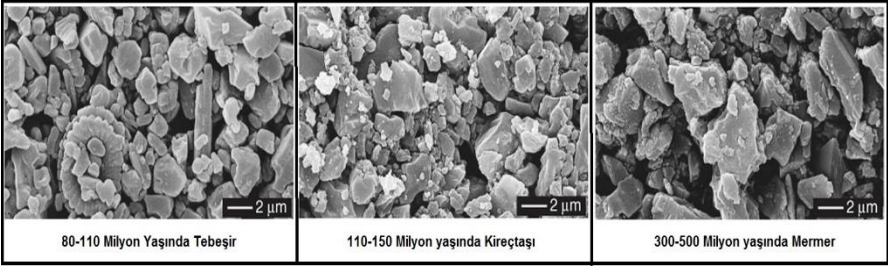
5. *Morfolojik Durum Tespiti* (SEM); aşırı öğütme sonrası kalsitin ufalanma şekilleri (küçük, çubuksu, pulsu v.b.) farklılığının ortaya konması ve aşırı öğütme sonrasında yüzey pürüzlülüğü oluşumu ve mekano-kimyasal etki ile kristal yapısında dönüşümün olup olmadığının belirlenmesi,



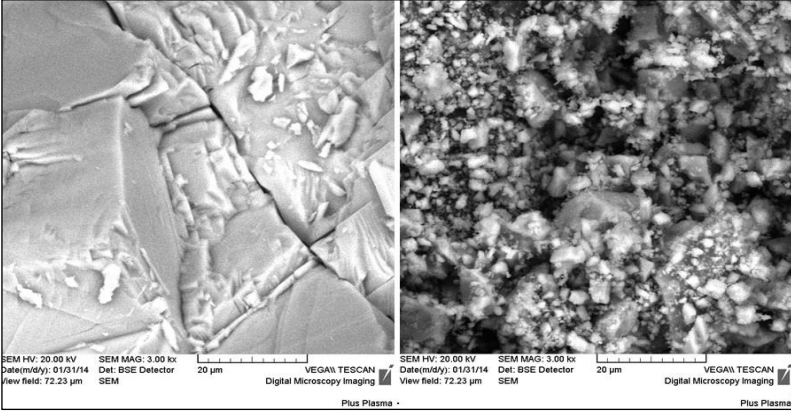
Şekil 14. İki farklı mermer atığının tek ve çift nikol ile polarizen mikroskop görüntüsü



Şekil 15. İki farklı mermer atığının TGA ve DTA analiz görüntüsü

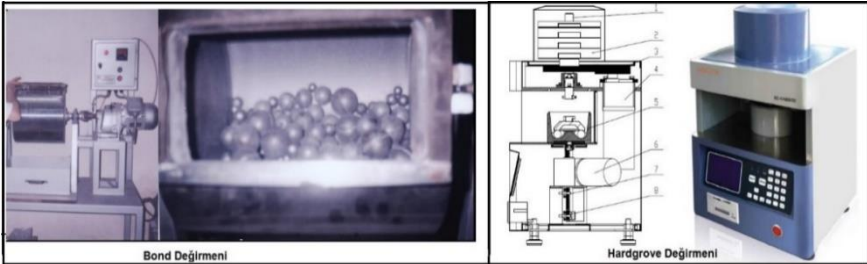


Şekil 16. Tebeşir, kireçtaşı ve kalsit'in SEM analiz görüntüsü



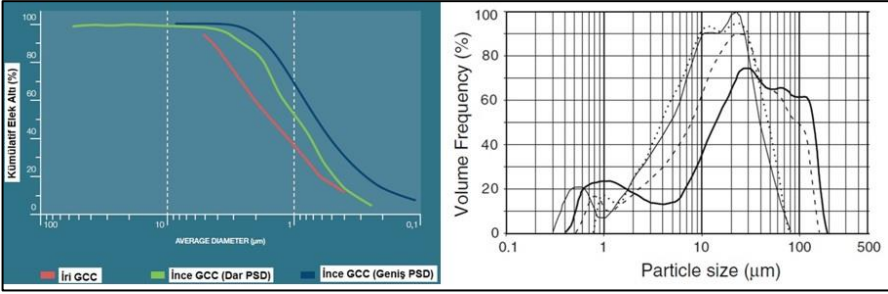
Şekil 17. Öğütülmemiş ve öğütülmüş kalsit'in SEM analiz görüntüsü

6. *Öğütülebilirlik*; öğütme maliyetleri açısından Bond İş İndeksi (W_i) ve Bond öğütülebilirlik (G_{bg}) ile Hardgrove öğütülebilirlik (HGI) değerlerinin belirlenmesi,



Şekil 18. Bond Değirmeni ve Hardgrove değirmeni

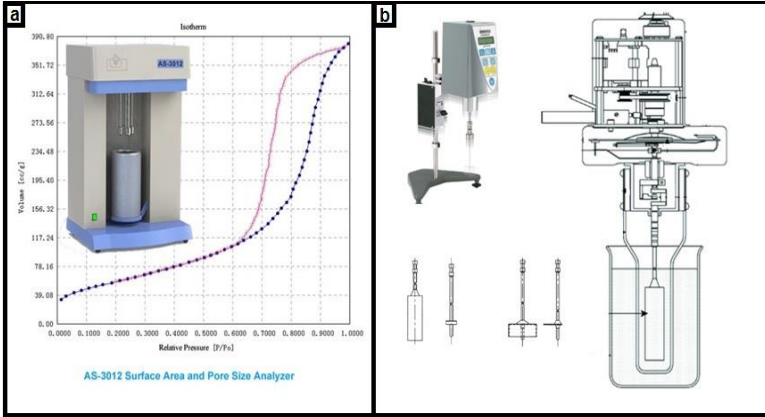
7. *İncelik*; endüstrinin istemiş olduğu nihai ürün boyutu (d_{10} ; d_{20} ; d_{50} ; d_{80} ; d_{98} , v.b) ve boyut dağılımının (PSD ve SF(d_{50}/d_{20})) belirlenmesi,



Şekil 19. Farklı öğütülmüş kalsit tozların boyut dağılımı

8. *Yüzey Alanı Tespiti (BET)*; kullanılacak sektörde kaplayacağı yüzey alanı açısından durumu ve öğütme sonrası pürüzlülük tespitinin belirlenmesi (Şekil 20a),

9. *Vizkozite*; sulu çözeltilerde oluşturacağı viskozitenin (cP) belirlenmesi (Şekil 20b),



Şekil 20. Yüzey alanı (a) ve vizkozite (b) ölçüm cihazları

10. *Reolojik özellikler*; sulu çözeltilerde dağılıma, salkımlaşma, absorpsiyon ve adsorpsiyon çalışmaları ile mikronize kalsitinin yüzey özelliklerinden z.p.c.'nin (Şekil 21a) ve temas açısının (Şekil 21b) belirlenmesi,
11. *Optik Özellikler*; öğütülmüş nihai ürünün Beyazlık (Ry); Parlaklık (R457) Sarılık (YI) değerlerinin belirlenmesi (Şekil 21c),
12. *Aşınma Direnci*; saf suda 100 g kuru kalsitin (CaCO_3) 6000 devir dağıtılması sonrası aşındırma cihazındaki parçada yapmış olduğu mg olarak ağırlık kaybı olup, kağıt sanayinde önemli bir değerdir (Şekil 21d).



Şekil 21. Yüzey yükü ölçümleri(a), temas ölçüm(b) renk ölçüm(c) ve aşınma testi cihazları (d)

8. KALSİYUM KARBONAT'IN (KALSİT) UFALANMASI VE ÇOK İNCE ÖĞÜTÜLMESİ

Ufalama, dünya genelinde elektrik enerjisinin %3 ile %4 gibi bir kısmını ve tipik bir cevher hazırlama tesisinde ihtiyaç duyulan toplam enerjinin %70'in üzerinde harcayan önemli bir işlemdir. Bu nedenle, ufalama verimindeki çok küçük bir kazancın sağlanması, bir tesisin işletme masrafları üzerinde en büyük paya sahip olan enerji masrafının azalmasına çok fazla etkisi olacaktır (İpekoğlu, 1989; Deniz, 2004).

Enerjinin, kırma ve öğütme işlemleri açısından önemli bir sorun olduğu gerçeği göz ardı edilemez. Birçok kırıcı üreten firma,

kırılacak olan kayaçlar için birçok tür kırıcı üretmektedir. Alternatifler arasından doğru seçim yapmak oldukça zordur. Genelde doğru seçim yapılamamakta, verimsiz ve yanlış uygulamalar görülmektedir. Kırıcı donanımın seçimi doğru olsa bile, kırıcı verimsiz olarak çalıştırılmaktadır. Uygun donanım seçimi ve kırıcı özelliklerinin optimizasyonu, boyut küçültme işlemleri açısından önemlidir. Bunun için gerekli olan bütün parametreler göz önünde tutularak inceleme yapılması şarttır. (Deniz ve Soydan 1999; Deniz 2002; Deniz 2005a; Deniz 2005b; Deniz ve ark., 2007).

Ufalama işleminin gerçekleştiği makinelerde baskı, darbe, kesme, burulma ve aşınma kuvvetleri etkili olmaktadır. Ufalama işleminin gerçekleştiği makinalarda en çok etkili ve istenen kuvvet ise darbe kuvvetidir. Darbe kuvveti, hem elastik hem de plastik özellik gösteren malzemelerde çok etkili olmaktadır. Ayrıca darbe etkisini yaratan makinalarda ufalama oranları 20 ila 40 arasında olabilmektedir. Bu durum göz önüne alındığında darbe kuvvetinin ufalama maliyetinde önemli bir etkisi söz konusudur. Ayrıca, yapı malzemesi (çimento, alçı, boya v.b) olarak kullanılacak ürünlerde ileriki zamanlarda malzeme içerisinde iç gerilme yaratmaması da önemli bir avantajdır. Darbe kuvvetinin tek dezavantajı ise sert olan malzemelerde aşınma problemi yaratmasıdır. Aşınma probleminin çözümünde ise tanelerin kendi kendini (otojen) kırma etkisinden yararlanan ufalama makinaları kullanmak en iyi yöntem olmuştur (İpekoğlu, 1989; Özdağ, 1992; Wills, 1992; Deniz, 2003).

Ülkemizde birçok büyük ve küçük ölçekli işletmelerin bulunması ve darbe etkisi yaratan ufalama makinalarının bu tür işletmelerde çok kullanılması nedeniyle bu konuda çalışmaların yoğunlaştırılması gereği vardır. Ufalama donanımı seçiminde gelenekler ve alışkanlıklar yerine malzeme türünün özellikleri ve çalışma şartları göz önünde bulundurulması ile daha ekonomik ve

kontrollü bir üretim yapılacağı aşikârdır (Deniz ve Öğütçü, 2006; Deniz ve Özden, 2009).

8.1. Kırıcı Seçimi

Bir kırıcının kırma işlemini verimli yapması için, ufalama oranına uygun bir ufalama işlemi yapması gerekir. Eğer, kırıcı teorik ufalama oranlarının altında çalışılıyorsa kırıcının gereksiz ufalama yaptığı, yani zaten ufalanmış olan bir malzemeyi tekrar tekrar kırdığı ortaya çıkar ki, bu durumun çözümünde kırıcı öncesi bir eleme yapılması gerekir. Eğer, ufalama oranı büyük olursa da kırıcı kapasitesi gereksiz yere düşürülmüş olacaktır (Deniz, 2000).

Kırma-eleme tesislerindeki en önemli yanlış seçim kırıcı ekipmanlarında yaşanmaktadır. İlk yatırım maliyetine bakıldığında, kırıcıların tesis açısından en önemli yer tuttuğu görülecektir. Kırıcıların demirbaş olduğu varsayımla, yapılacak olan yanlış kırıcı seçimi geri dönülmez hataya neden olabilmektedir (Deniz, 2009).

Kırma-eleme tesislerinde uygulanan ilk kurulum aşamasındaki yanlışlıklar ve sonraki yanlışlıkların eklenmesi ile tesis verimsizliğine neden olmakta ve işletme maliyetlerini artırmaktadır. Eskiden kalan alışkanlık olan tesislerde her tür kırıcı adını “ÇENE” ifadesi hala günümüzde kullanılmaktadır. Eskiden kırıcı cinsi olarak Çeneli kırıcılar birincil kırıcı olarak kullanılmaktaydı. Genelde, kireçtaşı ocaklarında taşın cinsi araştırılmadan kırıcı ve elek seçimi yapılmaktadır. Aşındırma özelliği olan bazı dolomitik kireçtaşı, bazalt, diyabaz veya silis oranı yüksek kireçtaşlarının kırılmasında yatay milli darbe (şok) yaratan kırıcılar kullanılmaktadır. Bu durumda, kırıcı kırma plakaları ve yan plakalarını çabuk aşındırmakta ve sonuçta işletme maliyetlerini artırmaktadır (Deniz, 2009).

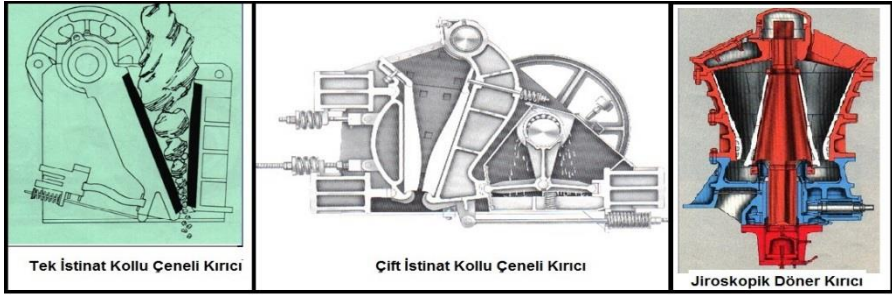
Kırılacak olan taşın fiziko-mekanik, mineralojik ve petrografik özellikleri öncelikle bilinmesi önemlidir. Kayacın sertliği ve kırılma şekli birinci temel sorun olarak karşımıza gelir. Kayacın kırılması esnasında sert ve aşındırıcı olması kırıcı plaka ve astarlarının aşınmasına neden olabilmektedir. Bu tür kayaçlarda, mutlaka seçilecek olan kırıcının baskı kuvveti uygulayanlardan biri seçilmelidir. Bunlar, Çeneli, Döner (Jiroskopik), Konik ve Merdaneli kırıcılardır.

Baskı kuvveti, uygulandığı malzemelerde iç gerilme oluşturur ve zamanla baskı kuvveti ile kırılmış ürün parçalanır (cam üzerinde oluşan çatlağın zamanla çatlağın büyümesi ve sonuçta camın parçalara ayrılması). Baskı kuvveti uygulayan kırıcıların başında çeneli kırıcılar gelmektedir. Çeneli kırıcıların ilk yatırım ve bakım masrafları diğer kırıcılara nazaran daha küçüktür. Ayrıca, boyut küçültme oranının (3-7) değiştirilme kolaylığı, taşınması sırasında sökülüp parçalarının ayrılabilmesi ve bakım açısından diğer kırıcılara oranla daha kolaydır (İpekoğlu, 1989; Özdağ, 1992; Deniz ve Soydan, 1999).

Çeneli kırıcıların iki tür tipi (Şekil 22) söz konusudur. Bunlardan tek istinat kollu olanı, sadece baskı kuvveti değil aynı zamanda kesme kuvveti uygulaması nedeniyle aşınma problemi yaratabilmektedir. Türkiye’de maalesef çeneli kırıcı üreten firmaların çoğu tek istinatlı kırıcı üretmekte olup, tesislerin çoğunda çene plakalarının aşınma problemi doğurmaktadır. Oysa çift istinat kollu çeneli kırıcılarda, çene kırma hareketi iki çene plakasına dik olarak olmakta ve bu durumda sadece baskı kuvveti uygulanmaktadır.

İri boyutlu malzemeyi kırabilen çeneli kırıcıların fasıllı kırma yaptıkları için enerjilerinin %50’sini verimli olarak kullanmaktadırlar. Oysa jiroskopik döner kırıcılar (Şekil 23) tam yüzeyleri ile kırma yaptıkları için daha verimli olmalarına rağmen maalesef Türkiye’deki kırıcı üreten firmalar döner kırıcı yapmamaktadırlar. Bu nedenle, daha

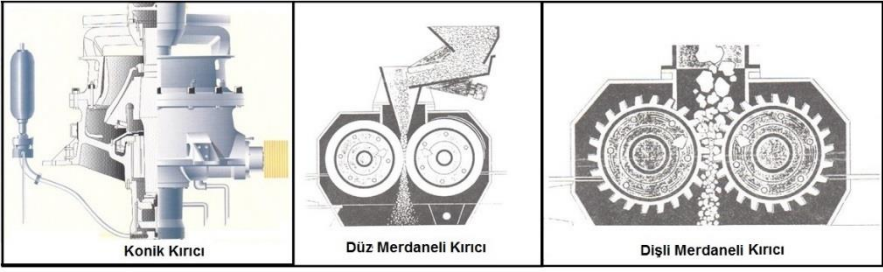
uzun süre ülkemizde baskı kuvveti ile kırma sağlayan birincil kırıcı olarak çeneli kırıcılar kullanılacaktır (Deniz, 2005a; Deniz, 2009).



Şekil 22. Çeneli ve Jiroskopik döner kırıcılar

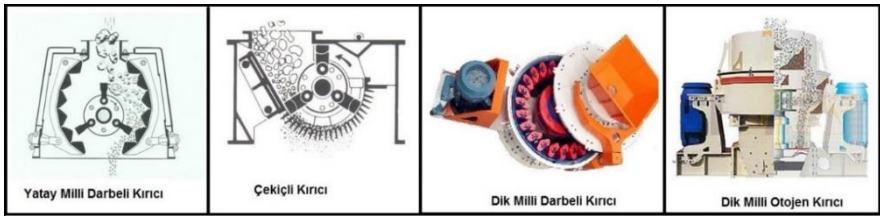
Jiroskopik döner kırıcıların akrabası olan konik kırıcılarda (Şekil 23) baskı kuvveti ile kırma yapan kırıcılar olup, çeneli veya döner kırıcılardan sonra ikincil veya da üçüncül kırıcı olarak kullanılabilir. Konik kırıcılar sert ve aşındırıcı olan bazalt, diyabaz, dolomitik-kireçtaşı, kayrak taşları ve silis oranı yüksek kireçtaşı gibi malzemelerin kırılmasında kullanılabilir. Fakat bu tür kırıcıların kırma oranları 4-9 arasında değişmekle birlikte genelde yassı ürün verirler (Deniz, 2000).

Merdaneli kırıcılar (Şekil 23), baskı kuvveti kullanan ikincil veya üçüncül kırıcılardandır. Merdaneli kırıcılarda kırma işleminde malzemenin kırıcı tambur arasında geçen süresinin az olması nedeniyle, diğer kırıcılara nazaran daha iri malzeme üretirler. Aşınma problemi olan ve kırma oranları 2-4 olan bu kırıcılarda ince ürün oranı en az düzeyde olmaktadır. Eğer, malzeme çok sert ise düz merdaneli kırıcı, yumuşak sayılabilen malzemeler için ise dişli merdaneli kırıcıların kullanılması dar boyut ürünlerden çok daha fazla ürün sağlanmış olacaktır (Deniz, 2000).



Şekil 23. Konik ve Merdaneli kırıcılar

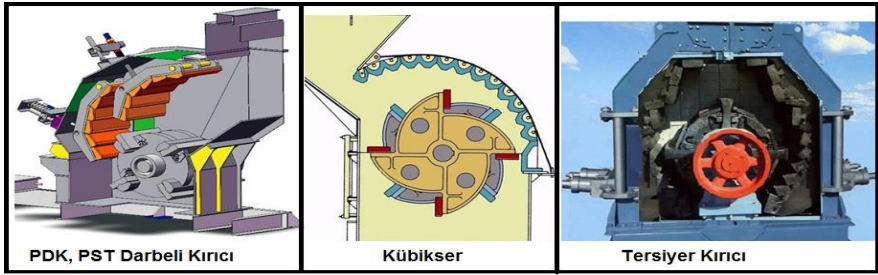
Kireçtaşı kökenli taşların kırılmasında, aşınmaları nispeten az olmaları sebebiyle kırma oranı yüksek olan darbe kuvveti etkisi yaratan kırıcılar kullanılmaktadır (Şekil 24). Daha çok *yatay milli darbeli kırıcılar* iri boyutlarda kırma işlemleri için tercih edilir ve kırma oranları 10 ile 20 arasında değişir. Ayrıca, kırma oranları 40'a kadar çıkabilen ve çok ince ürün istendiği durumlarda, bir nebze öğütme işlemi de yapabilmeleri açısından özellikle barit, talk ve kalsit gibi yumuşak minerallerin işlendiği sektörlerde “*Çekiçli kırıcılar*”da (Şekil 24) tercih edilirler. Yatay milli kırıcıların darbe etkisi sebebiyle aşırı aşınmalarının önüne geçilmesi için geliştirilmiş son zamanlarda “*Dik milli*” olarak anılan darbeli kırıcılarda yaygın kullanılmaya başlanmıştır (Deniz 2005a; Deniz, 2009).



Şekil 24. Darbe etkisi yaratan kırıcılar

Yatay milli darbeli kırıcıların başında, bunların kullanıldığı sektör ve üretici firmaların vermiş olduğu isimleri ile genel isminin baş harflerinden oluşan *PDK* (primer darbeli kırıcı) ve *PST* (primer

sekonder tersiyer) veya *Dragon* adlı kırıcılar (Şekil 25), yaklaşık 1 m çapına kadar malzemeleri iri boyutta darbe ile kırabilmektedir. Türkiye’de hemen hemen çok az fark ile benzer kırıcı üretimi yapan birçok firma söz konusudur. Son 10-15 yıla kadar, karayollarında dar boyutta ve kübik ürün ihtiyacını karşılamak için “*Kübikser*” adı verilen darbeli sekonder kırıcılarda çok kullanılırdı. Ayrıca ince malzeme ürettiği iddia edilen “*Tersiyer kırıcı*” adı verilen kırıcı da bir tür darbeli kırıcıdır. Ülkemizde, aşındırma oranı yüksek olan dere kumu, dolomitik kireç taşı, silis oranı yüksek kireçtaşlarında kullanıldığı çok görülmektedir. Fakat bu tür uygulamalarda haftada bir takoz ve astar değişimi olabilmektedir. Bu durum, işletme maliyetlerini ve tesisin durma periyodunu artırmaktadır.



Şekil 25. PDK, PST, Kübikser ve Tersiyer adı verilen darbeli kırıcılar

Aşınmanın fazla olduğu malzemelerde, aşınma sorununu azaltmak için dik milli kırıcılar her ne kadar dünyada ilk “*Barmac*” (Şekil 26) markası ile 40 yıldır kullanıla gelse de ülkemizde kullanımı son 10-15 yılı ancak bulmaktadır. Bu kırıcıların ortaya çıkış sebeplerinin başında aşındırıcı olan malzemelerin kırılmasında diğer bahsi geçen kırıcılara kıyasla otojen kırma (malzeme ile malzeme kırılması) yapması ve bu nedenle aşınmaya karşı dayanıklı olmalarıdır (Deniz, 2009).

Fakat, Türkiye’de son 15 yıldır bu tür dik milli kırıcılar üretilmeye başlamış olmasına rağmen, ne üreten firmalar ne de kireç taşı ocağı firmaları bu kırıcıları çok iyi bilmediklerinden yanlış seçim yapmaktadırlar (Deniz, 2009). Ülkemizde dik milli kırıcılar, dört farklı türde üretilmektedir (Şekil 26). Bunlar;

A-) Açık rotor ve kırma astarları olan: Klasik yatay milli darbeli kırıcının dik halidir. Bu tür bir kırıcının kullanılmasının ürün açısından hiçbir avantaj sağlamaz, klasik darbeli kırıcı ile aynı avantaja sahiptir.

B-) Kapalı rotor ve kırma astarları olan: malzemeyi kıran takoz yerine malzemeyi savuran bir rotor olup, takoz aşınmasını ortadan kalkmış, fakat kırma astarları olması nedeniyle aşınma hala mevcuttur.

C-) Açık rotor ve kırma hazneli olan: Bu tür kırıcıda kırma takozları aşınırken, kırma haznesinde malzeme kendi kendini (otojen) kırmaktadır. Bu durumda takoz aşınması oluşmaktadır.

D-) Kapalı rotor ve kırma hazneli olan: Dik milli kırıcı deyince kapalı rotor ve kırma hazneli olan anlaşılması gereği vardır. Bu tür kırıcıda hem kırma takozları olmadığı ve kapalı rotor sayesinde karşı kırma haznesine konan malzeme yatağına çarptırılarak tam “otojen kırma”yı gerçekleştiren kırıcıdır.

Madencilik alanında çok eskiden beri barit, alçı ve kalsit gibi endüstriyel hammaddelerin ufalanmasında kullanılan *Çekiçli kırıcıların* taş tozundan pudra elde etmekte bire bir uzmanlık alanıdır. Fakat ülkemizde kireçtaşı ocaklarında madencilik konusu ile ilgili olmayan genelde inşaat mühendislerinin ilgi alanları içerisine olmuş olması ve yeteri kadar kırıcılar ile ilgili bilgi birikimin olmaması sebepleri ile kullanılmamaktadır. Oysa bu tür kırıcılar çok ince ürün

yani mm hatta mikron seviyesinde pudra ürünü elde etmek için tercih edilirler (Deniz, 2009).



Şekil 26. Dik milli kırıcılar ve 4 farklı rotor tipi

Çekiçli kırıcılar, darbe etkisi nedeniyle aşındırıcı olmayan yumuşak cevherlerin kırılmasında daha çok tercih edilir. Öğütülmüş ürün özelliği açısından çekiçli kırıcılar, baskı kuvveti ile kırma yapan kırıcılardan daha kübik bir ürün verir ve kırma oranları açısından da daha fazla kırma oranına (40) yaratırlar. Ayrıca plastik özellik gösteren malzemelerde darbe etkisi nedeniyle daha çok tercih edilir. Özellikle kömür, alçı taşı tebeşir, kalsit ve kireçtaşlarının kırılmasında yaygın olarak kullanılır (İpekoğlu, 1989; Özdağ, 1992; Wills, 1992).

Çekiçli kırıcılar, tersinir ve tersinir olmayan tip olarak üretilebilmektedirler (Şekil 27). Tersinir olanları her iki tarafı ile kırma yaparken, tersinir olmayanlar tek tarafı ile kırma yaparlar. Çekiçli kırıcıların tek dezavantajları aşındırıcı özelliğe sahip olan malzemelerde kullanılamamasıdır. Aşındırması olan malzemelerde hem ızgaralar hem de çekiçler sürekli değiştirme ihtiyacı olmaktadır.

Kırıcıların ufalama özellikleri malzemeden malzemeye farklı olmaktadır. Ülkemizde oldukça yaygın kullanımı olan darbe etkisi yaratan yatay milli darbeli kırıcılardan çekiçli ve darbeli kırıcıların kalsit kırılmasında en çok tercih edilmesi gereken kırıcı türleridir.

Özellikle iç gerilmeleri ortadan kaldırması hem de ufalama oranlarının yüksek olması önemli bir avantajdır. Darbeli kırıcı çekiçli kırıcıya kıyasla ince ürün miktarını daha az vermektedir. Çekiçli kırıcıda kırılacak ürünün elek analiz sonuçlarında en ince ürünü fazlaca ortaya çıkarır. Fakat çekiçli kırıcılar darbeli kırıcılardan daha fazla çekiç, astar ve elek aşınmaları olur.



Şekil 27. Tersinir ve Tersinir olmayan çekiçli kırıcı ve çekiçli kırıcının ızgarası

8.2. Kalsit'in Öğütülmesi

Ufalamanın çok kullanıldığı alanlarda süreç için harcanan toplam enerjinin %50'si öğütmede geçmektedir. Enerjinin bu kadar harcandığı bir endüstride, öğütme randımanını artırmak için hem enerjiyi az tüketen öğütme makinalarını geliştirmek, hem de öğütme devre sistemlerini ve çalışma parametrelerini en uygun tasarımı ile mümkün olacaktır (Öner, 1999).

Kalsit minerali iri boyutlarda kolay ufalanırken, ince ve çok ince boyutlarda öğütülmesi diğer kayaç ve cevherlerde olduğu gibi daha zordur. Bunun nedeni, kalsitin çok çok ince boyuta yani hemen hemen kristal boyutuna yakın boyutlara gelmesi sonucu tane üzerindeki çatlakların kaybolması sonucu dayanım artışına neden olmaktadır. Deniz (2004) mineralojik özellikleri farklı olan Muğla yöresi 6 farklı kireçtaşı örneği üzerinde yapmış olduğu bir çalışmada,

her bir kireçtaşının farklı öğünme davranışları sergilediği göstermiştir. Bu durum, Türkiye'nin birçok bölgesinde bulunan farklı mineralojik yapıya sahip olan kireçtaşlarının da farklı öğünme özelliklerine sahip olacağı gerçeğini göstermesi açısından önemli bir sonuçtur.

Kireçtaşlarının bu özellikleri dikkate alındığında, öğünme özelliklerinin ortaya konması çok önemli bir konu haline gelmektedir. Kireçtaşlarının çok ince öğünme durumu için mutlaka kireçtaşı örneğinin sertliği, aşındırma oranı, Hardgrove ve Bond öğütülebilirlik özellikleri incelenmelidir. Bond öğütülebilirlik, aktarılan ortam değirmenlerinin (Çubuklu, bilyalı, otojen, tüp ve kamaralı değirmenler) tasarım açısından kullanılabilir bir yaklaşım olarak günümüzde hala kabul görmektedir. Dik (valsli) değirmenler için ise Hardgrove öğütülebilirlik yaklaşımı daha çok tercih edilir.

Bond yönteminin deneysel açıdan uzun sürmesi, boyut sınıf aralıklarında tam olarak fikir verememesi ve hatalı yaklaşımlara neden olması nedeniyle birçok araştırmacı tarafından daha etkin modellerin geliştirilmesine vesile olmuştur. Son yıllarda, matematiksel model ve simülasyon teknikleri ortaya atılmış ve özellikle bilgisayar yazılım tekniklerindeki gelişmeler, cevher hazırlamaya da önemli oranda katkıda bulunmuştur (Deniz, 2003; Deniz ve Özdağ, 2003).

Araştırmacılar tarafından ortaya atılan Matris model ve Kinetik model laboratuvar ve endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır (Lynch, 1977). İlk olarak Epstein tarafından ortaya atılan Matris model, Broadbent ve Calcot tarafından geliştirilmiş (Lynch, 1977) ve bir çok simülasyon, laboratuvar ve endüstriyel ölçekte başarıyla denenmiştir (Pitchumani ve Venkateswarlu, 1980; Salopek ve ark., 1986; Deniz, 2011; Petrakis ve Komnitsas, 2017).

Bir çok avantajı nedeniyle, Lynch (1977) tarafından ortaya atılan ve Austin tarafından geliştirilen Kinetik model en geçerli model

olmuştur (Austin ve ark., 1981). Kinetik modelin temelinde iki fonksiyonla tarif edilir. Bunlar *spesifik kırılma hızı fonksiyonu* ve *kümülatif kırılma dağılımı fonksiyonudur* (Austin, 1972). Spesifik kırılma hızının matematiksel formülü Austin ve arkadaşları (1984) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$S_i = a_T X_i^\alpha \quad (6)$$

burada; X_i : i fraksiyonundaki üst boyutu (mm), a_T ve α ise; öğütme şartlarına ve malzemenin özelliklerine bağlı olan model parametrelerdir.

S_i değerlerinin ya da a_T ve α değerinin büyük olması, daha etkin bir kırılmanın olacağını ve orijinal parçanın daha çabuk alt boyuta indirgeneceğini anlamına gelmektedir. Kırılan veya öğütülen malzemenin hangi boyut fraksiyonlarına nasıl dağıldığı ise kümülatif kırılma dağılımı fonksiyonu olarak tariflenmiş ve aşağıda gösterilmiştir.

$$B_{i,j} = \phi_j [X_{i-1}/X_j]^\gamma + (1 - \phi_j) [X_{i-1}/X_j]^\beta \quad (7)$$

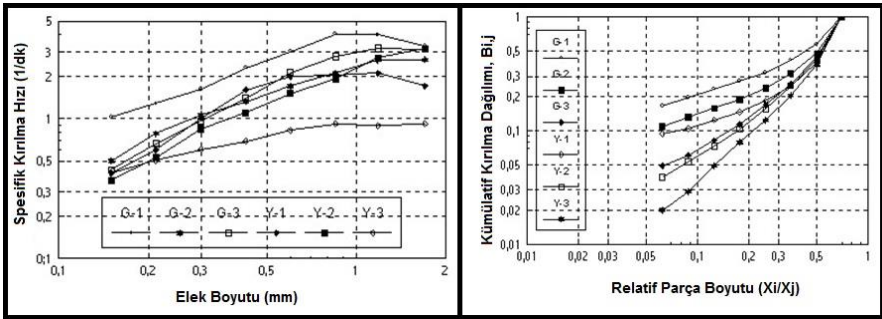
burada, ϕ_j , γ ve β , malzemelerin özelliklerine bağlı olan model parametrelerdir. Bu parametreler, farklı bilya oranları, değirmen çapları v.b. için aynı olup farklı mineralojik özelliklere sahip malzemelerde farklıdır (Austin ve Luckie, 1972). ϕ_j değerinin artması en üst boyutların bir alt boyutta daha hızlı kırılacağını ifade etmektedir. γ değerinin büyük olması, ince malzeme miktarının az olacağını gösterir.

Standart Bond iş öğütülebilirlik (G_{bg}) ve iş indeksi (W_i) değerleri ufalama cihazının seçiminde önemli rol oynamaktadır. Bond öğütülebilirlik değerinin küçük olması malzemenin zor ufalanacağını ve daha fazla ufalama enerjisi harcanacağını işaret etmektedir. Deniz

(2004)'in Bond öğütülebilirlik değerleri ve kinetik öğütme parametreleri açısından Muğla yöresi altı (6) farklı kireçtaşlarını incelemiş ve Çizelge 2'de görüldüğü üzere Bond öğütülebilirlik değerlerini 1.2 ile 6.5 g/dev arasında değiştiğini göstermiştir. Ayrıca, Şekil 28'de altı (6) farklı kireçtaşının spesifik kırılma hız eğrileri (S_i) ve kümülatif kırılma dağılımları ($B_{i,j}$) verilmiştir.

Çizelge 2. Kinetik model parametre değerleri (f_c =%4.2 ve J =%20) (Deniz, 2004)

Malzeme	G_{bg}	a_T	α	γ	ϕ_t	β
G-1	6.14	4.01	0.785	0.478	0.51	1.199
G-2	2.89	2.61	0.988	0.531	0.38	1.509
G-3	2.58	2.79	1.161	0.722	0.30	1.716
Y-1	2.48	2.11	1.564	0.368	0.24	1.699
Y-2	2.42	2.30	1.178	0.897	0.32	1.571
Y-3	1.54	0.87	0.228	1.218	0.41	1.712



Şekil 28. Altı farklı kireçtaşının parça boyutuna bağlı olarak spesifik kırılma hızlarının ve kümülatif kırılma parametrelerinin kıyaslanması

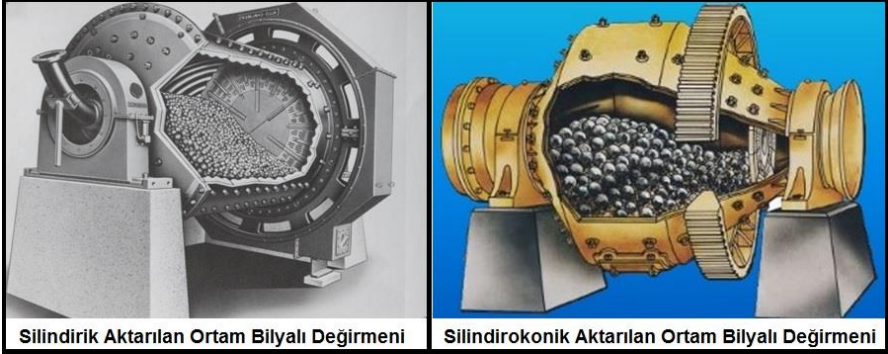
Çizelge 2'de Bond öğütülebilirlik değerleri (G_{bg}) açısından sırasıyla G1, G2, G3, Y1, Y2 ve Y3 kireçtaşı örnekleri olarak sıralanmış ve G1 kodlu kireç taşı en kolay iken Y3 en zor öğüneceği

görülmektedir. Fakat, kinetik modellerle incelendiğinde, kümülatif kırılma parametreleri açısından, γ değerinin küçük olması daha fazla ince ürün vereceğini işaret etmekte ve dolayısıyla en fazla ince ürünü Y1'in vereceğini görebilmekteyiz. Ayrıca, ϕ değerinin küçük olması en üst boyutlu tanelerin öğünmesinin daha zor olacağını ifade etmekte ve dolayısıyla en üst boyutlu tanelerin öğünmesinde Y1'in daha zor öğüneceğini de ifade ederken, Y3'ün G1 gibi en üst boyutların bir alt boyuta en fazla kırılacağını göstermektedir. Ayrıca, Çizelge 2'de görüleceği üzere Y3'ün en düşük α değerine sahip olması, zor ufalanacağını belirtmektedir. Fakat Y1'in α değerleri orijinal parçanın en fazla ufalanacağını göstereceği ve kolay öğüneceğini işaret etmektedir. Bu çalışmadan, kinetik öğütme parametre değerleri ve Bond öğütülebilirlik (G_{bg}) değerlerinin ortaya koyduğu sonuçtan farklılık olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, malzemenin farklı mineralojik özellikleri sahip olması sebebiyle iri ve ince boyutlarda öğünme açısından farklılıklar ortaya çıkarmıştır. Bu sonuçlardan, öğütme işleminin analizinde ve yorumlanmasında Bond modeli yerine kinetik modellere göre yapmanın daha anlamlı olacağı gözükmektedir.

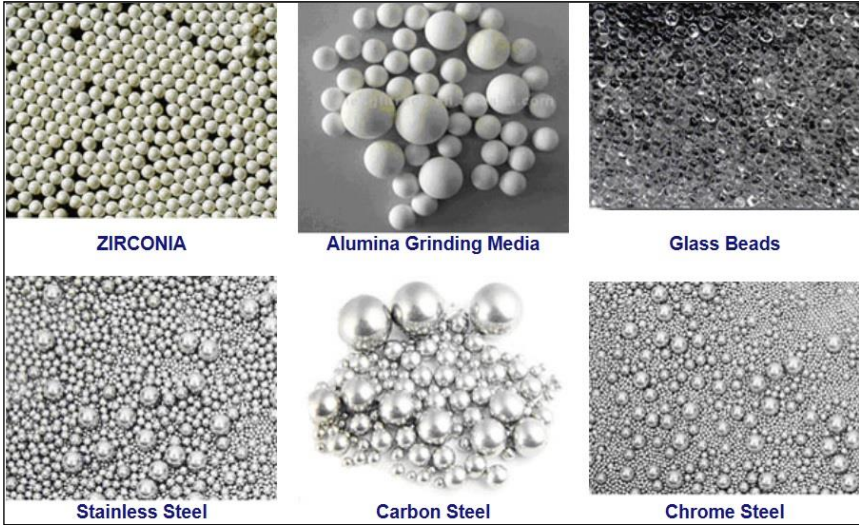
Kalsit'in öğütülmesinde, klasik anlamda aktarılan ortam değirmenlerinden olan *bilyalı değirmenleri* (Şekil 29) kullanmak genel anlamda doğru bir tercih olacaktır. Özellikle yüksek kapasite ve iç gerilme istenmeyen sektörler (boya, derz dolgusu, çimento, seramik gibi yapı sektörleri) açısından seçilebilecek en önemli değirmen türüdür.

Değirmen seçiminin doğru yapılması kadar, değirmenin çalıştırma şartlarının da kalsit mineraline uygun olması önemli bir konudur. Bu nedenle, uygun ölçüde seçilmiş bir bilyalı değirmenin çalışma şartları olan değirmenin dönme hızı, malzeme yükü, malzemenin kalış zamanı, bilya yükü, bilya tipi (Şekil 30) bilyaların çapı v.b. özelliklerinin iyi bir şekilde ortaya konması gerekmektedir.

Aksi takdirde, enerji maliyetlerin çok fazla olması nedeniyle arzu edilen kazancın azalmasına, dolayısıyla rekabet etme gücünün de ortadan kalkmasına neden olacaktır.



Şekil 29. Silindirik ve silindirokonik bilyalı değirmenler

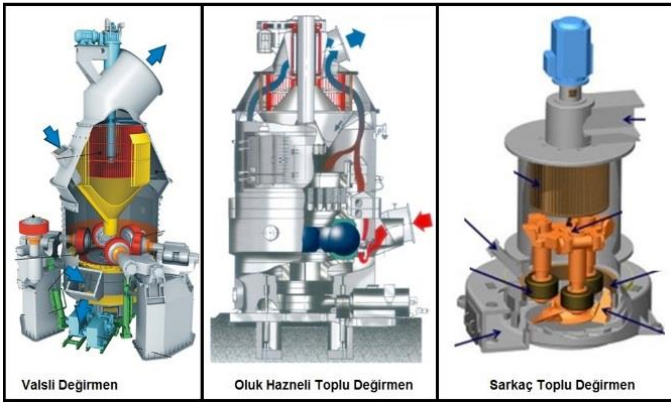


Şekil 30. Öğütücü ortam tipleri

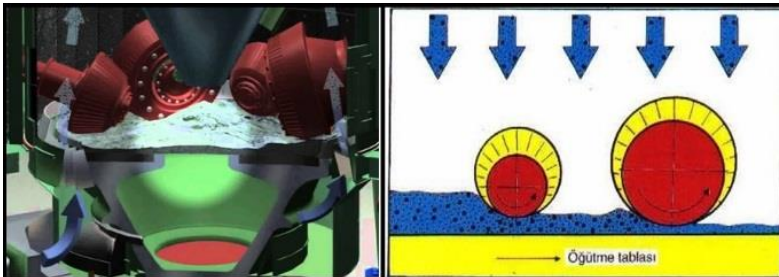
Dik (Valsli) değirmenler, malzemelerin öğütülmesinde son yıllarda en fazla kullanım alanı bulan (ilk olarak 1928 yılında Loeshe

firması tarafından geliştirilmiştir) değirmen türüdür. Şekil 31’de üç farklı tip dik değirmen görülmektedir.

Valsli değirmenlerde öğütme ortamı olarak konik öğütme ruloları kullanılır. Sınıflandırıcının kanat açıklıkları ve hızlarının ayarlayarak yeterli inceliğe gelen malzeme öğütme ortamından uzaklaştırılır. Malzemelerin öğütülmesinde daha çok basınç ve aşındırma etkisinin bir birleşimi kullanılır (Şekil 32). Dik milli (Valsli) öğütücülerde öğütme işlemi alt öğütme tablası tarafından döndürülürken, öğütme ruloları hem hidrolik bir basınç uygularken hem de tablanın dönmesi ile malzemeleri aşındırma etkisi yapmaktadır (Yıldız, 2007).



Şekil 31. Dik değirmenler

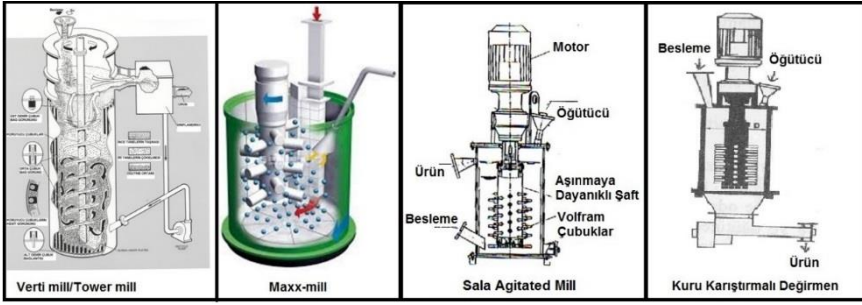


Şekil 32. Valsli değirmende valslerin malzemeleri öğütme tekniği

Kalsit, barit, bentonit, kireçtaşı v.b. birçok endüstriyel minerallerin öğütülmesinde yaygın kullanılan dik milli (valsli) değirmenlerin enerji masrafı açısından %40'lara varan avantajları vardır. Yine enerji maliyetleri açısından düşük kapasite ile çalışabilmeleri nedeni ile son yıllarda kullanımı artmıştır. Fakat, çok ince boyutlarda ürün (10 mikron'un altı) elde etmenin zor hatta imkansız oluşu, vals'lerin ve tabla'nın aşınmasının fazla olması ve baskı kuvveti uygulaması sebebiyle malzeme içerisinde iç gerilme bırakması, ürünün kullanılacağı sektörler açısından problem çıkarması gibi dezavantajlara sahiptir (Deniz 2005b).

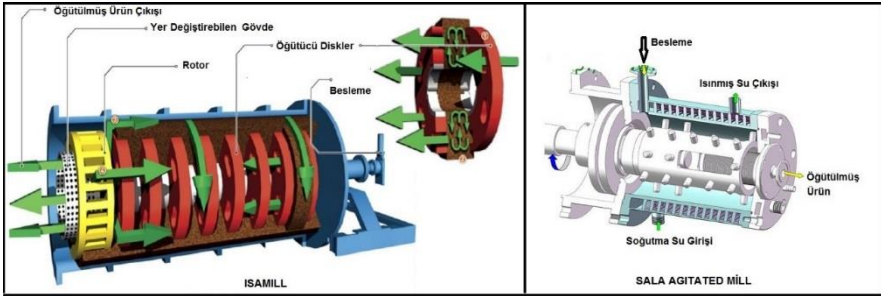
Karıştırmalı bilyalı değirmenler, ülkemizde henüz yaygın kullanımı olmamakla birlikte, son 35 yıldır dünyada çok ince malzeme üretiminde birçok endüstride en çok kullanılan değirmen türlerindedir. Diğer değirmenlere göre öğütme süresi ve enerji tüketimi açısından daha avantajlı olup, süreç işletimi de diğerlerine göre daha kolaydır. Diğer taraftan kapasiteleri diğer değirmenlere kıyasla oldukça düşüktür.

Karıştırmalı değirmenler, sabit bir silindirik ana gövde içerisinde dönen bir ana mil'den oluşmaktadır. Ana shaft üzerine belirli aralıklarla yerleştirilmiş çubuk (pin) veya diskler yardımıyla değirmen içerisinde öğütülecek malzemeyi hareket ettirerek öğütme yapmaktadır. Öğütücü ortam olarak mm boyutlarında farklı çaplarda farklı malzemelerden üretilmiş bilyalar kullanılmaktadır. Genellikle yaş öğütmede tercih edilir. Şekil 33'de en önemli dik karıştırmalı değirmenler olan; Verti-mill, Maxx-mill ve Sala-mill görülmektedir. Karıştırmalı değirmenler dikey veya yatay olarak üretilebildiği gibi, öğütmede yaş ve kuru olarak da yapılabilmektedirler. Bunlardan Sala tipi olan Şekil 33'de gösterildiği üzere, hem yaş hem de kuru öğütme yapabilen türleri vardır.



Şekil 33. Dik Milli Karıştırırmalı Değirmenler

Karıştırırmalı değirmenlerden yatay olarak üretilenleri de vardır. Metalik cevherlerin yaş öğütülmesinde en fazla bilineni IsaMill iken, endüstriyel hammaddelerin kuru öğütülmesinde Sala firmasının yatay karıştırırmalı değirmenleri gelmektedir (Şekil 34). Kuru yatay milli karıştırırmalı değirmenlerde ısı oluşumu sebebiyle değirmen çeperinden su dolaştırılmaktadır.



Şekil 34. Yatay karıştırırmalı diskli yaş (IsaMill) ve yatay karıştırırmalı pimli (Sala) kuru değirmenler

Aktarılan ortamla çalışan değirmenlerde (bilyalı v.b) öğütme mekanizması çarpma, basınç ve kısmen de aşındırma kuvvetleri ile olurken, karıştırırmalı değirmenlerde kullanılan kuvvetler, aşındırma ve kesme kuvvetleri ile kısmen çarpma ile birlikte öğütme işlemi gerçekleştirir. Özellikle aşınmaya dayalı öğütme yaptıklarından

aşınma özelliği olan malzemelerde büyük problemdir. Diğer taraftan, aktarılan ortam değirmenlerde çok iri boyut (30-80 mm) besleme malzemesinden mikronize ürün alınabilirken, karıştırmalı değirmenlerde ince boyutlu (3-5 mm) besleme malzemesinden ancak mikronize ürün alınabilmektedir. Dolayısıyla, aktarılan ortam değirmenlerinde yüksek ufalama oranlarına sahip değillerdir (Kwade, 1999; Wang ve Forsberg, 2000).

Dikey ve Yatay yaş karıştırmalı değirmenleri karşılaştıracak olursa, yatay karıştırmalı olanlar dikeylere kıyasla daha yüksek hızda çalıştırılabilen ve daha küçük çaplı öğütücü ortam kullandıklarından daha ince ürün vermekteler. Ayrıca, yatay konumda olmaları sebebiyle enerji verimlilikleri de daha yüksek olmaktadır. Karıştırmalı değirmenler ile aktarılan ortam değirmenlerini güç ihtiyacı karşılaştırılmasında bilyalı değirmenin hacimsel olarak en az güç ihtiyacı olduğunu Çizelge 3’de gösterilmiştir. Yatay karıştırmalı değirmenlerin ilk devreye alma güç ihtiyaçları açısından malzeme ve öğütücü ortamın yer çekimi etkisi ile üst üste binmesi nedeniyle problemler doğurmaktadır. Elde edilen boyut açısından yatay karıştırmalı değirmenler daha dar boyutlu ürün verirken dikey karıştırmalı değirmenler daha geniş boyutlu ürün verirler (Gao ve ark., 2002).

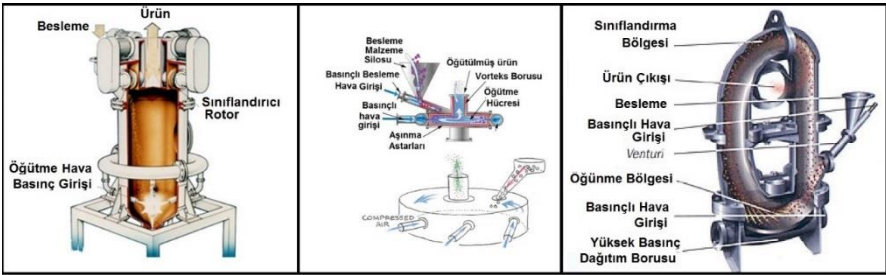
Çizelge 3. Değirmenlerin güç ihtiyacı karşılaştırması

Değirmen	Değirmen	Değirmen	Değirmen	Kurulu	Güç
Bilyalı	3.2	4.8	39	740	19
Tower Mill	2.5	2.5	12	520	42
IsaMill	1.3	3	3	1120	280

Kuru ve yaş karıştırmalı değirmenleri kıyaslanacak olursa, yaş öğütmede yüksek hızda dönme nedeniyle aşırı sürtünmenin oluşturduğu ısı ortamdaki su ile soğulurken, kuru öğütmede değirmen

çeperinden soğuk sıvı (çoğunlukla su) veya yağ geçirilerek sorunu çözmeye çalışılmaktadır. Bu durumda, öğütme masraflarına değirmenin soğutulma masrafları girdiğinden ve ısıyı kontrol altına alınamama durumları nedeniyle işletmeler için problem teşkil etmektedir.

Son yıllarda, çok ince boyutta hatta nano boyutlara kadar öğütme yapan *akışkan (jet) değirmenler* kullanılmaya başlanmıştır. Akışkan yataklı jet değirmenler, küçük kapasiteli değirmenler olup, daha çok ilaç, plastik, polimer ve pigment gibi çok az malzeme üretimi ve katma değeri yüksek fakat nano boyutta malzeme ihtiyacı duyan sektörlerde tercih edilmektedir. Akışkan (Jet) değirmenlerin gövdesi içine çok yüksek basınçlarda verilen hava ile tanelerin otojen olarak tane tane çarpması ve tanelerin değirmen gövdesine çarpması sonucu darbe ve aşınma kuvvetlerin etkisiyle öğütme yaptığından silis ve feldspat gibi aşındırıcı malzemelerin öğütülmesi için daha çok kullanılmaktadır. Şekil 35’de farklı firmalar tarafından farklı tasarım da üretilmiş olan akışkan (jet) tipi değirmenlerin üç tipi verilmiştir.



Şekil 35. Akışkan (Jet) değirmenleri

Akışkan (jet) değirmenlerde 0.5 mm’nin altında beslenip birkaç mikron düzeyinde öğütme yapmak mümkündür. Dolayısıyla, kırma oranları bilyalı değirmenlere kıyasla oldukça düşüktür. Bu değirmenlerde, aşınmaya dayanıklı şekilde tasarlanmış bir gövde

içerisine yüksek basınçlı havanın etkisi ile birlikte taneler ivmelenerek hızla öğütme odasına girmekte ve tanelerin değirmen içi çeperlere ve tane tane çarptırılması sonucu ve tanelerin birbirleri ile veya değirmen çeperinde aşınma yolu ile taneler ince boyuta indirilmektedir. Değirmen içerisinde öğütülmüş olan taneler basınçlı hava hareketi ile taşınarak havalı bir ayırıcıdan alınırken, iri taneler tekrar tekrar değirmen içerisinde öğütülmeye devam edilmektedir. Bu tip değirmenlerde akışkan ortam olarak; genellikle hava bazen sıcak basınçlı buhar veya herhangi bir inert gaz kullanılabilir. Değirmen içerisine verilen yüksek basınçlı gazlar öğütülecek ürünün sertliğine göre 100 ile 200 psi arasında uygulanabilmektedir. (Yıldız, 2007). Yüksek basınç ihtiyacı, inert gaz ihtiyacı, aşınma problemleri ve kapasite düşüklüğü jet değirmenlerin en önemli dezavantajlarıdır.

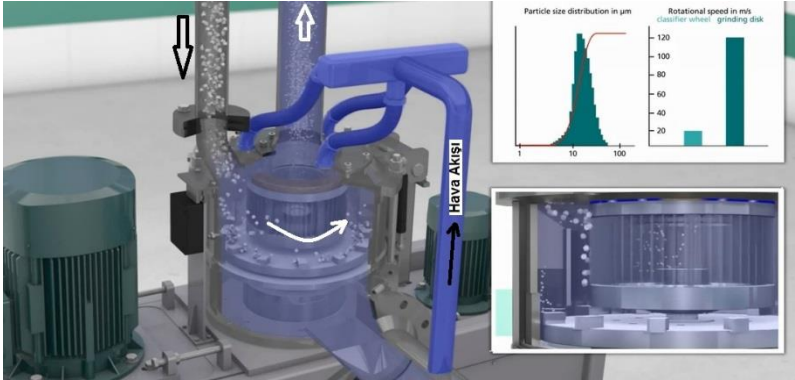
Son yıllarda birçok firma küçük kapasiteli ince öğütme yapan değirmenler geliştirmektedir. Özellikle katma değeri yüksek olan ürünler için kimya ve gıda ürünlerin öğütülmesinde daha kopmak ve basit işletimi sebebi ile tercih edilmektedir.

Bunlardan en çok bilineni nispeten iri boyutlu ürün istendiğinde tercih edilen *Çivili (Pimli) değirmenlerdir* (Şekil 36). Bu değirmenler, kesme ve darbe etkisiyle 3-4 cm besleme boyutundaki kuru yumuşak malzemelerin 30-40 mikron'a kadar öğütülmesinde kullanılır. Genellikle kimya ve gıda ürünlerin öğütülmesinde tercih edilmekte birlikte kalsit öğütülmesinde de kullanılmaktadır. Öğütme, yüksek hızda dönen pimli gövdenin tanelere uyguladığı kesme kuvvetleri ile sağlanır. Öğütülmüş ürün bir sınıflandırıcıya gönderilerek istenen ürün boyutu elde edilir. Yalnızca çivilerin (pimlerin) bulunduğu rotorun döndürülmüş olması enerji açısından önemli ölçüde tasarruf sağlamaktadır. Pimli kırıcı, kalsit kaplama işlemlerinde de yaygın tercih edilen değirmenlerdendir.



Şekil 36. Çivili (Pimli) Karıştırıcı değirmen

Netzsch firmasının pimli değirmene alternatif olarak bir dik millî kırıcının üzerine valsli değirmenlerdeki gibi bir sınıflandırıcı eklenmesi ile daha kopmak bir yapıda *Çarptırıcı Separatör* tip değirmenleri geliştirilmiştir (Şekil 37). Bu tür değirmenler düşük kapasiteli ve yumuşak malzemelerin öğütülmesinde kullanılmaktadır. Değirmen alt tabanında aşınmaya dayanıklı çarptırma elamanlarının darbe etkisiyle kırılmakta ve sisteme verilen sıcak hava akımı ile üst kısma monte edilmiş sınıflandırıcı ile istenen boyutlu ürün alınabilmektedir.



Şekil 37. Netzsch Çarptırıcı separatör değirmen

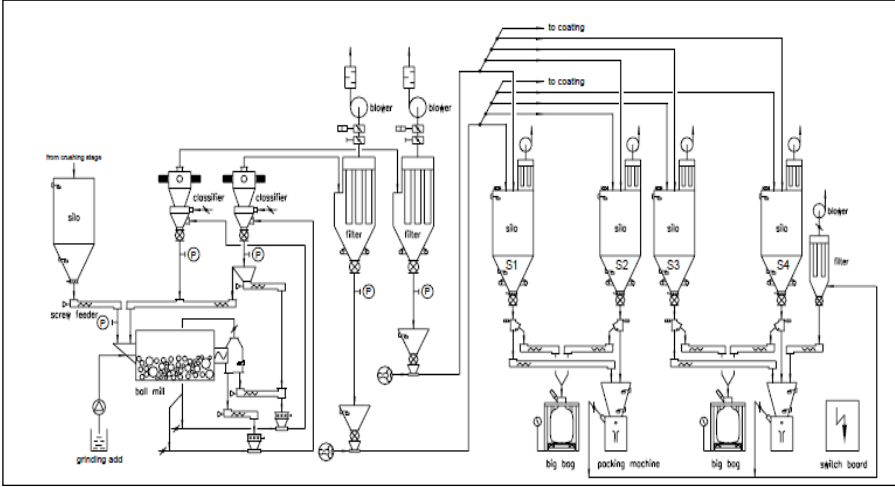
8.3. Mikronize Kalsit Öğütme Tesis Örnekleri

Cevher hazırlamada kırıcı ve öğütücüler daha çok eleklerle veya bir sınıflandırıcı (separatör) ile kapalı devre ya da nadiren açık devre olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca, öğütme işlemlerinde yaş ve kuru devre tertibi olabilmektedir. Genelde, öğütme maliyetlerinde %30'a varan enerji tasarrufu sağlaması sebebiyle yaş öğütme istenmektedir. Yaş öğütme işlemi sırasında malzemenin su ile reaksiyona girmesi ile fiziksel ve kimyasal özelliğinde değişme olacak ise ve bir sonraki işlemde kullanacak sektörlerde sorun teşkil ediyor ise kuru öğütme tercih edilir.

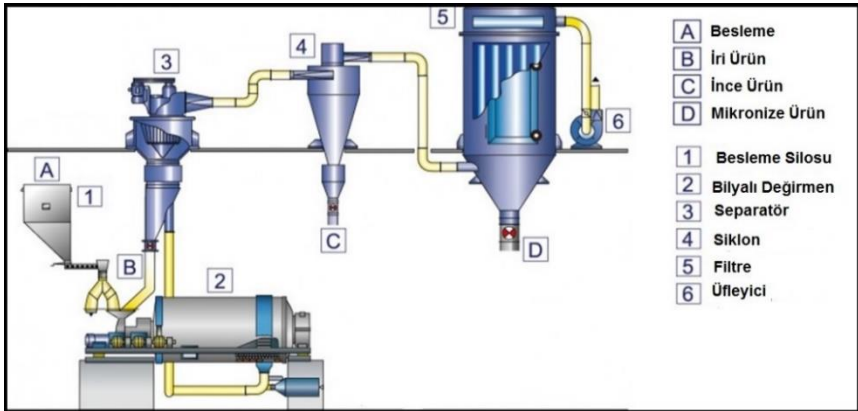
Kalsit hemen hemen tüm sektörlerde kuru olarak tercih edildiği için kuru öğütme işlemi yapılmaktadır. Kalsit, ufalama tesislerinde özellikle mikronize kalsit'in öğütülmesinde, eğer büyük kapasiteli olması isteniyor ise iki temel devre tertibi seçilmektedir. İlki, Şekil 38'de genelleştirilmiş olanı ve Şekil 39'da daha küçük kapasiteli Hosokawa firması tarafından sunulan akım şemasında olduğu gibi; çok ince (mikronize) boyutlarda ve malzeme içerisinde iç gerilme istenmediği ürün özelliklerinde aktarılan ortam değirmenlerinden bilyalı değirmen ve sınıflandırıcı devre tertibi seçilir. İkincisi, Şekil 40'da verildiği üzere, öğütme enerjisinde %40'lara varan avantaj sağlayan, malzeme içerisinde iç gerilmelerin istenmediği ve nispeten daha iri (100-10 mikron arası) ürün istendiği durumlarda, kendinden sınıflandırıcısı olan ve baskı kuvveti uygulayan dik (valsli) milli değirmen devre sistemi tercih edilir.

Kalsit'in nispeten küçük çaplı tesislerde üretimi için farklı tip devre tertipleri geliştirilmiştir. Hosokawa firması tarafından, Şekil 41'de mikronize ürün elde etmek için *pimli değirmen-separatör devresi* ile nispeten daha iri ürün elde etmek için *pimli değirmen-elek devresi* olan küçük çaplı iki adet tesis örneği verilmiştir.

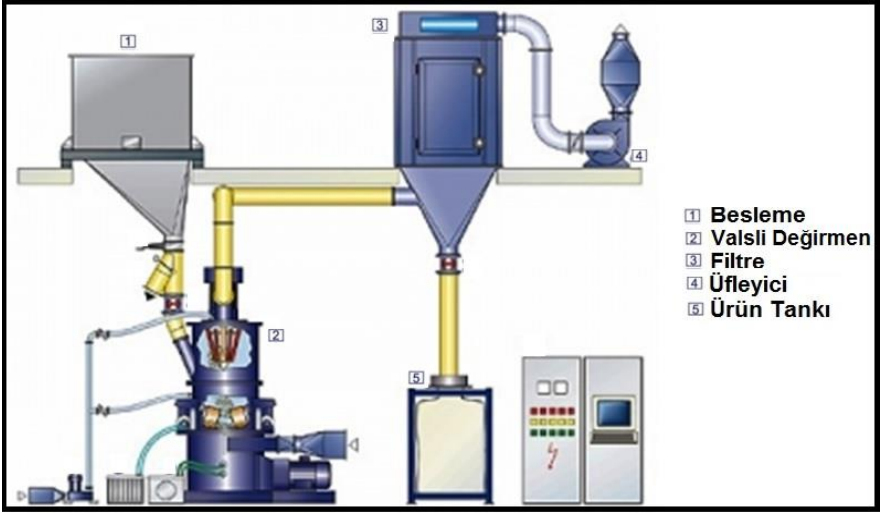
Bu tür tesislerde malzemenin öğünme özellikleri iyi tespit edilemediği takdirde istenen düşük kapasitelere bile ulaşamadığı ve aşırı aşınma problemleri gibi işletme zorlukları ile karşılaşabilmektedir.



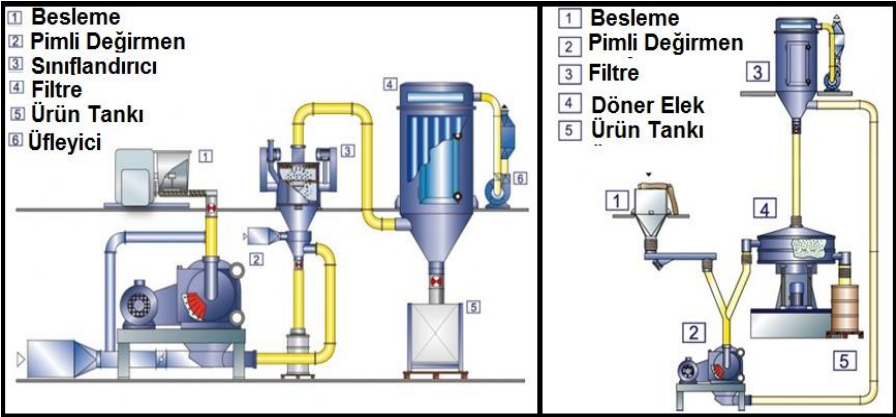
Şekil 38. Aktarılan ortam tip bilyalı değirmen ile kuru kalsit öğütme tesis akım şeması



Şekil 39. Küçük kapasiteli Hosokawa kuru bilyalı değirmen-separator devre akım şeması

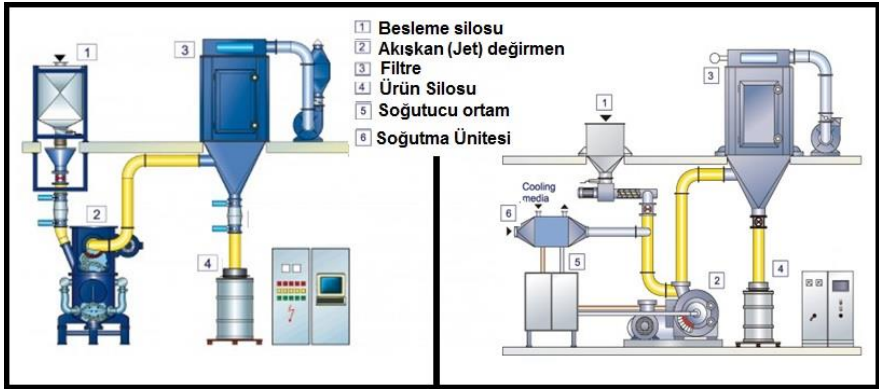


Şekil 40. Yüksek kapasiteli Nispeten iri (100 mikron 10 mikron arası) kireçtaşı ihtiyacı için Hosokawa kuru valsli değirmen-separator tesis örneği



Şekil 41. Küçük kapasiteli ve mikronize kireçtaşı ihtiyacı için Hosokawa kuru pimli değirmen-separator ve pimli değirmen-elek tesis örnekleri

Kalsit'in nano boyutta kullanımı için küçük kapasiteli akışkan (jet) değirmenlerin kullanıldığı devre tertipleri için Hosokawa firması tarafında iki farklı akışkan (jet) değirmen devre tertibi Şekil 42'de verilmiştir. Bu tür değirmenlerin kullanıldığı devre tertiplerinde öğütme enerjisi yüksek olsa da kalsitin kullanıldığı bu tür sektörlerdeki yüksek katma değere sahip ürün fiyatı dikkate alındığında tercih edilebilir olabilmektedir. Tabii ki malzeme özelliklerinin iyi tespit edilip, kalsit'i nano boyutta kullanacak sektörlerin arzu ettiği özelliklere sahip olup olmadığının belirlenmiş olması çok önemlidir.



Şekil 42. Küçük kapasiteli Hosokawa Akışkan (Jet) Değirmenlerin kullanıldığı tesis akım şemaları

9. SONUÇ ve ÖNERİLER

Kalsit, doğada en fazla bulunan minerallerden biridir. Bu sebepten dolayı ve beyaz renkte olmasından dolayı boya, plastik ve kablo gibi sanayilerde dolgu maddesi olarak geniş kullanım alanı bulmaktadır.

1. Günümüzde kalsit rezervlerin azaldığı ve öğütme masraflarının gittikçe arttığı bir ortamda, beyaz mermer atıkları ekonomik açıdan önem kazanmaya başlamıştır. Öncelikle, iri

boyuttaki mermer atıklarının katma değeri yüksek ürün olarak endüstride değerlendirilebilmesi son zamanlarda gündeme gelmiştir.

Kalsiyum karbonat ve atık mermerin dolgu malzemeleri haline dönüştürülmesi tipik olarak ufalama (kıırma, öğütme ve sınıflandırma), kimyasal reaksiyonu ayarlamak için çökeltme ve kaplamayı da içerir. Bir çok toz dolgu malzemeleri, toz spesifik karakteristiklerine (örneğin, yoğunluk, kimyasal bileşim ve partikül boyutu dağılımı) sahip olan kalsiyum karbonat toz fiziksel özellikleri, reolojisi, kürlenmesi ve performansı üzerindeki etkileri bakımından önemli ölçüde değişen işleme özellikleri sergilediği sıkça görülmüştür.

Dolgu maddeleri için hammadde olarak farklı kalsiyum karbonatların, dolgu ile reaktif sistemlerin işlenmesi ve ürün özellikleri üzerindeki etkisi henüz belirlenmiş ve yeterince incelenmiş değildir. Kalsit'in dolgu sektöründe yeterli düzeyde bir süreç kararlılığı sağlamak için partiden partiye tekrarlanabilirliği ve en az bozuk ürün kalitesi özelliklere sahip olup olmadıkları ilgili olarak ülkemizde yeterince araştırmalar yapılmamıştır. Bu nedenle, bir taraftan kaplanmış kalsiyum karbonat parçacık özellikleri ile diğer yandan elde edilen dolgu formülasyonu fiziko-kimyasal ve teknik özellikleri arasındaki yapı-özellik ilişkisini ortaya çıkarmak her işletme için şarttır.

Bu çalışmada, bahsi edilen ufalama makinalarına ilave daha birçok ufalama makina tipinden bahsetmek mümkündür. Fakat burada kireçtaşı veya kalsit'in ufalanmasında, sektörde yaygın kullanılabilen ve günümüzde de kullanılan kırıcı ve öğütücü türlerinden bahsedilmiştir. Diğer taraftan, kırıcı ve öğütücüler ile birlikte kapalı devre kullanılan elek ve sınıflandırıcılardan (separatör) bahsedilmemiştir. Bu konuların her biri ayrı başlık altında bahsedilmesi gerektiğini de belirtmek gerekmektedir. Ayrıca kırıcı, öğütücü, elek ve separatör (sınıflandırıcı) verimlilikleri konusundan

da bahsedilmemiştir. Ülkemizde mikronize kalsit üreten firmaların bazıları ilk yatırım için en pahalı ve en büyük ufalama ve sınıflandırma araçlarını seçmesine rağmen değirmen ve separatörlerin verimsiz çalıştırılması, mikronize kalsit maliyet giderleri açısından dünyada rekabetçi olmayı imkânsız hale getirmektedir.

Özellikle ülkemizde Ar-Ge faaliyetlerine olan inancın zayıf olması bu tür araştırmaların yapılmadan doğrudan yatırıma girilmesi sonucu işletmeleri telafisi imkânsız süreçlere sokabilmektedir. Her işletmenin kendi mermer atıklarının özelliklerini bilemesi için gerekli Ar-Ge çalışmalarına öncelik vermesi ve sonrasında tesis yatırımına geçmesi gerektiği unutulmamalıdır. Tesis kurulduğundan sonrasında ise öğütücü ve seperatörlerin verimli çalışması için sürekli ölçüm ve mühendislik analizlerinin yapılması maliyetler açısından çok önemli olduğu unutulmamalıdır.

Çok az araştırmacı tarafından yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre mermer atıklarından öncelikle beyaz olanlarının ayıklanması sonrasında öğütme ve kaplama işlemleri ile katma değeri yüksek kalsit olarak boya, plastik, kağıt, kablo v.b. sektörlerde kullanılabileceği, doğrudan kalsit için üretim yapılan taş ocaklarından üretilen özellikleri açısından benzer mikronize kalsit üretilebileceği sonucuna varılmıştır. Bunun başarılabilmesi için iyi bir Ar-Ge ile her işletme bünyesinde mevcut mermer atıklarının özelliklerinin ortaya konması ve ekonomik olarak piyasada mikronize kalsit olarak üretilip üretilmeyeceğinin belirlenmesi birinci şarttır. İkinci şart ise, özellikleri piyasanın istediği şartları sağlayan mermer atıkların, malzemeye uygun kırıcı-elek ve öğütme-sınıflandırıcı ekipmanların seçimi için kapsamlı bir tesis projelendirilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde tüketilen kalsit miktarı Dünya tüketiminin %1'ine bile ulaşmaması yapabileceğimiz daha çok şey olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, ülkemiz kalsit rezervleri ve özellikle

beyaz mermer atıklarının değerlendirilmesi sonucu Dünya kalsit piyasasına endüstriyel ürün olarak ihracat yapmak ülke ekonomisine çok büyük katkı yapacaktır.

Doğal kalsit yataklarından elde edilecek kalsit yerine mermer atıklarından katma değeri yüksek olan sektörlerde kalsit olarak değerlendirilmesi, hem işletmelerin kazancı açısından hem de günümüzde önemli hale gelen *Yeşil Teknoloji* kullanan bir işletme olmakta yeni çevre anlayışına çok uygun olduğu gerçeği de göz ardı edilemez. Dolayısıyla, ister doğal öğütülmüş kalsiyum karbonat (GCC) ister sentetik (çöktürülmüş) kalsiyum karbonat (PCC) üretimi gerçekleştirerek mermer ocakları ve fabrikalarının hiç mermer atığı üretmemesi mümkün hale gelecektir.

Ayrıca, mermer atıklarının değerlendirilip, mikronize kalsit olarak kullanılacağı sektörlerin yaygınlaştırmak suretiyle yüksek performanslı malzemeler üretilebileceği gibi yeni iş kolları oluşturulması ile ülke kalkınmasına da katkı yapacaktır.

KAYNAKLAR

Austin L.G. 1972. A review introduction to the description of grinding as a rate process, *Powder Technology*, 5, 1-7.

Austin L.G., Luckie P.T. 1972. Methods for determination of breakage distribution parameters, *Powder Technology*, 5, 215-222.

Austin L.G., Bagga P., Çelik M. 1981. Breakage properties of some materials in a laboratory ball mill, *Powder Technology*, 28: 235-241.

Austin L.G., Klimpel R.R., Luckie P.T. 1984. "Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling", SME-AIME, New York, USA.

Deniz V., Soydan N. 1999. Laboratuvar çaplı bir çeneli kırıcının kapasitesine tesirli boyut küçültme oranının ve kömür türünün etkileri, *GEOSOUND Yerbilimleri Dergisi*, 34, 81-87.

- Deniz V. 2000. “*Cevher Hazırlama Ders Notları*”, S.D.Ü, Müh. Mim. Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta.
- Deniz V. 2002. Farklı kömürlerin çeneli kırıcıda kırılması sonucu oluşan özgül yüzey alanı üzerine bir deneysel çalışma, *Türkiye 13. Kömür Kongresi*, Zonguldak, 161-168.
- Deniz V., Özdağ H. 2003. A new approach Bond grindability and work index: Dynamic elastic parameters, *Minerals Engineering*, Vol.16, 211-217.
- Deniz V. 2003. A study on the specific rate of breakage of cement materials in a laboratory ball mill, *Cement and Concentrate Research*, 33, 439-445.
- Deniz V. 2004. Relationships between Bonds grindability (G_{bg}) and breakage parameters of grinding kinetic on limestone, *Powder Technology*, 139: 208-213.
- Deniz V. 2005a. Darbeli kırıcıda kireçtaşı türünün kırılma özellikleri üzerine etkisi, *I. Taşocakları Kongresi*, Lefkoşe, KKTC, 167-171.
- Deniz V. 2005b. Pomzanın ufalanma özelliği ve çok ince pomzanın kullanımı, *Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi 2005*, Isparta, 51-61.
- Deniz V., Ögütçü S. 2006. Taş ocaklarındaki mevcut kırma-eleme tesislerinin performans açısından değerlendirilmesi, *IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, 228-233.
- Deniz V., Çetin F., Soyer B. 2007. Kaltun Madencilik A.Ş.’nin mika tesisinde bulunan kırıcı ve elek performanslarının incelenmesi, *6. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 237-242.
- Deniz V., Özden, H. 2009. Pilot çaplı bir çekiçli kırıcıda alçı taşının kırılma yaklaşımının araştırılması, *7. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 94-100.
- Deniz V. 2009. Taş ocaklarında uygulanan eski yanlış alışkanlıklara yeni bakışlar, *V. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, 329-349.
- Deniz V. 2011. Computer simulation of product size distribution of a laboratory ball mill, *Particulate Science and Technology*, 29(6): 541-553.

Demir İ., Başpınar M.S., Abadan S., Kahraman E., Ünal O. 2014. Mermer tozunun gazbeton üretiminde geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, *II. Uluslararası Çevre ve Ahlak Sempozyumu (ISEM2014)*, Adıyaman, 1291-1301.

Gao M., Young M., Allum P. 2002. IsaMill fine grinding technology and its industrial applications at Mt. Isa Mines, *Proceedings of the 34th annual meeting of the Canadian Mineral Processors, Ottawa, Canada*, 171-188.

İpekoğlu Ü. 1989. “*Cevher Hazırlama*”, DEÜ. Müh.-Mim. Fak. Yayını, MM/MAD-89 EY 179, İzmir.

Kwade A. 1999. Wet comminution in stirred media mills-Research and its practical application, *Powder Technology*, 105, 14-20.

Lynch A.J., 1977. “*Mineral Crushing and Grinding Circuits: Their simulation, optimization, design and control*”, Elsevier, New York, USA.

Market-Research-Reports.com.

Öner M. 1999. Ball size rationing affects clinker grinding, *World cement*, 30(2), 101-106.

Özçelik Y. 1999. Mermercilikle elmas tel kesme makinelerinin çalışma koşullarının incelenmesi. *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Özdağ H. 1992. “*Cevher Hazırlama-I*”, Anadolu Üniversitesi, Müh.-Mim. Fak. Yayını, No: 107, Eskişehir.

Petrakis E., Komnitsas, K. 2017. Improved modeling of the grinding process through the combined use of matrix and population balance models. *Minerals*, 7(5), 67.

Pitchumani B., Venkateswarlu D. 1980. Matrix representation of batch and continuous size reduction processes, *Fine Particles Processing*, NewYork, 148-163.

Salopek B., Peaff S., Garapic M., 1986. Determination of milling matrix elements exemplified by laboratory ball mill tests, *I International Mineral Processing Symposium*, Izmir, Turkey 24-34.

- Satyanarayana S.V., Joodi N., Agasthya S., Feroz S. 2015. Food grade calcium carbonate from marble industry solid waste, *International Journal of Applied Research* 1(11): 692-693
- Tercan A.E., Özçelik Y. 2000. Geostatisticat Evaluation of Dimensional-Stone Quartes, *Engineering Geology*, Vol.58, pp.25-33,.
- Wang Y., Forssberg E. 2000. Product size distribution in stirred media mills, *Minerals Engineering*, 13, 459-465.
- Wills B.A. 1992. “*Mineral Processing Technology*”, Pergamon Press. Oxford, England.
- Yazıcıoğlu S., Kara C. 2017. Betonda atık mermer tozu kullanımının karbonatlaşmaya etkisi, *Politeknik Dergisi*, 20(2): 369-376.
- Yıldız N. 2007. “*Cevher Hazırlama*”, Ertem Basım yayın Dağıtım Sanayi ve Ticaret Ltd.Şti. Ankara.
- Yüçetürk G. 2010. Yapay mermerde kullanılan kuvars ve kalsit minerallerin fiziko-mekanik özellikleri, *SDU International Journal of Technologic Sciences*, 2(3): 72-80.

MERMER ÇAMURU KARAKTERİZASYONU VE POTANSİYEL KULLANIM ALANLARI

Taki GÜLER, Ercan POLAT

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

E-posta: takiguler@mu.edu.tr, epolat@mu.edu.tr

1. GİRİŞ

İnşaat sektörü; ülkelerin ekonomik başarılarında büyük paya sahiptir. İnşaat sektörünün gelişimi; başta doğal taşlar olmak üzere hammadde tüketiminde artışı da birklikte getirir (Almeida vd., 2007). İnşaat sektöründe tüketilen doğal taşlar silika kökenli (granit, kayrak, çakıl, vb.) ve karbonat kökenli (kireçtaşı, mermer) olabilir (Marras, 2010). Dünya taş üretiminin yaklaşık %50'sini mermer oluşturur (Bhatnagar, 2009). Mermer, petrografik olarak yüksek sıcaklık ve basınç altında başkalaşıma uğramış kireçtaşı olarak tanımlanmakla birlikte temel olarak kalsit ve dolomit içeren, blok halinde çıkarılabilen, kesilebilen, parlatılabilen, cezbedici desen ve renklerinden dolayı yapıtaşı olarak kullanılan kristalin kaya olarak ta tanımlanır (Onargan vd., 2006).

Mermer üretimi ocakta blok çıkarımı ile başlar. Mermer bloklar, fabrikalarda plaka halinde kesilip parlatıldıktan sonra son uygulama alanlarında kullanılmak üzere piyasaya sunulur. Mermer

üretim sürecinin her aşamasında atık açığa çıkar. Ocakta blok üretim aşamasında önemli oranda iri atık oluşurken fabrikada kesme ve parlatma esnasında ince atık, mermer çamuru olarak açığa çıkar. Plaka kesim esnasında testere kalınlığına ve plaka kalınlığına bağlı olmakla birlikte mermer bloğun en az %20'si ince atık olarak atılır (Careddu vd., 2014; Marras, 2010). Bu kadar yüksek bir oran; mermer üretimindeki artış ile paralel olarak yüksek tonajlarda atık çıkışı anlamına gelmektedir. Ülkemizde mermer işleme tesislerinden ortalama %40 oranında su içeren çamur halinde yıllık yaklaşık 1.000.000 ton mermer tozu açığa çıktığı rapor edilmiştir (Bilgin ve Koç, 2013).

Mermer çamuru olarak alınan ince atığın stoklanması; hem büyük atık sahaları gerektirmekte hem de çamurun kuruması sonrası atmosferik etkenlerle ince atığın tozlaşması ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma; atıkların stoklanarak sorunun çözümsüz hale getirilmesini değil alternatif tüketim sahaları için satılabilir ürün haline dönüştürülmesini gerektirir. Başlıca kağıt, boya, kauçuk ve çimento üretimi olmak üzere birçok sektörün temel hammaddesi, mermer çamurunun da temel bileşeni olan kalsiyum karbonattır. Öğütülmüş kalsiyum karbonatın piyasa değerini saflığı, tane boyutu ve parlaklığı belirler. Dolayısıyla mermer çamurunun karakterizasyonu; atık sahalarında stoklanması yerine alternatif tüketim sahalarının belirlenmesi açısından önemlidir. Atık depolama alanlarının yetersizliği, yüksek nakliyat masrafı, sınırlı yeraltı zenginliklerinin özellikle inşaat sektöründe aşırı tüketimi sonucu bu kaynakların hızla azalması, sanayici ve bilim insanlarını alternatif çözümler üretmeye yönlendirmektedir (Aukour, 2009; Bilgin ve Koç, 2013; Careddu vd., 2014; Marras vd., 2010; Rana vd., 2016).

2. MERMER ÇAMURUNUN ÇEVREYE ETKİSİ

Mermer üretimi; blok üretim verimliliğinin %10 civarında olduğu göz önünde bulundurulduğunda, açığa çıktığı aşamaya bağlı olarak, farklı şekil ve boyutta büyük hacimlerde atık oluşumu anlamına gelir. Inert olarak değerlendirilen bu atıkların ince boyutlu kısmının özellikle bitki örtüsü ve su kaynaklarına olumsuz etkisi vardır. Mermer çamurunun çevresel etkileri atık özelliklerine ve kütlesine, toprak geçirgenliğine ve bölgedeki akarsu debisine bağlıdır (Bilgin ve Koç, 2013; Karaca vd., 2012; Rana vd., 2016). Çamurun akışkanlığından dolayı atık sahasına dökülen ince atıklar geniş alanlara yayılabilir. Mermer çamuru içindeki su; toprak örtüsünde varolan çatlaklardan yeraltına nüfuz eder veya buharlaşır. Katı atık, süzülme ve buharlaşma esnasında çökerek zamanla toprak örtüsündeki çatlakları tıkar ve geçirimsiz bir yüzey oluşturur. Bitki kökleri, havanın oksijeni ile beslenemediğinden bu geçirimsiz yüzey, toprak verimliliğini olumsuz etkiler ve bitki örtüsünü yok eder (Şekil 1). Bu geçirimsiz yüzey yeraltı su seviyesinin zamanla düşmesine neden olur. Ayrıca mermer çamurunu oluşturan katının tane boyutu çok küçük ve yüzey alanı büyük olduğundan suyun alkalinitesini yükseltir. Toz oluşumu da mermer çamuru ile ilişkili diğer önemli bir sorundur: mermer çamurunun kuruması ile ince boyuttaki kesim artıkları toz halinde havay karışarak solunabilir hava kalitesini olumsuz etkiler (Bilgin ve Koç, 2013).

3. MERMER ÇAMURU POTANSİYEL KULLANIM ALANLARI

Birçok endüstri dalının önemli hammaddesi olan öğütülmüş kalsiyum karbonatın (CaCO_3) değeri; tane boyutu ve saflığına bağlıdır: öğütme işleminin, tane boyutunun düşmesi ile daha güçleşmesi ve çok yüksek oranlarda enerji tüketimi gerekliliği enerji maliyetinden dolayı öğütülmüş kalsiyum karbonatın fiyatını hızla artırmaktadır. Bu durum

farklı uygulamalarda maliyeti ciddi oranda etkilemektedir. Temel olarak CaCO_3 içeren ince boyutlu mermer çamuru; atık yönetimi ve sürdürülebilir kalkınma açısından ikincil hammadde olarak çevresel uygulamalar, hayvan yemi, inşaat, asit maden drenajı, toprak ve endüstriyel atıkların ıslahı, ilaç ve kimya sektörü, vb. alanlar için önemli potansiyel arz etmektedir. Bu nedenle son zamanlarda mermer çamuru kullanımına yönelik çalışmalar hızla artmıştır (Almeida vd., 2007; Karaca vd., 2012; Marras vd., 2010; Rana vd., 2016). Farklı sektörlerde öğütülmüş kasiyum karbonat veya mermer çamuru kullanım durmu ve koşulları aşağıda özetlenmiştir.



Şekil 1. Mermer çamurundan döküldüğü alanda geçirimsiz yüzey oluşturarak bitki örtüsünü yok eder (Rana vd., 2016)

İnşaat: Sera gazı emisyonuna en çok katkıyı çimento üretiminin yaptığı ve dolayısıyla doğal zenginliklerin en çok harcandığı alan (Rana vd., 2016, 2017) olduğu göz önünde bulundurulduğunda mermer çamurunu inşaat sektöründe çimento tüketimini azaltabilecek şekilde kullanılabilirliği büyük önem arz eder. Yapılan çalışmalar ince agrega yerine belirli oranda mermer tozu kullanımının beton

mukavementini iyileştirdiğini göstermiştir (Almeida vd., 2007; Rana vd., 2016). Mermer çamurunun doğaya en önemli olumsuz etkisinin toprak örtüsündeki gözenekleri tıkayarak geçirgenliği düşürüp toprağı verimsizleştirdiğı bilinmektedir. Mermer çamuru, bu olumsuz özelliğinden dolayı yol yapımında ince dolgu malzemesi olarak kullanılabilir (Bilgin ve Koç, 2013). Mermer atıkları, inert olması nedeniyle deniz dolgusu olarak da kullanılabilir (Rana vd., 2016). İnce boyutlu mermer çamuru macun dolgu ve yapıştırıcı olarak boşlukları doldurmak ve yalıtım sağlamak için kullanılır (Careddu vd., 2014).

Kağıt: Birim yüzey alanı 2-20 m²/g olan ve en az %95 CaCO₃ içeren öğütülmüş kalsiyum karbonattan üretim aşamasında dolgu malzemesi olarak %4-10 oranında eklenir. Parlatma aşamasında da aynı oranda kalsiyum karbonat kullanılır. Aşınmayı önlemek için kalsiyum karbonatın en az %60'ı -2 µm olmalı ve aşındırıcı silis içeriğı düşük olmalıdır. Kağıt kalitesine bağılı olarak kullanılacak kalsiyum karbonatın parlaklığının (R457) %80-96 olması istenir. Kullanılacak kalsiyum karbonat kaynağının kağıdın rengini değıştirecek metal tozu ve safsızlık içermemesi gerekir. İnce boyutlu mermer çamuru kimyasal bileşimi ve tane boyutu uygun ise sulu olarak satılabilir ve nem içeriğı kağıt üretiminde sorun oluşturmaz (Careddu vd., 2014; Laufmann, 1996; Marras, 2010).

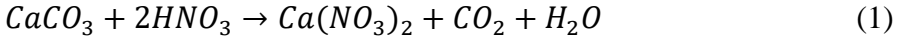
Boya: Yüksek parlaklık özelliğı, düşük aşındırıcılığı ve hava koşullarına direnciden dolayı boyalarda beyaz pigment olarak en çok kalsiyum karbonat kullanılır. Ultra ince mermer çamuru, su bazlı kaplamalarda yüksek hacimlerde kullanılabilir. Sulu olmayan kaplamalarda ise stearat ile işlenmiş kalsit kullanılır (Careddu vd., 2014). Boya üretimi için mermer tozu Fe-oksit içeriğinin %0.03'ten yüksel olması istenmez (Bilgin ve Koç, 2013).

Seramik: İnce mermer tozu, karışık ve kalsitli akçini çamurlarının mineralojik bileşiminde %5-20 oranında kullanılır. İri kalsit taneleri,

seramik yapıda hatalara neden olabileceğinden mermer tozunun tane boyutunun ince olması seramik yapıyı olumlu etkiler. Mermer tozu, artan pişirme sıcaklığı ile seramik yapının gözenekliliğini azaltır. Seramik sırında kullanılması durumunda pişmiş mermer tozu (CaO) sır bileşimindeki diğer oksitlerle birleşerek camsı yapıyı oluşturur (Arcasoy, 1983; Bilgin ve Koç, 2013).

Plastik-kauçuk: Ultra ince kalsiyum karbonat (%90'ı -10 µm boyutunda) kauçuk üretiminde pigment görevi görerek malzemeyi rijitleştirmeden dayanımını artırır. Kauçuk üretiminde kullanılacak malzeme; en az %98,5 CaCO₃, en fazla %0,4 SiO₂ ve %0,08 Fe içermelidir (Careddu vd., 2014; Harben, 2002). Nispeten iri boyutta (en az %95'i -45 µm boyutunda) ve düşük saflıktaki (en az %92 CaCO₃) kalsiyum karbonat, araç lastiği üretiminde kullanılabilir. Bu amaçla kullanılacak kalsiyum karbonatın Cu, Mn ve Fe içeriği sırasıyla en fazla %0,005, %0,05 ve %0,1 olmalı, beyazlık en az %82 olmalıdır. Yüksek yumuşama sıcaklığı, elastik ve mekanik dreci iyi olan termoplastik polipropilen üretiminde sert yapı oluşumu için dolgu malzemesi olarak en fazla %0,1 nemli, %30-60 oranında -2 µm boyutlu kalsiyum karbonat kullanılır. Termoplastik polivinil klorür (PVC) üretiminde dolgu malzemesi olarak yüksek oranda (%60'a kadar) inert kalsiyum karbonat kullanılır. PVC şerit üretiminde kullanılacak kalsiyum karbonatın -2 µm boyutundaki kısım oranı en az %20 iken, tel yalıtkan üretiminde %50-90 arasında olmalı ve nem oranı en fazla %0,1 olacak şekilde hazırlanmalıdır (Marras, 2010).

Gübre üretimi: Mermer tozu, aşağıdaki tepkimeye göre kalsiyum nitrat gübresi üretiminde kullanılır (Marras, 2010). Tepkime hızı mermer tozu boyutuna bağlıdır: tane boyutu düştükçe tepkime hızı artar. Tepkime sulu ortamda gerçekleştiğinden mermer çamuru kurutma gereği yoktur. Fakat çok sulu olması asidin aşırı seyrelmesinden dolayı istenmez.



Baca Gazı Arıtımı: İnce kalsiyum karbonat termik santral baca gazının desülfürizasyonu ve ağır metal gideriminde kullanılır. Mermer çamurunun baca gazı arıtımında kullanılabilmesi için yüksek saflıkta ($\text{CaCO}_3 > \%90-95$) ve yüksek yüzey alanı oranını sağlayacak şekilde ince boyutta ($\%90'1 - 63\mu\text{m}$) olması istenir. Mermer tozunun içerisinde bulunan empürite yaş proseste sorun oluşturmaz. Aksine sülfürün sülfata oksidasyonunda katalizör etkisi gösterir. Ayrıca mermer çamuru yüksek beyazlıkta olması zorunlu değil, hafif renkli de olabilir. Fakat Mg içeriği reaktiviteyi düşürdüğünden dolayı dolomitik kökenli mermer çamurları, bileşimine bağlı olmakla birlikte baca gazı arıtımı için uygun olmayabilir (Careddu vd., 2014; Marras, 2010; Rana vd., 2016).

Diğer önemli uygulama alanları: Yüksek kalsitli ince mermer tozu, yumurta verimini artırmak için yaklaşık %10 oranında tavuk yemine katılır. Mermer tozu, asit karakterli toprakların rehabilitasyonunda kullanılır. Kullanım oranı toprak asitliğine bağlıdır. Benzer şekilde asit maden drenajında nötralizasyon amaçlı yüksek yüzey alanına sahip mermer tozu kullanılabilir. Eczacılık alanında antiasit ilaçlarının üretiminde, yangın söndürme köpüğünde dolgu malzemesi olarak mermer tozu kullanılabilir (Bilgin ve Koç, 2013; Marras, 2010; Pincomb ve Shapiro, 1994).

4. MERMER ÇAMURU KARAKTERİZASYONU

Öğütülmüş kalsiyum karbonatın piyasa değerini saflık, tane boyutu ve parlaklığın belirlediği göz önünde bulundurulduğunda tesis atıklarının karakterizasyonu, ince atığın yüksek maliyetlerle atık sahalarında sotaklanması yerine geri kazanımı açısından önemli. Mermer çamurunun farklı uygulama alanlarında kullanılabilirliğini; nem ve tane boyut dağılımı gibi fiziksel özellikleri, mineralojik ve kimyasal

bileşimi, uzun vadede kullanıma yetecek homojenlikte üretimi vb. belirler. Mermer çamuru karakterizasyonu için amaca uygun olarak mineralojik analiz (XRD), kimyasal analiz (XRF, ICP, vb.), kızdırma kaybı, tane boyut analizi, liç testi, renk analizi, yoğunluk testi, vb. uygulanır.

Mermer işleme tesisi ince atıklarının içeriğini uygulanan işlem etkilemektedir. Parlatma ve reçine ile güçlendirme devrelerinde kullanılan malzemeler mermer çamurunda istenmeyen safsızlıklara neden olabilir, ince mermer tozunun silis içeriğini artırabilir ve petrol kökenli hidrokarbonlarca kirlenmesine neden olabilir (Karaca vd., 2012; Rana vd., 2016). Dolayısıyla parlatma ünitesinden gelen ince kısmın ayrılması ve ayrı devrede susuzlandırılması gerekir.

İnce kalsiyum karbonat piyasasında en önemli uygulama alanları kağıt, plastik ve boya üretimidir (Çizelge 1). Dolayısıyla mermer işleme tesisi ince atığı geri dönüşüm uygulamasında, özellikle bu üç sektörün spesifikasyonları göz önünde bulundurulmalıdır. Mermer çamurunun alternatif uygulama alanlarına göre hazırlanması mikronize kalite üretimi ile karşılaştırılmayacak oranda ucuz olması nedeniyle mermer çamurunun karakterizasyonu yoğun ilgi görmüştür. Marras (2010) beş farklı tesis çamuru üzerinde analizler yapmış ve yüksek saflıkta olduklarını ($>98.5\% \text{CaCO}_3$), SiO_2 içeriğinin ihmal edilebilir düzeyde, Fe_2O_3 içeriğinin ise 0.04% 'ten az olduğunu belirlemiştir. Benzer çalışma Hamza vd. (2011), Agrawal vd. (2004) ve Aukour (2009) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda CaCO_3 içeriği açısından benzer sonuçlar elde edilmekle birlikte, Fe_2O_3 içeriği $0,1-0,2$ arasında bulmuştur.

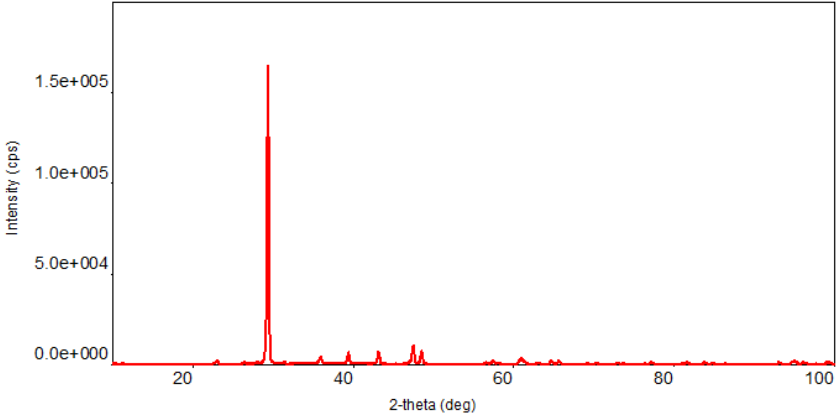
Muğla beyazı mermer atıklarının karakterizasyonu farklı örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yatağan bölgesinden sağlanan paledyen örneği üzerinde gerçekleştirilen analizler; örneğin CaCO_3 içeriğinin 97% 'den fazla, MgO içeriği $0,33$ ve SiO_2 içeriğinin de

%0,17 olduğunu göstermiştir (Güler ve Polat, 2011). Örnek üzerinde yapılan öğütülebilirlik testinde Bond iş indeksi değeri 10,97 kW-sa/ton bulunmuştur. Mikronize kalsit üretiminin kuru öğütme devresinde gerçekleştirildiği ve kuru öğütme için bulunan değerlerin 1,3 ile çarpılması gerektiği düşünüldüğünde birim öğütme maliyetinin, ince boyutlu mermer çamurundan klasifikasyon ile mikronize kalsit hazırlanması maliyeti ile karşılaştırılmamak kadar çok yüksek olacağı görülür. Muğla beyazı atığı üzerinde farklı firma tarafından yaptırılan analizlerde de benzer sonuçlar elde edilmiş, CaCO₃ içeriği %97 civarında, MgO içeriği %0,31, Fe₂O₃ %0,03 ve SiO₂ içeriği ise %0,11 bulunmuştur (Güler ve Güney, 2017). XRD (Şekil 2) ve termal analiz ile Muğla beyazı üzerinde yapılan farklı bir karakterizasyon çalışması; tespit edilen mineralojik fazın sadece kalsit olduğunu ve %98,20 CaCO₃ içerdiğini ortaya koymuştur (Güler, 2014).

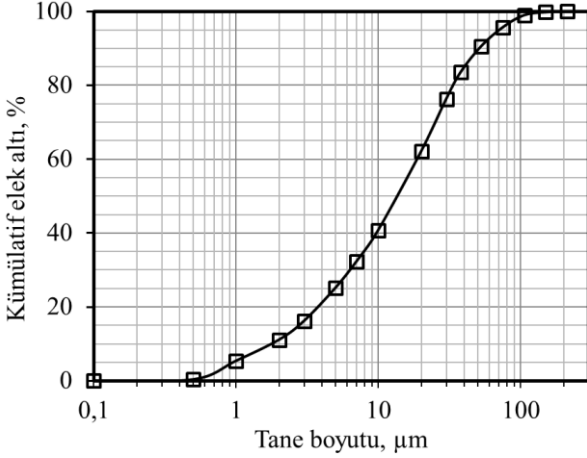
Çizelge 1. Öğütülmüş kalsiyum karbonat tüketim alanları (Anonim, 2017)

Tüketim Alanı	Toplam Tüketimdeki Payı, %
Kağıt	37,2
Plastik	25,3
Boya ve Kaplama	11,1
Yapıştırıcı ve macun dolgu	6,6
Diğer	19,8

İnce kalsiyum karbonatın endüstriyel uygulamasında en önemli değişken tane boyut dağılımıdır. Bu nedenle Ermaş Mermer A.Ş. Yatağan mermer işleme tesisi atığından, boyut dağılımını belirlemek için örnek alınmıştır. Boyut analizinden mermer çamurunun %90'ının -52 µm ve %41'inin -10 µm boyutunda olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. Muğla beyazı mermer örneği XRD paterni (Güler, 2014)



Şekil 3. Ermaş Mermer A.Ş. Yatağan mermer işleme tesisi atığının boyut dağılımı

5. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Endüstriyel atıkların bertarafı dünya çapında önemli bir sorundur. Mermer işleme tesis artıklarının, birçok sektördeki pahalı hammaddelerin yerine kullanılması hem yeraltı zenginliklerinin etkin kullanımına olanak sağlayacak hem de hedef ürünlerin üretim

maliyetini düşürerek katma değeri yükseltecektir. Dolayısıyla bu atıkların potansiyel kullanım alanlarına yönelik projelerin ve endüstriyel uygulamaların desteklenmesi; çevresel kaygıların arttığı günümüzde zorunluluk haline gelmiştir.

Muğla bölgesinde mermer işleme tesislerinden günlük yaklaşık 1000 ton tesis ince artığı çıkmaktadır. Muğla beyazı ince artığının karakterizasyonu çalışmalarından, bu artığın kimyasal bileşim ve tane boyut dağılımı açısından birçok uygulama alanın spesifikasyonunu sağladığı görülmüştür. Düşük maliyetle tüketime yönlendirilebilecek mermer işleme tesisi ince artığının kullanımına yönelik öneriler aşağıda sunulmuştur:

- Muğla bölgesinde mermer işleme tesisi ince artığı için en önemli tüketim sahası termik santral baca gazı arıtım işlemidir. Yüksek CaCO_3 içeriği ve yüksek yüzey alanı (düşük tane boyutu) bu uygulama alanı için temel kriterlerdir. Kimyasal analizlerden yüksek saflıkta (CaCO_3 içeriği $> \%98$) olduğu anlaşılan ince artığın yaklaşık $\%93$ 'ünün $-63 \mu\text{m}$ boyutunda olduğu belirlenmiştir. Bu artığın termik santral desülfürizasyon ünitesinde sorunsuz kullanılabilmesi için parlatma ünitesi artığı plaka kesim artığına karıştırılmamalı, plaka kesim artığı yıkama eleğinden veya bir mekanik klasifikatörden geçirilerek ince artık içine karışması olası iri taş parçaları veya kesici testere talaş veya artıklarının karışımı önlenmelidir. Mg içeriğinin mermer çamuru reaktivitesini düşürdüğü dikkate alındığında; Muğla beyazı termik santral baca gazı arıtım için gerekli şartları sağlamakla birlikte bölgemizde çıkan farklı mermerlerin ince kesim artıkları içine de kimyasal analizler yapılarak uygunluğunun belirlenmesi gerekir.
- Mermer artıklarının yapı sektörüne yönelik farklı uygulamaları (yol ve baraj yapımı, çimento, beton, sıva, macun dolgu vb.

üretimi) üzerine yapılan çalışmalar umut vadedicidir. Mermer madenciliğinin açığa çıkardığı hem iri hem de ince artıklar için büyük hacimlerde uygulanabileceği en önemli alan yapı sektörüdür.

- Katma değeri yüksek diğer bir uygulama alanı da kağıt üretimidir. Muğla beyazı yüksek saflıkta ve beyazlıkta (>%96) olduğundan, sadece sınıflandırma ile ince artığın çok ince kısmı kağıt üretimi için ayrılabilir. Termik santral desülfürizasyon ünitesi için hazırlanacak ince mermer çamurunun nakliyat maliyetini düşürmek için susuzlandırılması gerekir. Yıkama eleğinden geçirilen pülp hidrosiklonlardan veya sentrifüjlü susuzlandırıcılardan geçirilerek bir taraftan mermer keki elde edilirken diğer taraftan çok ince kısım kağıt üretimi için ayrılabilir. Tesis parlatma ünitesinde kullanılan kimyasal ve aşındırıcılar ürün kalitesini olumsuz etkileyeceğinden blok kesme ince artığına karıştırılmamalıdır.
- Boya, plasit ve kauçuk üretiminde de çok ince boyutlu kalsiyum karbonat kullanılmaktadır. Kağıt üretimi için uygulanması önerilen yöntem sonrası elde edilecek ince artığın kimyasal analizi yapılarak boya, plastik ve kauçuk üretimine uygunluğu araştırılmalıdır.
- Seramik sektörünün en önemli hammaddeleri olan feldspat, kuvars ve kalsitçe zengin ince mermer atığı Muğla bölgesinin önemli zenginlikleridir. Dolayısıyla hammaddeye yakın bölgelerde seramik üretim tesislerinin kurulması ile artıkların ekonomiye kazandırılarak atık sorununun bertaraf edilmesi mümkündür.
- Uygulama kolaylığından dolayı gübre üretimi, yem katkısı üretimi, toprak ve endüstriyel atıkların ıslahına yönelik yüksek yüzey alanı oranına sahip ince mermer tozu hazırlanması vb.

endüstriyel uygulamalar üretim maliyeti, ülke ihtiyacı ve ihracat olasılıkları açısından fizibilite edilmelidir.

KAYNAKLAR

Agrawal, S., Mandot, S., Bandyopadhyay, S., Mukhopadhyay, R., 2004. Use of marble waste in rubber industry: Part I (in NR compound), Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology, 20(3): 229-246

Almeida N., Branco F., Santos J.R., 2007. Recycling of stone slurry in industrial activities: Application to concrete mixture, Building and Environment 42(2007): 810-819.

Anonim, 2017. The global calcium carbonate market: Trends, drivers and projections “http://www.strategyr.com/MarketResearch/Calcium_Carbonate_Market_Trends.asp”

Arcasoy, A., 1983. Seramik Teknolojisi, Marmara Üniversitesi Yayını, No.457, 277s.

Aukour, F.J., 2009. Incorporation of marble sludge in industrial building eco-blocks or cement bricks formulation, Jordan Journal of Civil Engineering, 3(1): 58-65.

Bhatnagar, A., 2009. Study for qualitative and quantitative evaluation of waste generation in Indian marble mining and processing, Symposium on the Evaluation of Marble Wastes and Decreasing Environmental Effects, Diyarbakır, Turkey, 16-17 October 2009, 1-13.

Bilgin, Ö., Koç, E., 2013. Mermer madenciliğinde çevresel etkiler, Madencilik-Türkiye, 28: 68-79.

Careddu, N., Marras, G., Siotto, G., 2014. Recovery of sawdust resulting from marble processing plants for future uses in high value-added products, Journal of Cleaner Production, 84: 533-539.

Güler, T., 2014. Ermaş Madencilik Turizm Sanayi ve Ticaret A.Ş.’ne Ait Mermer Örneğinin Kalsiyum Karbonat İçeriğinin Tayini, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Döner Sermaye İşletmesi Müdürlüğü, 5 s.

Güler, T., Güney, A., 2017. Mermer atıklarının özel bir uygulama için uygunluğunun değerlendirilmesi (ticari sır olması nedeniyle proje başlığı verilmemiştir), Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Döner Sermaye İşletmesi Müdürlüğü, 3 s.

Güler, T., Polat, E., 2011. Mermer Örneği Bond Öğütülebilirlik İş İndeksi Tayini, Muğla Üniversitesi Döner Sermaye İşletmesi Müdürlüğü, 7 s.

Hamza, R.A., El-Haggar, S., Khedr, S., 2011. Marble and granite waste: Characterization and utilization in concrete bricks, International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics, 1(4): 286-291.

Harben, P.W., 2002. Industrial Minerals HandyBook: A Guide to Markets, Specifications and Prices, 412s.

Karaca, Z., Pekin, A., Deliormanlı, A.H., 2012. Classification of dimension stone wastes. Environmental Science and Pollution Research, 19 (6): 2354-2362.

Laufmann, M., 1996. Alkaline woodfree papermaking with natural ground CaCO₃. 2nd International Symposium Braila/Romania.

Marras, G., 2010. Recovery and valuation of ultrafine marble dust contained in waste slurries deriving from carbonatic natural stones processing plants, University of Calgari, Ph.D. Thesis, 178 s.

Marras, G., Careddu, N., Internicola, C., Siotto, G., 2010. Recovery and reuse of marble powder by-product, Global Stone Congress, March 2, 2010, Spain, pp.1-5.

Onargan, T., Köse, H., Deliormanlı A.H., 2006. Mermer. 4. baskı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, Türkiye.

Pincomb, A.C., Shapiro, A.R., 1994. Environmental uses – Neutralization. Industrial Minerals and Rocks 6th ed., D.D.Carr., ed. SME, Littleton, CO, pp. 459-463.

Rana, A., Kalla, P., Verma, H.K., Mohnot, J.K., 2016. Recycling of dimensional stone waste in concrete: A review, Journal of Cleaner Production, 135: 312-331.

Rana, A., Kalla, P., Csetenyi, L.J., 2017. Sustainable use of marble slurry in concrete, Journal of Cleaner Production, 94: 304-311.

MERMER ATIKLARININ YAPI MALZEMELERİ ALANINDA YÜKSEK HACİMLERDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Süleyman Bahadır KESKİN¹, Mustafa ŞAHMARAN²

1: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

2: Hacettepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

E-posta: sbkeskin@mu.edu.tr, sahmaran@hacettepe.edu.tr

1. GİRİŞ

Atık yönetimi, çevre koruma politikaları arasında ağırlıklı bir öneme sahip olup üretilen atıkların çevre ve insan sağlığı için bir risk unsuru olmaktan çıkarılarak ekonomi için bir girdiye dönüştürülmesini amaçlayan atık yönetim stratejileri, tüm dünyada olduğu gibi Ülkemizde de giderek “temel bir politika” haline gelmektedir.

Sanayileşme, hızlı kentleşme ve nüfus artışı çevresel sorunların artmasına yol açmakta, çevresel bilincin oluşturulması ve sanayide de çevresel önlemlerin alınması artık mecburi hale gelmektedir. Bu önlemler için gerekli yatırımların yapılmasıyla hem çevre korunmuş olacak hem de uzun vadede sanayi kuruluşları fayda sağlayacaktır.

2. MERMER SEKTÖRÜ

Ekonomi Bakanlığı İhracat Genel Müdürlüğünün raporuna (2016) göre en zengin mermer yataklarının bulunduğu Alp kuşağında yer alan Türkiye 5.1 milyar m³ (13.9 milyar ton) muhtemel mermer rezervine sahiptir. Toplam dünya rezervinin yaklaşık 15 milyar m³ olduğu göz önünde bulundurulursa Türkiye dünyadaki toplam mermer rezervinin %33'üne sahiptir. Ayrıca Kalkınma Bakanlığının yayınladığı 2014-2018 yıllarını kapsayan Onuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı (2013) 104. Maddesinde yeni mermer rezervleri bulunduğu bahsedilmektedir. 806. Maddede yurtiçinde mermer arama ve üretimine öncelik verileceğinden, 802. Maddede ise mermer ve benzeri yer altı kaynaklarımızın daha yüksek katma değer oluşturacak şekilde ekonomimize katılması gerektiğinden bahsedilmektedir.

Atık malzemelerin inşaat sektörünün çeşitli alanlarında kullanımı mümkündür. Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında anlatılan yöntemler, mermer sektörünün atık sorununu azaltacağı gibi mermerden daha yüksek katma değer elde etmeyi de sağlayacaktır.

3. KALSİTİN KULLANIM ALANLARI

Mermerin içerisinde en yüksek miktarda bulunan ve kalsit ismiyle de bilinen bileşen CaCO₃ pek çok sanayi sektöründe kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Kâğıt sektöründe dolgu ve kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kâğıt yüzeyinin düzgünlüğünü ve yeterli sertlikte olmasını ve mürekkebin kâğıt tarafından emilebilmesini sağlar.
- Kalsit lastik sektöründe lastiğin yumuşaklık kaybı olmadan yük taşıyabilmesini sağlar. Lastiğin şekil değiştirmeye karşı koyma kabiliyetini yani elastisite modülünü artırır. Aynı

şekilde plastik üretiminde plastiğin dayanıklılığı ve kolay kalıplanabilmesi için kullanılır.

- Hayvancılıkta kullanılan kalsit hayvan yemine hayvanların gelişimi için katkı olarak katılır. Benzer şekilde tarımda da topraktaki organizmalara uygun alkali ortamı sağlamak ve bitkileri beslemek amacıyla kullanılır.
- Cam sektöründe ise camın rengini açmak ve kimyasal dış etkilere dayanıklılığını arttırmak için özellikle şişe ve pencere camında kullanılır.
- Gıda sektöründe şeker üretimi için kullanılır. Şekerin kirleticilerden ayrılması kalsit ile sağlanır. Su arıtımı, sertliğinin giderilmesi ve klorlamada kalsitten yararlanır.

4. MERMER ATIKLARININ ÇİMENTO ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Çimento üretimi, kil ve kireç içeren hammaddelerin döner fırınlarda pişirilmesi sonucu elde edilen klinkerin, düşük miktarda alçı taşı ile öğütülerek toz haline getirilmesiyle gerçekleşmektedir. Döner fırınlarda gerçekleşen işlem sırasındaki yakıt kaynaklı ve hammadde içerisindeki CO₂'in salınımı kaynaklı olarak yüksek miktarda sera gazı azığa çıkmaktadır. Dünya üzerindeki toplam CO₂ salınımının %5 ila %8'lik kısmı sadece çimento endüstrisi tarafından açığa çıkarılmaktadır (Scrivener, 2008). Elde edilen klinker sadece alçı ile birlikte öğütülerek çimento üretilebilir. Ancak bunun yanı sıra TS EN 197-1 çimento standardına göre 27 adet genel çimento sınıfı tanımlanmaktadır. Bu standartta tanımlanan bütün çimento türlerinde ayrıca %5'e kadar minör bileşen kullanılabilir. Minör bileşen olarak inorganik doğal mineral maddelerin çimento üretiminde kullanılması da standarda göre mümkündür. Çimento standardında tanımlanan çimentolar, klinker ve alçı dışında çeşitli katkı maddelerinin ilave edilmesiyle meydana gelmektedir. Bu çimento sınıfları içerisinde

kalkerin yüksek oranda kullanılabilirdiği Portland kompoze çimentolar da bulunmaktadır. Üretilen çimentonun standartta belirtilen fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri sağlaması durumunda, %35'e kadar kalker kullanımı çimento üretiminde mümkündür. Çimento üretiminde kullanılacak malzemelerin çimento ile benzer inceliklerde olacak şekilde öğütülmesi gerekmektedir. Bu da doğal olarak toz halinde bulunmayan malzemeler için ek bir maliyet ortaya çıkarmaktadır. Kimyasal olarak kalkere benzer yapıdaki toz halinde bulunan mermer atıklarını ise doğrudan çimento üretiminde kullanılabilirliği bulunmaktadır. Bu konuda yapılmış bir çalışmada %10'a kadar mermer tozu ikamesiyle üretilen çimentolarda, sadece klinker ve alçı kullanılarak üretilen çimentolara benzer özelliklerin elde edildiği gösterilmiştir (Aruntaş, 2010). Yapılan başka bir çalışmada ise %15'e kadar mermer tozu ikamesiyle üretilen çimentoların özellikleri incelenmiş, %10'a kadar artan oranlarda mermer tozu ikamesinin, çimento ile üretilmiş harçların basınç dayanımını arttırdığı, %15 ikamenin ise kontrol numunesi ile aynı sınıfta basınç dayanımı değerleri verdiği gözlenmiştir. Bununla birlikte, su ihtiyacı, priz süresi, hacim kararlılığı gibi özellikler bakımından mermer tozu ikamesinin kayda değer bir farklılık göstermediği belirlenmiştir (Aliabdo, 2014). Özellikle toz halindeki mermer atıklarının hem minör bileşen olarak, hem de ana bileşen olarak çimento üretiminde kullanılma potansiyeli yüksektir.

Bunun yanı sıra klinker üretiminde CaO kaynağı olarak kireçtaşı kullanılmaktadır. Çimento içerisindeki en fazla bulunan oksit olan CaO temel olarak CaCO₃'ün yakılmasıyla oluşmaktadır. Mermerin kireçtaşına kıyasla daha nadir ve değerli bir malzeme olması sebebiyle, çimento hammaddesi olarak kullanılmasında ilgili çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bunun bir başka sebebi olarak da mermerin sertlik ve öğütülebilirliğinin değişkenlik göstermesi gösterilebilir. Diğer taraftan kireçtaşının çimento üretiminde

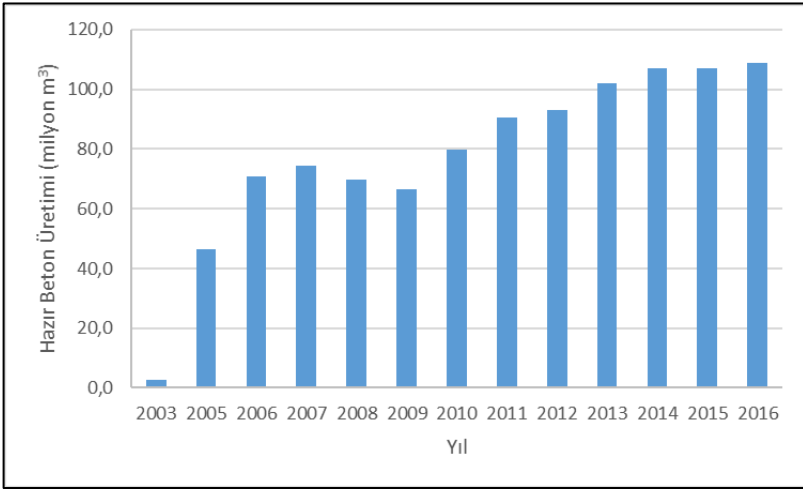
hammadde olarak kullanılması için kırılması, taşınması, öğütülmesi ve karıştırılması aşamalarından geçirilmesi gerekmektedir. Ancak yapılan bir çalışmada mermer tozunun kireçtaşı yerine kullanılmasıyla bu aşamalardan birçoğunun ortadan kalkarak doğrudan hammadde karışımına eklenerek kullanılabilmesinin mümkün olduğu görülmektedir (Ruiz-Sánchez, 2012). Mermer atıklarının çimento üretiminde hem klinker üretimi için hammadde olarak, hem de klinkerin bir kısmı yerine ana veya minör bileşen olarak kullanılmasının ekonomik yararının yanında sera gazı salınımını azaltmak bakımından potansiyel etkisi yüksektir.

5. MERMER ATIKLARININ BETON ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Beton dünya üzerinde en çok kullanılan yapı malzemesidir. Ülkemizde de beton en yaygın kullanılan yapı malzemesi olmasının yanı sıra Avrupa'da en çok hazır beton üretimi yapılan ülke de Türkiye'dir. Dünya'da ise Çin ve Amerika Birleşik Devletleri'nin ardından üçüncü sırada yer almaktadır. 2016 yılı içerisinde istatistiklere göre ülkemizde 109 milyon m³ hazır beton üretilmiştir. Şekil 1'de görüleceği üzere hali hazırda oldukça yüksek olan beton üretimi istikrarlı biçimde artmaktadır (THBB, 2016).

Beton esas olarak çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı özellikteki çimento hamuru kullanılarak, agregaların birbirine bağlanması vasıtasıyla üretilen bir yapı malzemesidir. Bunun yanı sıra betonun bazı özelliklerini iyileştirmek için beton karışımlarında kimyasal veya mineral katkı malzemeleri de kullanılabilir. Betonun kalıcılığının ve dayanımının yüksek, aynı zamanda ekonomik olması için mümkün olduğunca fazla miktarda agrega içermesi gerekmektedir. Ancak kullanılacak agrega da standartlarda belirlenmiş fiziksel, mekanik ve sağlamlık özelliklerine sahip

olmalıdır. Beton üretimi sırasında hacim olarak %70-75 civarında agrega kullanılmaktadır. Ülkemizde üretilen beton miktarı dikkate alındığında sürekli olarak artan miktarda agrega ihtiyacına karşılık yeni agrega kaynaklarının bulunması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu durum ise sınırlı kaynakların ekolojik dengeye zarar vermeden değerlendirilmesi bakımından önem arz etmektedir. Beton üretiminde kum, çakıl gibi doğal agregalar kullanılabildiği gibi kırmataş gibi işlenmiş agregalar da kullanılabilmektedir. Kireçtaşı genellikle kırmataş olarak tercih edilen bir agrega türüdür. Bununla birlikte beton üretiminde kullanılan agregalar ince ve iri agregalar olarak ayrılmakta ve elek analizi sonucunda belirli bir gradasyona uygun olmaları istenmektedir.



Şekil 1. Beton üretiminin yıllara göre değişimi

Mermerin kesimi sırasında ortaya çıkan toz atık beton içerisinde ince agrega ve dolgu malzemesi olarak kullanılabilirken, paledyen kısımları iri agrega olarak kullanmak mümkündür. Islak halde bulunan mermer tozunun su muhtevası tespit edilerek, kurutmaya gerek kalmadan, doğrudan beton karışımına dahil edilmesi

de beton karışım hesabının da buna göre yapılmasıyla mümkündür. Ülkemizde ocaktan çıkarılan agregaların çoğunun kireçtaşı kökenli olduğu ve mermerin de kimyasal bileşim olarak benzer olduğu düşünülmüşse mermer atığının beton içerisinde agrega olarak kullanımının önünde herhangi bir engel olmadığı görülmektedir. Bu konuda yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır.

Beton üretiminde mermer atığı agregaların kullanılması ile ilgili bir çalışmada, beton içerisindeki ince agreganın, iri agreganın ve ince ve iri agrega toplamının %25, %50 ,%75 ve %100'ü ayrı ayrı benzer boyutlardaki mermer atığı agregalar ile ikame edilmiş ve elde edilen betonlar taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda mermer agregasının uygun bir beton tasarımıyla beton üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir (Hebhoub, 2011).

Mermer agregasının iri agrega olarak beton üretiminde kullanıldığı bir çalışmada ise mermer agregası miktarının artmasıyla betonun daha işlenebilir olduğu, özellikle %80'lik bir ikame seviyesinde ise en yüksek basınç dayanımlarının elde edildiği görülmüştür. Ancak ikame oranının yükselmesiyle betonun daha geçirimli bir hale geldiği de belirlenmiştir (Kore ve Vyas, 2016).

Bir başka çalışmada ise mermer tozu, beton üretiminde çimentonun ve kumun %15'i oranına kadar ikame edilmiş, özellikle kum yerine mermer tozu ikame edildiğinden mekanik özelliklerde iyileşmeler gözlemlenmiştir (Aliabdo, 2014).

“Atık Mermer Tozunun Parke Taşlarında Kullanılması” adlı çalışmada mermer tozu hacme göre agregayla belli oranlarda ikame edilmiştir. 0.50 ve 0.55 su/çimento oranlarında CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N ve CEM I 42.5 R çimentolarıyla 400 kg/m³ dozajında üretilen parke taşlarının mekanik özellikleri incelenmiştir. CEM I 42.5R

çimentosu %20 ikame oranında referans numuneye göre daha iyi basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı değerleri vermiştir. Ayrıca her iki çimento için de mermer atığı ikamesi arttıkça aşınma direnci de artmıştır (Filiz vd., 2010)

Yapılan başka bir çalışmada fırında kurutulup 2 mm elekten elenen mermer tozu %10, %15 ve %20 oranlarında, agregayla yer değiştirilmiştir. PÇ 32,5 çimentosu kullanılmış ve çökme değeri 2.5 ila 5 cm arasında olacak şekilde su/çimento oranları ayarlanmıştır. %15 ve %20 oranlarındaki numunelerin basınç dayanımı değerleri şahit numuneye göre yüksek çıkarken çekme dayanımı değerleri bir miktar düşmüştür (Ünal, 2001).

Bir başka çalışmada ise kendiliğinden yerleşen beton üretmek amacıyla mermer tozu kullanılmıştır. Bu çalışmada mermer tozu uçucu kül ve çimentodan oluşan bağlayıcı malzemelerle yüksek oranlarda ikame edilmiştir. 1 m³ beton içerisinde 200 kg kadar mermer tozunun çimento ve uçucu kül yerine kullanılması durumunda, hedeflenen özelliklerde kendiliğinden yerleşen betonun başarılı bir biçimde üretilebileceği gösterilmiştir (Topçu vd., 2009).

Yine kendiliğinden yerleşen beton üretiminde mermer tozunu kullanımı ile ilgili Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemeleri Laboratuvarında gerçekleştirilen bir çalışmada, Muğla bölgesinden toplanan mermer tozu, uçucu kül ve kuvarz atıkları birlikte kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton karışımları üretilmiştir. Bu çalışmadan mermer tozu ve kuvarz atığı ince agrega ile, uçucu kül ise çimento ile ikame edilmiştir. Mermer tozunun ince agrega ile ikame edilmesi sonucu dayanımların belirgin şekilde yükseldiği, uçucu kül ve mermer tozunun birlikte kullanıldığı karışımlarda ise kendiliğinden yerleşen betonun taze özelliklerinde iyileşmeler olduğu görülmüştür (Karaca vd., 2017).

Yukarıda bahsedildiği üzere, mermer atıklarının beton üretiminde özellikle agrega ve toz dolgu malzemesi olarak kullanılmasının önünde engel bulunmamaktadır. Ancak kullanılacak atıkların beton üretiminde agrega olarak kullanımının uygunluğu deneysel olarak belirlenmelidir. Bununla birlikte ekonomik açıdan yatırım maliyeti nispeten düşük, aynı zamanda büyük hacimde mermer atığının bertaraf edilmesi sağlanacağı için de ekolojik açıdan faydalıdır. Mermer atıklarının beton agregası olarak kullanılması sadece hazır beton endüstrisi açısından ele alınmamalıdır. Mermer atıkları hazır beton sektörü dışında, prefabrik yapısal elemanlar, parke, bordür gibi zemin kaplama elemanlarında kullanılabilmesi gibi, şehir mobilyalarında özellikle beyaza yakın renklerinden dolayı, beyaz çimento ile birlikte kullanılıp estetik özelliklere sahip ürünler elde edilebilir.

6. MERMER ATIKLARININ GAZ BETON VE KÖPÜK BETON ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Gaz beton, çoğunlukla duvar örmede kullanılmakla birlikte başka amaçlarla da kullanılabilen, hafif bir yapı malzemesidir. Hafif oluşunu yoğun gözenekli yapısı sayesinde kazanmıştır. Gazbeton, ısı iletkenliği düşük, yangına dayanıklı, deprem performansı yüksek yapı elemanları üretimini sağlar. Gaz betonun üretiminde kullanılan temel hammaddelerin kolay bulunması, üretim sürecindeki bazı teknik zorluklarını tolere edebilmesini mümkün kılar. Bu teknik detaylardan biri de aslında yüksek sıcaklık ve basınçta gerçekleşen otoklav kürüdür.

2016 yılında yayınlanan Türk Yapı Sektörü Raporuna göre son beş yıllık gaz beton tüketimi Avrupa'da dalgalanma yaşarken Türkiye'de düzenli olarak artmıştır. Türkiye'de tüketimdeki artışa paralel olarak üretim miktarı da sürekli artmıştır. Arz-talep dengesine bağlı olarak tüketimin ve üretim kapasitesinin artması önümüzdeki

yıllarda da gaz beton üreten yeni tesislere ihtiyaç duyulacağını göstermektedir (YEM, 2016).

Gaz beton temel olarak çimento, kireç, alçıtaşı, kuvars kumu ve alüminyum tozundan üretilmektedir. “Mermer Tozunun Gaz Beton Üretiminde Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması” adlı araştırmada 100 µm altı mermer tozu, diyatomit, CEM-I-42.5-R çimentosu ve alçı hammadde olarak kullanılmış, bu hammaddelerin suyla karıştırılmasından elde edilen hamura sönmemiş kireç ve alüminyum tozu ilave edilmiş ve gaz beton elde edilmiştir. Üretilen gaz betonun çalışmanın yapıldığı zamanda yürürlükte olan TS 453 standardını sağladığı görülmüştür (Demir vd., 2014). Benzer şekilde gaz beton üretiminde olduğu gibi mermer tozunun yalıtım amacı ile son yıllarda ülkemizde kullanımına başlanan köpük beton elemanlarının üretiminde kullanılması da mümkündür.

7. MERMER ATIKLARININ YOL İNŞAATINDA VE STABİLİZASYONDA KULLANILABİLİRLİĞİ

Ülkemizde yeni yolların yapımı ve mevcut yolların tamir ve iyileştirme/yenileme işleri sürekli olarak gerçekleştirilmektedir. Yol inşaatları ve tamir ve yenileme çalışmalarında büyük hacimlerde dolgu malzemeleri kullanılmaktadır. Örneğin 1 km uzunluğunda yol yapımı için 12000 tondan fazla agrega kullanılması gerektiği ifade edilmektedir (Zoorob ve Superma, 2000). Bu sebeple, ulaştırma alanı atık malzemelerin büyük miktarlarda kullanılabilmesi en uygun sektörlerden birisi olarak akla gelmektedir. Atık malzeme kullanımıyla hem mevcut kaynaklar daha az tüketilecek hem de atık malzemelerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri bertaraf edilebilecektir.

Yol inşaatlarında mermer atıkları asfalt kaplama içerisinde ve temel ve alt temel tabakalarında olmak üzere iki farklı şekilde

değerlendirilebilir (Akbulut ve Gürer, 2003, Yıldız, 2008). Mermer parçaları asfalt tabaka içerisinde agrega olarak kullanılabilirken, mermer tozu asfalt içerisinde viskosite artırıcı katkı olarak ve mermer çamuru ise temel ve alt temel katmanlarında iyi bir sıkıştırma malzemesi olarak kullanılabilir (Akbulut vd., 2003). Yol inşaatı sırasında farklı kısımlarında değerlendirilme potansiyeli olan mermer atıklarının kullanıldığı amaca göre farklı özelliklere sahip olması istenmektedir. Ülkemizde mermer endüstrisinde açığa çıkan atıkların bölgesel olarak ulaştırma alanında her iki şekilde de değerlendirilmesi ile ilgili akademik çalışmalar ve yüksek lisans/doktora tezleri yapılmaktadır.

Yolun en üst katmanı olan aşınma tabakasında cilalanma ve aşınma dirençlerinin düşük olması sebebiyle mermer parçalarının asfalt içerisinde agrega olarak kullanılmasının şartnamelerde sınırlandırıldığı ifade edilmektedir (Akbulut ve Gürer, 2006). Aynı araştırmacıların bir başka çalışmasında ise, mermer (Ayfonkarahisar-İşçehisar bölgesinden temin edilen) ve kireçtaşı agregalarının asfalt içinde kullanılabilirliği kıyaslanmış ve mermer agregalarının bağlayıcı tabakasında (sürtünme tabakasının altındaki katman) kullanılmasının hafif ve orta hacimde trafik yüküne maruz kalan yollar için uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Akbulut ve Gürer, 2007). Ülkemizde yapılan bir başka çalışmada farklı ocaklardan temin edilen 2 tip mermer atığı (Elazığ Vişne Mermeri ve Beyaz Mermer) ve kireç taşı bitümlü sıcak karışım üretiminde farklı kombinasyonlarda bir araya getirilerek ince agrega, iri agrega ve filler malzeme olarak kullanılmıştır. Marshall stabilite ve akma deneyi sonuçlarına göre, bitümlü sıcak karışımlarda mermer atıklarının filler (dolgu) olarak kullanıldığı durumlarda en iyi sonucun elde edildiği bulgusuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte, bu çalışma neticesinde de orta ve hafif hacimde trafik yükü olan yollar için, mermer atıklarının agrega olarak kireç taşı ile birlikte kullanıldığı durumlarda Karayolları Teknik

Şartnamesindeki değerleri sağladığı sonucuna ulaşılmıştır (Okubay ve Yardım, 2016).

Bilecik yöresinden elde edilen 3 farklı mermer atığının incelendiği bir çalışmada, atıkların yol temel ve alt temel malzemeleri için Karayolları Teknik Şartnamesine göre fiziksel özellikleri sağladığı görülmüştür (Ural ve Yakşe, 2015). Bir başka çalışmada ise Afyon yöresinden elde edilen toz atıklar farklı kil oranına sahip topraklar ile karıştırılarak zemin stabilizasyonuna etkisi incelenmiştir (Yıldız, 2008). Çalışma sonucunda mermer tozlarının kil ve kil-çakıl içerikli zemin toprakları ile karıştırıldığında plastisite ve geçirimsizliği düşürdüğü, maksimum kuru yoğunluğu artırdığı ve maksimum %20 oranında stabilizasyon amacıyla kullanılabilmesi belirtilmiştir. Ayrıca kumlu zeminlerde toz atık miktarının daha yüksek oranlarda kullanılabilmesi ifade edilmiştir. Bu çalışmada ayrıca maliyet incelemesi de yapılarak, atık mermer tozu kullanımının yol inşaat maliyetlerini düşürebileceği sonucuna varılmıştır. Bentonit kili zemin malzemesine kireç ve uçucu kül ile birlikte %15'e kadar atık mermer tozu ilavesinin etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, zemine atık malzeme ilavesinin CBR'da (Kalifornia Taşıma Oranı) artışa sebep olduğu belirtilmiştir (Ontürk vd., 2014).

Sonuç olarak, mermer parçalarının asfalt betonu içerisinde agrega olarak, mermer tozunun asfalt betonu içerisinde dolgu olarak ve mermer tozunun temel/alt temel tabakalarında ulaştırma sektöründe kullanılabilmesi görülmektedir. Burada önemli olan kullanılması planlanan mermer atıklarının Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen özellikleri karşılayıp karşılamadığının deneysel olarak belirlenmesi gerekliliğidir. Mermer atıklarının özelliklerinin bölgesel olarak ve mermer çeşidine göre değişebileceği göz önüne alınarak, kullanılmadan önce sürekli olarak ilgili deneylerin uygulanması önem arz etmektedir. Mermer numunelerinin kullanım amaçlarına göre gradasyon, su emme, dayanıklılık, Los Angeles parçalanma direnci,

yassılık indeksi, plastisite indeksi, plastik limit, metilen mavisi, darbe direnci, donma-çözülme direnci, organik madde miktarı gibi özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

GENEL DEĞERLENDİRME

İnşaat sektörü ülkemizin son yıllarda ekonomik kalkınma bakımından lokomotif sektörü olmakla beraber özellikle hızla artan altyapı, yol inşaatları ve kentsel dönüşüm çalışmaları nedeni ile doğal kaynaklarımız hızlı bir şekilde yok olmaktadır. İnşaat sektörü kapsamında tüketilen doğal kaynaklarımız olarak çimento ve beton üretimi için kullanılan kil, kireçtaşı, ve agrega ve dolgu malzemesi olarak kullanılan kırma kireçtaşı malzemeleri en başta gelmektedir. Özellikle büyükşehirlerde yapılmakta olan yoğun yol, havalimanı, köprü, altyapılar ve kentsel dönüşümler kapsamında yıkılıp tekrar inşa edilen yapılardan dolayı doğal kaynaklarımız hızlı bir şekilde yok olmaktadır. Mevcut doğal kaynaklarımızın da bir süre sonra tükeneceği gerçeği dikkate alındığında inşaat sektöründe sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak adına endüstriyel atık malzemelerin doğal malzemeler yerine değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu açıdan bakıldığında farklı form ve boyutlarda mermer atıklarının değerlendirilmesi ülkemiz doğal kaynaklarının yerinde kullanımı açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada özetlendiği üzere çok farklı inşaat uygulamaları kapsamında mermer atıkları yüksek hacimlerde değerlendirilebilmektedir. Literatürden elde edilen bilgilerin uygulamaya aktarılabilmesi için mevcut mermer atıklarının fiziksel, kimyasal ve morfolojik özelliklerinin hızlı bir şekilde belirlenip elde edilecek verilere göre mermer atıklarının sınıflandırılması gerekmektedir. Yapılacak olan sınıflandırmalar ayrıca mermer atıklarının inşaat sektöründe hangi alanlarda ne şekilde kullanılabileceği konusunu da içermesi gerekmekte olup bu aşamadan elde edilecek olan veriler ile Muğla ili ve çevresinde bulunan inşaat

sektöründe hizmet veren kuruluşların bünyelerinde bu atıkların değerlendirilmesinin teşvik edilmesi gerekmektedir. Böylelikle yüksek hacimlerde mevcut durumda depolanan mermer atıkları hem doğal malzemelerin yerine yapı malzemeleri üretiminde kullanılmış olup hem de atık sahalarından kaynaklanacak çevre kirlilikleri ve ek maliyetlerin önüne geçilmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

Akbulut H., Gürer C., “Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Yol Katmanlarında Kullanarak Faydalanma ve Atık Azaltma İmkanları”, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem'2003) Bildiriler Kitabı 18-19 Aralık 2003.

Akbulut H., Gürer C., “Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agregata Olarak Değerlendirilmesi”, İMO Teknik Dergi, 2006, pp 3943-3960.

Akbulut H., Gürer C., “Use of aggregates produced from marble quarry waste in asphalt pavements”, Building and Environment, 2007, 42, pp 1921-1930.

Akbulut H., İçağa Y., Gürer C., “Atık Agregaların Asfalt Yol Kaplamalarında Tekrar Kullanım İmkanları ve CEN Standartları”, III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, 3-4 Aralık 2003.

Aliabdo A. A., Abd Elmoaty A. E. M., Auda E. A., Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete, Construction and Building Materials 50 (2014) 28–41.

Aruntaş H.Y., Gürü M., Dayı M., Tekin İ., Utilization of waste marble dust as an additive in cement production” Materials and Design 31 (2010) 4039–4042

Demir İ., Başpınar S., Abadan S., Kahraman E., Ünal O., “Mermer Tozunun Gazbeton Üretiminde Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması” ISEM 2014.

Filiz M., Özel C., Soykan O., Ekiz Y., “Atık Mermer Tozunun Parke Taslarında Kullanılması” Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 6, No: 2, 2010 (57-72)

Hebhoub H., Aoun H., Belachia M., Houari H., Ghorbel E. “Use of waste marble aggregates in concrete” Construction and Building Materials 25 (2011) 1167–1171.

Karaca H., Taş O. İ., Keskin S. B., Kasap Keskin Ö., “Design and Production Of Self-Compacting Concrete By Using Industrial Wastes Of Muğla” Uluslararası Yapılarda Kimyasal Katkılar 5. Sempozyumu ve Sergisi, Ankara, 19-20 Ekim 2017

Kore S.D., Vyas A.K. “Impact of marble waste as coarse aggregate on properties of lean cement concrete” *Case Studies in Construction Materials* 4 (2016) 85–92

Okubay M., Yardım M.S., “Mermer Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımların Stabilitite Özelliklerine Etkisi”, *Engineering Sciences*, 2016, 11, pp 73-82.

Ontürk K., Firat S., Vural I., Khatib J.M., “Uçucu Kül ve Mermer Tozu Kullanarak Yol Altyapısının İyileştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 2014,17, pp 35-42.

Ruiz-Sánchez A., Sánchez M., Zaror C.A., Vega M.L., Muñoz C.M., *Greenhouse Gases in the Production of Cement Using Marble Dust as Raw Material*, 2nd International Conference on Construction and Building Research, Escuela Técnica de Ingeniería de Edificación, Universitat Politècnica de València Valencia, Spain, 14-16 November 2012

Scrivener, K.L., Kirkpatrick, R.J., “Innovation in Use and Research on Cementitious Material,” *Cement and Concrete Research*, V. 38, No. 2, 2008, pp. 128-136.

Topçu İ.B., Bilir T., Uygunoğlu T., “Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete” *Construction and Building Materials* 23 (2009) 1947–1953.

Türkiye Cumhuriyeti Ekonomi Bakanlığı İhracat Genel Müdürlüğü Maden, Metal ve Orman Ürünleri Daire Başkanlığı, “Doğal Taş Sektör Raporu”, 2016

Türkiye Cumhuriyeti Kalkınma Bakanlığı, “Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018”, 2013.

Türkiye Hazır Beton Sektörü İstatistikleri 2016 - www.thbb.org

Ural N., Yakşer G., “Atık Mermer Parçalarının Yol Temel Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi”, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2015, 2, pp 53-62.

Ünal O. “Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması” Türkiye 3. Mermer Sempozyumu, 2001, Afyon

Yapı Endüstri Merkezi A.Ş. “Türk Yapı Sektörü Raporu”, 2016.

Yıldız A.H., “Mermer Toz Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, doktora Tezi, 2008, 172 p

Zoorob S.E., Suparna L.B., “Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt)”, Cement and Concrete Composites, 2000, 22, pp 233-242.

MERMER ARTIKLARINDAN KATMA DEĞERİ YÜKSEK İLERİ SERAMİK TOZLARININ ÜRETİMİ

Murat ERDEMOĞLU¹, Meryem GÖKTAŞ²

1: İnönü Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

2: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Metalurji
Programı

E-posta: murat.erdemoglu@inonu.edu.tr

1. GİRİŞ

2014 yılında en fazla ihraç edilen maden ürün grupları arasında mermerler 7,3 milyon ton ve 2,13 milyar dolarla ilk sırada yer almaktadır. Bu dönemde, ham, kabaca yontulmuş veya blok mermer-traverten 4,92 milyon ton ve 977,8 milyon dolarla 2014 yılında toplam maden ihracatımız içinde en fazla ihraç edilen ürün olurken, işlenmiş mermer 1,54 milyon ton ve 799,3 milyon dolarla ikinci olmuştur (İMİB, 2014). Türkiye'deki mermer fabrikalarında işlenen mermerlerin ortalama % 30'unun toz olarak elde edildiği ve değerlendirilemeden atıldığı anlaşılmaktadır (Yıldız ve Eskikaya, 1995). Bu nedenle mermer toz atıklarının değerlendirilmesi konusunda bulunabilecek alternatifler, mermer fabrika işletmecilerine ve ülke ekonomisine kaynak sağlayacağı gibi bu fabrikaların çevre

kirletici özelliğini de tamamen ortadan kaldıracaktır. Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan, öğütme işlemine tabi tutulmadan koloidal yapıda bulunan ve büyük çoğunluğu da 250 µm'nin altında olan mermer tanecikleridir. Bu tanecikler, kesme işleminde su kullanılması nedeniyle suyla birlikte çöktürme havuzlarına taşınır. Havuzlarda çökelen mermer tozu filtrasyon uygulandıktan sonra atık sahalarına alınmaktadır.

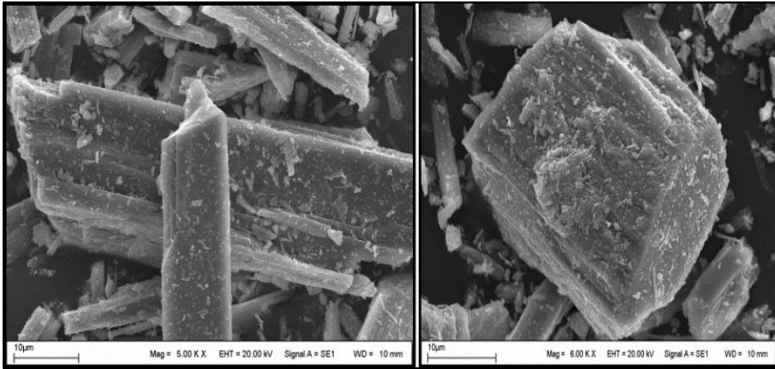
MTA Genel Müdürlüğü'nün 1966 yılında yapılan çalışmalarına göre Türkiye 5,1 milyar m³ mermer rezervi (görünür + muhtemel + mümkün) ile dünya mermer potansiyelinin % 40'ına sahiptir. Toplam rezervi 13,9 milyar ton (yaklaşık 5,1 milyar m³) olan Türkiye'nin yaklaşık 1,6 milyar ton görünür rezervinin, bugünkü hızıyla dünya tüketimini 80 yıl karşılayacak düzeyde olduğu belirtilmektedir (MTA, 2014). Pek çok çeşit, renk, desen ve kalitede mermer çıkarılan ülkemizde, rezervin büyük bölümü; Balıkesir, Afyonkarahisar, Bilecik, Denizli, Bursa, Muğla, Eskişehir, Uşak, Kırklareli ve Kırşehir'de bulunmaktadır (Çetin, 2003).

Üretim ve işleme sırasında ortaya çıkan mermer atıkları inşaat sektöründe; sıva harcı karışımlarında, dolgu malzemesi olarak, mozaik üretiminde, kaplama ve döşemelerde, kireç üretiminde, mıcır olarak, paledyen olarak, karayolu ve demir yollarında kullanım alanı bulmaktadır. Yine mermer atıkları hem Normal Portland çimentosu klinkeri hem de Beyaz Portland çimentosu üretiminde kullanılmaktadır. Toz mermer atıklarının kullanıldığı diğer kullanım alanları ise zirai kireçtaşı-zirai toprak ve zemin ayarlayıcı, yem ve mineralli besinler, sıva katkı malzemesi, kireç üretimi, kalsine dolomit üretimi, cüruf yapıcı malzeme, refrakter malzeme, asit nötrleştirme, cam üretiminde, kağıt üretiminde, şeker rafinasyonunda, baca gazından kükürdün gideriminde kullanılabilir (Göktaş, 2013).

Bu çalışmada ise mermer toz atıklarının seramik hammaddesi olarak yarar sağlayacağı düşünülen kalsiyum silikat ya da mineralojik adıyla vollastonit ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ya da CaSiO_3) gibi katma değeri yüksek seramik tozların üretiminde kullanılması araştırılmıştır.

2. VOLLASTONİT

Vollastonit kullanımı ile gelişen pek çok özellikten bazıları şunlardır; ürün mukavemetinin artması ve tek pişirim karolarda pişme süresinin önemli oranda azalmasına olanak vermesidir. Vollastonitin teorik bileşimi % 48,5 CaO ve % 51,7 SiO_2 'den oluşur. Şekil 1'de görüldüğü gibi saf halde beyaz lifsi görünümde olan mineral, çeşitli safsızlıklar nedeni ile gri ya da kahverengi renk kazanabilir. Vollastonitin en önemli ayırıcı özelliği iki yönlü mükemmel dilinim gösteren iğne şekilli parçacıklardan oluşmasıdır. Kristal boyu genelde tane çapı ile 7-8/1 oranındadır. Vollastonit çok düşük sıcaklıklarda sinterleşebilir. Yüksek sıcaklığa dayanıklıdır, mekanik direnci yüksektir. Porozitesi kontrol edilebilir, yalıtkanlık özelliği iyidir ve kolayca sıkıştırılabilir.



Şekil 1. Doğal vollastonitin SEM görüntüleri.

Seramik malzemeler üretimde feldspat, kalsit, kuvars, dolomit, talk gibi hammaddeler yerine veya seramik ürünün belirli

özelliklerinin düzenlenmesinde vollastonit kullanılabilir. Vollastonit sıhhi tesisat ve çinilerde çatlamayı, sıkıştırmayı, kırılmayı ve mamuller üzerindeki ısı genişmesini önlemesi bakımından aranan bir katkı maddesidir. Vollastonit kullanıldığında seramik ürünün gerek plastik halde, gerekse kurutulmuş halde iken dayanımı çok yüksektir. Vollastonit ayrıca kurumayı hızlandırır, nemlilik genişlemelerini azaltır. Hamurdaki miktarı arttıkça fırınlama sürecinde kısılma söz konusu olduğundan yakıtta da tasarruf sağlar (DPT, 2001).

Seramik bünyelerde vollastonit kullanımının en önemli avantajı; pişirim süresini düşürmesi ve düşük sıcaklıklarda sinterlenebilme özelliğidir. Bu faktörler, karo fayans gibi ürünlerin üretiminde, hızlı pişirim üretim kapasitesini arttırdığı için oldukça önemlidir. Vollastonit, aynı zamanda bünyenin akışkanlığını arttırmak için de kullanılabilir. Vollastonit duvar karolarında boyut kararlılığını sağlamak, deformasyonu azaltmak ve karbonatlara ilişkin CO₂ oluşumunu engellemek için kullanılmaktadır. Vitrikiye bünyelerinde çekme dayanımını arttırmak için de kullanılmaktadır.

Vollastonit, yüksek oranda CO₂ içerikli dolomit, kalsit gibi hammaddelerin yerine seramik bünyede kullanıldığında 1030-1080 °C sıcaklık aralığında 30 dakika gibi bir sürede hızlı pişirilebilir. Vitrikiye ürünlerde % 2-5 oranında feldspat ve kuvarsın yerine kullanıldığında küçülmede ve vitrifikasyon sıcaklığında bir düşüş meydana gelmektedir. Vollastonit kullanımıyla bünyelerde pişirim süresi değişik yollarla azalmaktadır. Vollastonit, kuruma süresini düşürdüğü ve daha kısa bir ön ısıtma fazı gerektirdiği için pişirim süresinin azalması mümkündür. Vollastonit oldukça etkili bir ergitici ve bu özellik seramik bünyenin çok hızlı olgunlaşmasını ve ergitici etki sırbünye arasındaki bağın kuvvetlenmesini sağlar. Düşük ergime katsayısı, lineer termal genişleme eğrisi ve termal şoklara olan yüksek dayanım hızlı ısıtma ve soğutmayı mümkün kılması üretim aşamalarında bünyenin çatlama eğilimini azaltır.

Vollastonit tek başına önemli oranda nemlilik genişlemesine sahip değildir. Bu nedenle bütün seramik bünyelerin nemlilik genişlemesini önemli oranda düşürebilir. Düşük bir nemlilik genişmesi çatlamayı engelleyen en önemli etkidir ve vollastonitte CO₂ ve H₂O'nun azlığı veya olmayışı pişirim boyunca hatalara neden olan gaz oluşumunu engeller.

Vollastonitin düşük lineer termal genişmesi ısıl şok ile meydana gelebilecek çatlamaya karşı büyük bir direnç ve hızlı pişirime olanak sağlamaktadır. Bu açıdan bakıldığında, vollastonitli bünyeler yer ve duvar karolarının hızlı pişirim prosesinde oldukça idealdir (DPT, 2001).

Vollastonit, sırda CaO ve SiO₂ kaynağı olarak tercih edilen bir hammaddedir. Vollastonitin kimyası sır bünyeleri için doğal fritleştirilmiş CaO ve SiO₂ kaynağı sağlamakta ve sırda, kalsit ve kuvarsın yerine kullanılabilir. Hızlı pişirim sağlık ürünlerinin sınırlarında % 10'un üzerinde başarı ile kullanılmaktadır. Vollastonit frit üretiminde de yaygın olarak kullanılan bir hammaddedir. Burada vollastonitin düşük ergime sıcaklığı belirgin bir üstünlüktür. Bu durum fritin camlaşma sıcaklığını düşürerek üretim kapasitesinde artış sağlar.

Dünyada vollastonit üretimi taleple az çok paralel seyretmektedir. 1987'de bu talep dünya çapında artmıştır. Avrupa'da bu sektördeki büyüme esas olarak termal panel duvar uygulamalarında meydana gelmiştir. Dünyanın vollastonit üreten başlıca ülkeleri ve üretici kuruluşlarına ilişkin öz bilgiler Çizelge 1'de sunulmuştur.

Endüstriyel bakımdan, mermer tozlarının vollastonit üretiminde kullanılabilmesi için yeni, daha verimli ve ekonomik yöntemlerin geliştirilmesi amacıyla kavurma davranışının aşırı öğütmeyle sağlanan mekanik aktifleştirmenin etkisinin ortaya

çıkarılması bu çalışmanın temel çıktısıdır. Kavurma için böylece, daha basit ve düşük maliyetli teknoloji kullanımı sağlanabilecektir.

Çizelge 1. Vollaştonit Üreticisi Ülkeler, Şirketler ve Bunlara Ait Yatakların Rezerv ve İçerikleri (DPT, 2001).

Ülke/Şirket	Yatak/Yer	Yıllık Kapasite (Ton)	Açıklayıcı Bilgiler
ABD			
NYCO Minerals Inc. Willsboro New York R.T. Vanderbilt New York	Lewis, Willsboro Hermosillo, Meksika Harrisville New York	100.000 40.000	Seramik kaliteli, asbest oranı 5:1, 15:1, 20:1 yani ürün olarak gröna üretir.En önemli ABD Firması Tüketim seramik ve boya sanayinde, Avrupa ülkelerine İhracat, vollaştonit dışında bentonit, kaolen, pirofillit ve tremolitik talk üretimi
Çin			
Lishu Wollaştonite Mining Industry Co, Daye Wollaştonite Mine (Devlet şirketleri)	Dadingshan ve Panshi, Xingu, Jianpin	300.000	Ülke içinde yıllık tüketim 100.000 ton, %50'si seramik sanayinde Lishu esas olarak iç tüketime çalışmaktadır.
Hindistan			
Wolkem India Ltd. Rajasthan	Bekapahar, Kheratala Rajasthan	125.000	İyi kaliteli vollaştonit, Hindistan'ın tek vollaştonit üreten şirketi, Avrupa, Japonya, Kore, Avusturya, Orta Doğuya ihracat
Finlandiya			
Partek Corp. Lappeenranta Güneydoğu Finlandiya	Lappennranta, Savitaipale	50.000	Avrupa pazarında belirgin bir rol oynar. Şirketin ana pazarı İtalya, Almanya, İspanya, Fransa ve İngiltere. Üretimin %60'i seramikte, %15'i plastikte kullanılır.

Mermer tozlarının yapay kalsiyum silikat üretiminde kullanılabilmesi düşünülerek (Göktaş, 2013), mermer fabrikalarından atılan toz atıklar değerlendirilerek bu araştırma gerçekleştirilmiştir.

3. MALZEMELER VE YÖNTEMLER

Afyon İncehisar Mermer Kalkınma Kooperatifi'nin atık havuzundan temin edilen beyaz mermer tozu çamuru örnekleri kurutulmuş ve Eczacıbaşı-ESAN'dan temin edilen kuru haldeki silis tozu örneği kullanılmıştır. Seramik bünye hazırlanması için Bilecik Bien Seramik A.Ş. tarafından üretilen yer karosu tozu kullanılmıştır.

Mermer artık tozunun ve silis tozunun kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2.'de verilmektedir. Kimyasal analiz sonuçlarına dayalı olarak yapılan hesaplamalar sonucunda silis tozunda SiO₂ miktarı yaklaşık % 98,96, mermer tozunda CaCO₃ miktarı ise %99,64 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2. Mermer tozu ve kuvars tozu örneklerinin kimyasal analizi sonuçları (Göktaş, 2013)

Hammadde	İçerik, %				
	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	A.K.*
Mermer Tozu	55,85	0,25	0,19	0,10	43,39
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	A.K.
Silis Tozu	98,96	0,64	0,19	0,14	0,06
	*: Ateşte kayıp (1000°C)				

Mermer tozu ve silis tozunun vollastonit üretmek üzere kavrulmasından önce mekanik olarak aktifleştirilmesi için aşır öğütme işlemi uygulanmıştır. Öğütme, Gabbrielli 2B Fast Mill marka değirmen, 1000 cm³ porselen havan ve değişik çaplı alubit bilyeler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen ürünlerin tanımlanmasında X-ışınları kırınım (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizlerinden yararlanılmıştır.

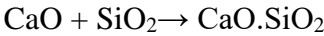
4. MERMER ARTIKLARINDAN YAPAY VOLLASTONİT ÜRETİMİ

Mermerin ana mineral bileşenini oluşturan kalsit yani kalsiyum karbonat,



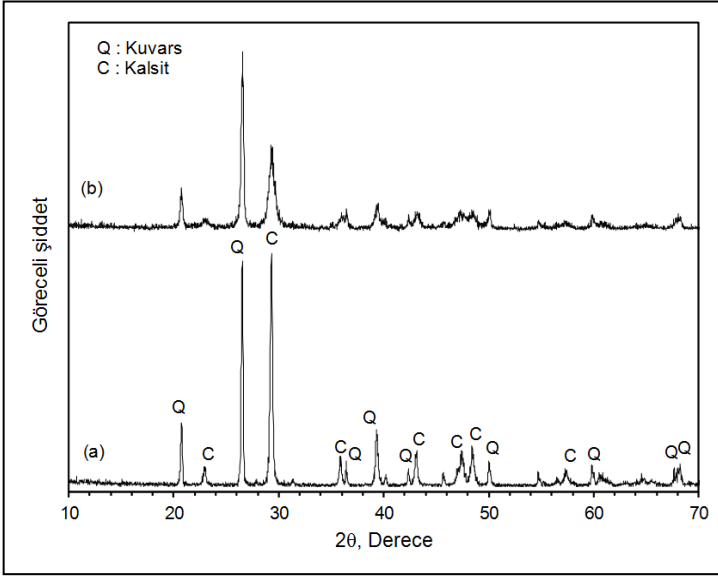
tepkimesiyle yaklaşık 900°C'den 1200°C sıcaklığa kadar sıcaklıklarda ısıtılırsa kütlelerinin %44'ünü kaybedip yani tam kalsinasyona uğrayarak kirece dönüşür.

Kireç ve silis karışımı ısıtıl işlem uygulandığında sıcaklık artışıyla birlikte,



tepkimesiyle kalsiyum silikatlara yani vollastonite dönüşmeye başlar

CaO ile SiO₂ oranı 1/1 olacak biçimde, çalışmalarda kullanılan mermer artığı ve silis tozu kullanılarak hazırlanan karışımın XRD analizinde kuvars ve kalsite ait mineralojik izler belirgin şekilde izlenmektedir (Şekil 2). Aynı biçimde hazırlanan ve daha sonra aşırı öğütme koşullarında öğütülen karışımın XRD deseninde kuvarsa ve kalsite ait pik genişliklerinde fark edilir bir büyümenin ve pik şiddetlerinde ise kısalmaların olduğu gözlenmektedir (Şekil 2b). Aşırı öğütme, kristal yapısını bozarak kuvars ve kalsitin amorflaşmasına sebep olmuştur (Göktaş, 2013).

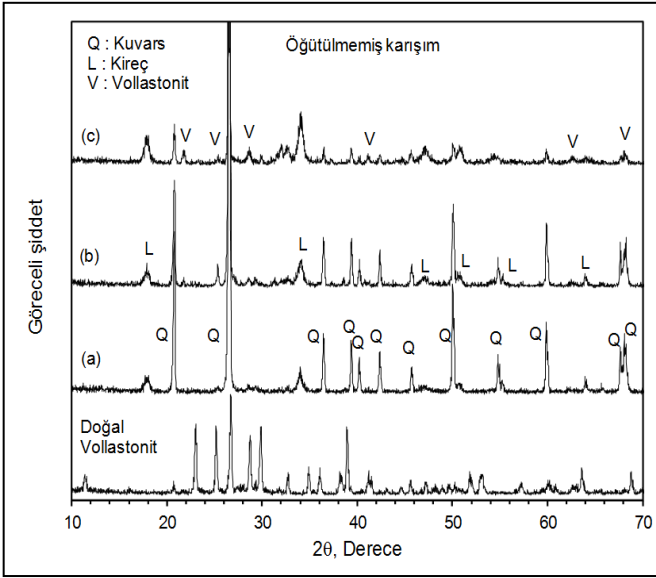


Şekil 2. (a) Öğütülmemiş ve (b) öğütülmüş mermer tozu ve silis tozu karışımının XRD desenleri

Şekil 3'te öğütülmemiş mermer tozu ve silis tozu karışımının 1000, 1100 ve 1200°C'de kavurulması sonucu elde edilmiş ürünlerin ve doğal vollastonitin XRD pikleri karşılaştırılmaktadır. 1000 ve 1100 °C'de gerçekleştirilen kavurma işlemleri sonucunda üründe sadece kalsitin kalsinasyonu ile oluşan CaO-kirece ve kuvarsa ait pikler görülmektedir (Şekil 3a ve 3b). Bu sıcaklıklarda elde edilen ürünlerde vollastonite rastlanmamıştır. Öğütülmemiş karışımın 1200 °C'de beş saat kavurulmasıyla elde edilen üründe ise kuvars ve kirecin yanında ayrıca vollastonit de bulunduğu görülmektedir (Şekil 3c).

CaCO₃/SiO₂ oranı 1/1 olacak biçimde hazırlanan mermer tozu ve silis tozu karışımının aşırı öğütülmesinden sonra 1000, 1100 ve 1200 °C'de kavurulmasıyla elde edilen ürünlerin ve doğal vollastonitin XRD desenleri Şekil 3'de karşılaştırılmaktadır. Öğütülmüş karışımın 1000 °C de kavurulmasıyla elde edilen üründe

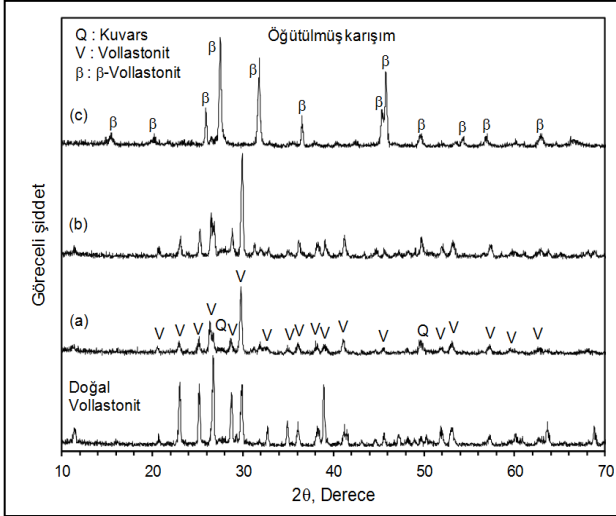
kireç bulunmamaktadır. Ürün, vollastonittir ve kristal sistemi triklinikdir. Bu üründe kuvarsa ait iki pik de görülmekle birlikte en azından kristal yapılu kirece ait herhangi bir ize rastlanmamıştır (Şekil 4a). 1100 °C’de kavurmayla elde edilen ürün ise 1000 °C’de elde edilenle benzer içeriğe sahip olmakla birlikte daha fazla kristal yapılu vollastonit içermektedir (Şekil 4b). 1200 °C’de elde edilen ürün, önceki iki üründen tamamıyla farklı olarak vollastonitin yüksek sıcaklık fazı olan ve psödo-vollastonit de denilen β -vollastonit içermektedir (Şekil 4c). Bu üründe triklinik vollastonite ait herhangi bir ize rastlanmamıştır.



Şekil 3. Öğütülmemiş mermer-kuvars karışımının (a) 1000 °C, (b) 1100 °C ve (c) 1200 °C’de kavrulmasıyla elde edilen tozların ve doğal vollastonitin XRD desenleri.

Çalışma doğal vollastonitin, öğütülmemiş mermer tozu silis tozu karışımlarının ve aşırı öğütülmüş ürünlerin yüzey yapıları taramalı elektron mikroskobu yardımı ile incelenmiştir. Öğütülmemiş

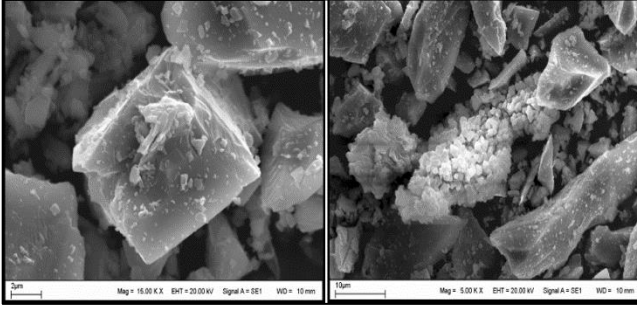
mermer tozu ve silis tozu karışımlarının SEM görüntüleri (Şekil 5a ve 5b) ile aşırı öğütülmüş mermer tozu ve silis tozu karışımının (Şekil 5c) SEM görüntülerine bakıldığında öğütme işleminin taneler arasındaki yapıyı bozarak amorflaşma sağladığı görülmektedir.



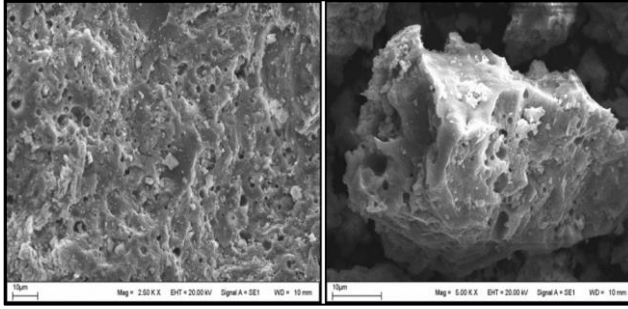
Şekil 4. Öğütülmüş mermer-kuvars karışımının (a) 1000 °C, (b) 1100 °C ve (c) 1200 °C’de kavrulmasıyla elde edilen tozların ve doğal vollastonitin XRD desenleri.



Şekil 5. Öğütülmemiş mermer tozu-silis tozu karışımında (a) kuvars ile (b) kalsit tanesinin ve (c) aşırı öğütülmüş mermer tozu-kuvars kumu karışımının SEM görüntüleri.



Şekil 6. Öğütülmemiş karışımın 1000°C’de kavurulmasıyla elde edilen tozun SEM görüntüleri.



Şekil 7. Öğütülmüş karışımın 1000 °C’de kavurulmasıyla elde edilen tozun SEM görüntüleri.

Öğütülmemiş ve öğütülmüş karışımların 1000 °C’de kavurulmasıyla elde edilen tozların SEM görüntüleri (Şekil 6 ve Şekil 7) karşılaştırıldığında, öğütülmemiş karışımların 1000°C’de kavurulmasıyla elde edilen tozda kuvars tanelerinin özelliklerini koruduğu, mermer tozunu oluşturan kalsitin kalsine olarak üzüm salkımı görüntüsünde kirece dönüştüğü görülmektedir.

Öğütme işleminin karışımdaki kalsitin kalsinasyon sıcaklığını önemli oranda değiştirdiği ortaya çıkmıştır. Başka bir ifadeyle, öğütülmemiş karışıma göre öğütülmüş karışımda kalsinasyon verimi daha yüksek olmakta ve daha düşük sıcaklıklarda kalsine ürün

alınabilmektedir. Öğütülmemiş karışımın 1200°C’de beş saat kavrulmasıyla elde edilen tozda ise kuvars ve kirecin yanında ayrıca vollastonit de bulunmaktadır. Öğütülmemiş karışımın 1100 °C’de kavrulmasına rağmen, her ne kadar SEM görüntüsünde görülme de, XRD analizine göre hala kalsit ve önemli miktarda kireç içerdiği görülmüştür. Ancak, öğütme işlemi kalsinasyon sıcaklığını daha düşük sıcaklıklara çekerek, vollastonitin oluşum sıcaklığını da düşürmüştür.

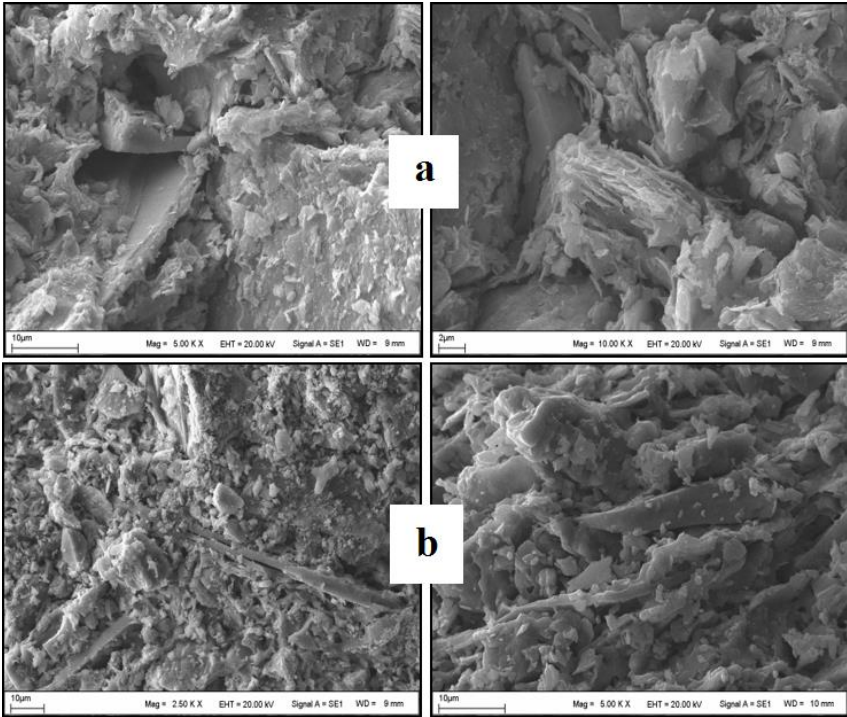
Aşırı öğütülmüş mermer tozu-silis tozu karışımının 1000 °C’de kavrulması ile elde edilen tozun SEM görüntülerinde, serbest mermer ve kuvars veya kireç görüntülerine rastlanmamaktadır. Kalsitin kalsinasyonu ile açığa çıkan gazlar nedeniyle gözenekli bir tanecik izlenmektedir. Bu tanecikler, XRD analizinde belirlendiği gibi vollastonittir.

4.1 Seramik Ürünlerle Yapılan Denemeler

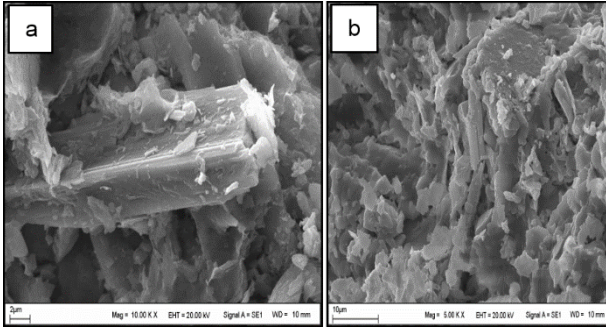
Deneysel çalışmalar sonucunda üretilen yapay vollastonitin seramik bünyesine katkı maddesi olarak eklenerek kullanımı araştırılmış ve böylece; doğal vollastonit ve üretilen yapay vollastonit kullanımının karşılaştırılması yapılmıştır. Her öğütülmüş karışımdan kalsinasyonla üretilen vollastonitin seramik üründe kullanılabilirliği incelenerek çalışma tamamlanmıştır. Mermer tozu ve kuvars tozundan elde edilen karışımlar ayrı ayrı % 5-20 arasında değişen oranlarda Bilecik Bien Seramik yer karosu standart reçetesine eklenmiştir. Bu reçetelenmeyle hazırlanan çamurlar alçı kalıplar yardımıyla şekillendirilip, 1000 °C, 1100 °C ve 1200°C sıcaklıklarda pişirilmiştir.

Şekil 8, vollastonit eklenmemiş yer karosu çamuruyla hazırlanmış seramik tabletlerin ayrı ayrı 1000 °C (şekil 8a) ve 1100 °C’de (Şekil 8b) pişirilmesiyle elde edilen seramik bünyelerin SEM görüntülerini göstermektedir. Şekil 8a’da tabakalı ve yapraksı yapıda

gözlenen mineral tanesi kaolinittir. Düzgün yüzeyli ve iri tane boyutunda görülen taneler ise kuvarstır. 1000 °C’de pişirim sonucunda seramik reçetesindeki kil ve kuvars gibi minerallerin tanelerinin henüz sinterleşmediği ve az çok serbest taneler halinde bulunduğu gözlenmektedir. Oysa 1100 °C sıcaklıkta kısmi ergime nedeniyle keskin kenarlı yapısını kaybetmiş taneler oluştuğu ve tanelerin birbirlerine büyük oranda kenetlendiği anlaşılmaktadır. Seramik bünyenin kaolinit gibi tanelerin kuvars tanelerine tutunmasıyla oluştuğu da izlenmekle birlikte, bünyede bu sıcaklıkta mullit tanelerine rastlanmamıştır.



Şekil 8. 1000 °C (a) ve 1100 °C’de (b) pişirilmiş vollastonit içermeyen seramik tabletlerin SEM görüntüleri

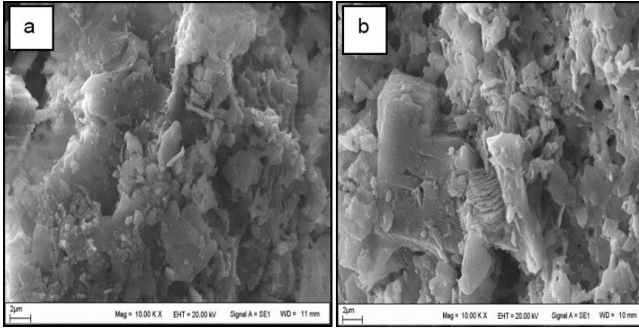


Şekil 9. %20 oranında doğal vollastonit eklenerek 1000 °C (a) ve 1100 °C’de (b) pişirilmiş seramik tabletlerin SEM görüntüleri

Yer karosu reçetesine %20 oranında doğal vollastonit eklenerek hazırlanmış ve 1000 °C’de ve 1100 °C’de pişirilmiş seramik tabletlerin SEM görüntüleri Şekil 9’da verilmektedir. Görünen o ki, seramik bünyede vollastonit taneleri ayırt edilebilmektedir ve reçetedeki mineraller 1000 °C’de pişirmeyle bile sinterleşmeye başlamıştır. 1100 °C’de pişirim ise neredeyse tamamıyla sinterleşme yol açmış ve seramik bünye daha homojen bir morfolojiye kavuşmuştur.

Yer karosu reçetesine, mermer tozu ile silis tozu karışımı (öğütülmemiş karışım) kullanılarak 1100 °C’de kavurmayla elde edilmiş vollastonitten (yapay vollastonit) %20 oranında eklenerek hazırlanarak 1000 °C’de ve 1100 °C’de pişirilmiş seramik tabletlerin SEM görüntüleri Şekil 10’da verilmektedir.

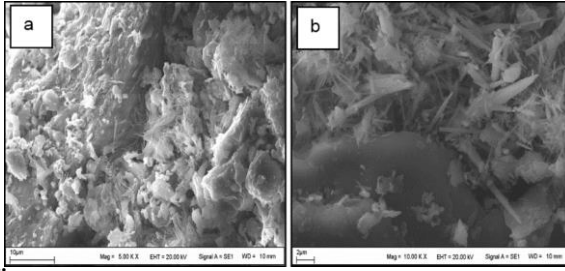
Reçetede yapay vollastonit bulunması 1000 °C’de pişirimle bile bünyede mullit kristallerinin oluşmasını (Şekil 10a) sağlamıştır. 1100 °C’de pişirim ise seramik yapısında sinterleşme ve hatta camlaşmaya yol açmaktadır. Bu sıcaklıkta pişirilmiş bünyede kısmi ergime izleri görülmekle birlikte kaolinitin yapraklı ve tabakalı yapısı da kolaylıkla izlenmektedir.



Şekil 10. Öğütmemiş karışımla üretilen vollastonitten %20 oranında eklenerek 1000 °C (a) ve 1100 °C’de (b) pişirilmiş seramik tabletlerin SEM görüntüleri.

Yer karosu reçetesine, mermer tozu ile silis tozu karışımının 30 dakika öğütülmesiyle elde edilen tozun 1100 °C’de kavrulmasıyla üretilmiş vollastonitten (yeni vollastonit) %20 oranında eklenerek hazırlanarak pişirilmiş seramik tabletlerin SEM görüntüleri Şekil 11’de verilmektedir. 1000 °C’de pişirimle bile mullit kristalleri oluşmakta ve bunlar reçetede ki diğer mineral tanelerini birbirine bağlamaktadır. 1100 °C sıcaklıkta pişirim sonucunda elde edilen seramik yapıda mullit ve vollastonit kristalleri kolaylıkla ayırt edilebilir biçimde belirginleşmiştir. Mermer tozu ve silis tozunun birlikte aşırı öğütülmesi sonucu, kuvars ve kalsitin mekanik olarak aktifleşmesi daha düşük sıcaklıklarda vollastonit oluşumunu sağlamakla kalmamış, ayrıca bünyenin de daha düşük sıcaklıklarda seramikleşmesine yol açmıştır.

Hazırlanan seramik malzemenin karakterizasyonu için ayrıca pişme küçülmesi, su emme, dilatometre analizi, renk, asit ve alkali dayanımı, Harkort ve otoklav analizi gibi bazı fiziksel testler yapılmıştır. Sonuçta, yer karosunda küçülmenin olmaması veya minimum olması istendiğinden mermer tozuna ilaveten silis tozu miktarının fazla kullanımının daha avantajlı olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 11. Öğütülmüş karışımla üretilen yeni vollastonitten %20 oranında eklenerek (a) 1000°C ve (b) 1100 °C’de pişirilmiş seramik tabletlerin SEM görüntüleri

Vollastonit kullanıldığında seramik ürünün gerek plastik halde, gerekse kurutulmuş halde iken dayanımı çok yüksek olup, vollastonit ayrıca kurumayı hızlandırıp, nemlilik genişlemelerini en aza indirmiştir. Vollastonitin çamurdaki miktarının artmasıyla pişirim süresinde düşüş olmasının enerji tasarrufu bakımında değerlendirilmesi gerekmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Öğütülmemiş karışımla 1200 °C vollastonit üretilebilirken öğütülmüş karışımla 1000 °C vollastonit elde edilmiştir. Mermer sanayi artığı mermer tozu ile silis tozunun birlikte aşırı öğütülmesi sonucu karışımdaki mineraller mekanik olarak aktive etmiş ve öğütülmüş karışımın kavrulması sırasında daha düşük sıcaklıklarda vollastonit üretilebileceği ortaya çıkarılmıştır.

Bu yeni nesil vollastonit kullanılarak üretilen seramik malzemede camsı fazın oluşumu da daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Dilatometre analizlerine göre, reçetesinde ağırlıkça %5 oranında yeni vollastonit (bilye-toz oranı ağırlıkça 20 olan öğütme koşullarında 30 dakika aşırı öğütülmüş ve 1000 °C’de 30 dakika kavrulmuş mermer tozu ve silis tozu karışımıyla üretilmiş

vollastonit) içeren yer karosu çamurundan üretilen seramik malzemenin, seramik sanayinde sırlı granit üretiminde kullanılabileceği önerilmiştir.

Yeni vollastonit, özellikle 1000 °C ve üstü sıcaklıklara dayanıklı olması sebebiyle, dayanıklı sırlı granit üretimi için değerlendirilebilir. Ayrıca, üretilen yeni vollastonitin seramik sanayi dışında başka alanlarda kullanılabilirliğinin araştırılması önerilmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince (2012/14) desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Çetin, T., 2003. Türkiye Mermer Potansiyeli, Üretimi ve İhracatı, GÜ, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 3, 3.

DPT, 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Toprak Sanayi Hammaddeleri 1, Çalışma Grubu Raporu, Ankara.

Göktaş, M., 2013. Mermer Sanayi Atıklarından Yapay Kalsiyum Silikat Üretiminde Aşırı Öğütmenin Etkilerinin Seramik Malzemeler Üzerinde Araştırılması. Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 249.

İMİB, 2014. İstanbul Maden İhracatçıları Birliği 2014 Çalışma Raporu. http://www.imib.org.tr/wp-content/uploads/2015/04/CALISMA-RAPORU_2014.pdf (Son erişim tarihi 05.01.2018)

MTA Genel Müdürlüğü, 2014. "MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni", ISBN:978-605-5310-67-7

Yıldız, Ö., Eskikaya, Ş., 1995. Afyon Doğaltaşı Toz Atıklarının Değerlendirilmesi, Türkiye Birinci Doğaltaş Sempozyumu, 1 , 45-52.

MERMER TOZU/POLİMER KOMPOZİTLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE YAPAY MERMER BLOK/LEVHA ÜRETİMİ

Elif VARGÜN, Özden EVREN

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Kimya Bölümü

E-posta: evargun@mu.edu.tr

GİRİŞ

Doğal taşlar olarak granit, mermer, kireçtaşı (LS), kumtaşı, kayraktaşı, traverten gibi çeşitli magmatik, metamorfik ve tortul kayaçlar kullanılmaktadır. Bunların içerisinde en yaygın olarak granit, mermer ve kireçtaşı uzun yıllar boyunca çeşitli alanlarda kullanılmıştır. Son yıllarda ise tasarıma verilen önem ve dekorasyon trendlerinin çeşitliliğinin artması ile sektörde ilginin merkezi konumuna gelmişlerdir. Çağlar öncesinden itibaren kullanılan doğal taşların rezervleri de hızla tükenmeye başlamıştır. Ayrıca var olan rezervlerden çok düşük verimlerle faydalanılmaktadır. Bu durumun sebepleri arasında; sanayi ve AR-GE kurumları arasındaki zayıf bağlantılar, ARGE'de yetersiz özel yatırım, yeniliğe açık, eğitilmiş ve nitelikli insan kaynaklarının az oluşu, taş ocağı ve taş işleme teçhizatı endüstrisindeki yüksek teknoloji açıkları sayılabilir. Bu noktalara gereken önemin gösterildiği iyileştirme çalışmalarısıyla ocakların yeniden yapılandırılması durumunda doğal taş bloklarından elde edilecek ürün verimi artırılacak ve atık madde miktarı azalacaktır (Neves, 2011).

Yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında başkalaşıma uğramış kalkerlere mermer denir. Bu tanım mineralojik anlamda mermerin tanımı olup, endüstriyel tanımı ise; kolayca cilalanan ve kolayca parlayan taşlar mermer olarak belirtilmektedir (Doğanay, 2002).

Türkiye Cumhuriyeti Ekonomi Bakanlığı 2017 Doğal Taş Sektör Raporuna göre, dünyanın en zengin mermer yataklarının bulunduğu Alp kuşağında yer alan Türkiye, 5.1 milyar m³ - 13.9 milyar ton muhtemel mermer rezervine sahiptir. Bu değer 15 milyar m³ olduğu tahmin edilen dünya rezerv toplamının %33'üne karşılık gelmektedir. Asya kıtasında Çin, Hindistan, İran, Avrupa kıtasında ise İtalya, İspanya, Türkiye ve Portekiz doğal taş üretiminde önemli potansiyele sahip olan ülkelerdir. Türkiye'de kristalin kalker (mermer), kalker, traverten oluşumlu kalker (oniks), konglomera, breş ve magmatik kökenli kayalar (granit, siyenit, diyabaz, diyorit, serpantin, vb.) bulunmaktadır ve rezervlerin çoğu Ege bölgesindedir (%32). Üretim en fazla olduğu iller; Balıkesir, Afyon, Bilecik, Denizli, ve Muğla'dır (toplam üretimin %65'i). Türk mermeri, farklı renk skalası ve kalitesiyle dünyanın pek çok ülkesinde, dünyaca tanınmış mekânlarda kullanılmaktadır (Doğal taş sektör raporu,2017).

Şekil, renk ve doku kalitesi açısından mümkün olan en iyi ve en büyük blok üretmek başarılı bir doğal taş madenciliğinin hedeflerindedir. Bu amaçla; teknik jeolojik değerlendirme; piyasa talebinin iyi bilinmesi, hedef maden taşının jeo-yapısal özellikleri doğrultusunda profesyonel madencilik tasarımı ve buna uygun maden çıkarma yöntem ve ekipmanları büyük önem arz etmektedir (Cosi, 2015). Diğer madencilik sektörleriyle karşılaştırıldığında doğal taş madenciliğinin, işleme sırasında toksik maddeler kullanılmaması, doğrudan sera gazı emisyonunun olmayışı, işleme sırasında kullanılan suyun büyük çoğunluğunun geri dönüştürülebilmesi özellikleriyle sürdürülebilir olduğunu göstermektedir (Cosi, 2016). Ancak, mermer ocaklarının ve fabrikalarının hem blokların çıkarılması hem de işlenmesi sırasında açığa çıkardığı atıklar özel zorluklara sebep olmaktadır. Bunlar kısaca:

- güvenli ve çevre açısından kabul edilebilir yapılardaki atıkların sahada tutulması veya sahadan uzaklaştırmanın maliyeti/uygulanabilirliği
- atıklar için güvenilir acil durum önlemleri
- atıkların toplanması ve yeterli bir çalışma boşluğunun muhafaza edilmesi şeklinde verilebilir (Allington, 2016). Atıklar insan sağlığını, çevreyi ve diğer canlıları olumsuz yönde etkilemektedir. Atıldıktan sonra atıklar çevredeki geniş verimli arazileri kaplar ve böylece su akışını engelleyerek bölgeye zarar verir. Hava ve yağmurla okside olurlar, sülfidler oksitlenir ve insan sağlığını, su kaynaklarını olumsuz yönde etkiler. Katı atıkların akarsu akışlarıyla etkileşimi sonucu akarsulardaki kalsiyum, sülfat ve magnezyum içeriği artmaktadır. Özellikle bahar ve yaz aylarında partiküller solunduğunda silikozis denilen bronşit ve astım hastalıklarına sebep olmaktadır. Ayrıca, görme ve cilt hastalıklarına yol açar (Rana, 2016).

Kendiliğinden doğada parçalanamayan endüstriyel atıkların bertaraf edilmesi tüm dünyanın uğraştığı bir sorundur. Atık depolama alanlarını karşılamak için arazi yetersizliği, nakliye masrafları ve diğer ilgili sorunlar, sanayileri daha uygulanabilir ve sürdürülebilir alternatifler bulmaya zorlamıştır.

Karaca vd. mermer atıklarını (1) katı, (2) toz ve (3) yarı-çamur, çamur ve kek olmak üzere üç grupta sınıflandırmıştır. İlk grup katı atıklar, taş ocağı katı atıklardır, ana kayadan başka ekonomik değer taşımayan taşlardır. Taş ocaklarında taş yüzeyinin düzgünlüğüne bağlı olarak katı atıkların hacmi büyük bloklar veya paledyenler şeklinde olabilir. Belirli mineral ve kimyasal içeriğe sahip katı atıklar, ön hazırlıklara gerek duymayan (örneğin ezme ve öğütme) ve nispeten büyük miktarda hammadde gerektiren sanayilerde yeniden kullanılabilir. İnşaat sektörü, karayolu ve denizyolu dolumunda taş ocağı katı atıklarının tekrar kullanılabilmesi en uygun endüstridir. Ayrıca, paledyenlerin de tekrar kullanılabilmesi en uygun sanayi, inşaat sektörü ve dolgu altyapı projeleridir. İkinci atık grubu toz atıklar

olup tüm blok çıkarma tekniklerinde ve kesim sırasında, bir miktar toz atığı oluşmaktadır. Karbonatlı toz atıkları, kimya endüstrisinde ve alt sanayi bölgelerinde, tarım ve hayvancılıkta başka malzemeler içermediğinden kullanılmaktadır. Üçüncü atık grubu yarı çamur, çamur ve kek atıklarıdır. Partiküller ön havuzlarda tutulur ve daha sonra saflaştırma tanklarında flokülasyonla çöktürülür ve taşan su geri beslenir. Yarı çamur ve çamur atıklarına kıyasla, kek atıkları daha homojen olarak granüle edilir ve daha az su içeriğine sahiptir. Miktar, tane büyüklüğü ve granülasyon göz önüne alındığında, kek atıkları diğer sanayilerde kullanım için en uygun olanlardır.

Sadece İscehisar (Afyon) atık bertaraf alanına, 200'den fazla tesisin günde 1.200 tondan fazla çamur ve kek atığı dökülmektedir (Karaca, 2012). Dünya doğal taş pazarında Türkiye 10 milyon ton/yıllık üretime sahiptir. Mermer bloklar işlendikten sonra yaklaşık %25-40 oranında toz atık oluşmaktadır. (Büyüksağış, 2009). Türkiye'nin mermer işletmelerindeki doğal taş (mermer, traverten vb.) blok ve plakalarının işlenmesi (kesilmesi ve parlatılması) sırasında ortaya çıkan doğal taş tozu miktarının yılda yaklaşık 150.000 ton civarında olduğu tahmin edilmektedir (Ersoy, 2003). Önenç'in (2001) çalışmasına göre 1 m³'lük (yaklaşık 3 ton ağırlığında) bir bloğun işlenmesi sırasında açığa çıkan toz miktarı, bloktan elde edilecek plaka kalınlığına bağlı olarak, blok ağırlığının %30-40'ı arasında değişmektedir.

Careddu ve arkadaşları, geri kazanım-geri dönüşüm işlemleri yoluyla alınan taş işleme atıklarını atık olarak değil, diğer üretim proseslerinde kullanılacak birincil veya ikincil ham maddeler olarak düşünmektedirler. Çünkü bu mikronize kalsiyum karbonat bir dizi endüstriyel uygulama için iyi bir hammaddedir. Bunlar arasında:

- Tarımsal toprak ıslahı,
- Çimento imalatı, refrakter tuğla üretimi,
- Kağıt, boya ve polimerler için dolgu malzemesi,

- Soda üretimi,
- Yem endüstrisi,
- Seramik ve cam endüstrisi,
- Boya endüstrisi,
- Endüstriyel atıklar için asit nötrleştirici ve ağır metal absorpsiyonu,
- Elektrik üretim tesislerinde baca gazı kükürt giderimi,
- Kireç üretimi,
- Yapı endüstrisinde döşeme ve kaplama reçinesi imalatı,
- Kozmetik ve ilaç endüstrileri sayılabilir.

Carredu ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada, tanecik büyüklüğü analizine göre, çamur parçacıklarının yaklaşık % 65'i 10 mikronun altındayken geriye kalan % 35'lik değer 10 - 100 mikron arasındadır. Çizelge 1, CaCO₃'ün piyasa değerinin parçacık boyutunun azalmasıyla nasıl arttığını göstermektedir. Halen, kalsiyum karbonat ortalama parçacık boyutları 10 mikronun altında olan kısmı 150 € / t civarındadır ve ticarileştirme geliri 12 M € 'dan fazladır (Carredu 2009, Careddu 2014, Careddu 2015).

Çizelge 1. Ultraince toz miktarları ve bunların yıllık satış ve gelir değerleri (Careddu, 2009)

Parçacık		Mevcut Miktar (t)	Piyasa Değeri (€/t)	Kısmi (M€)	Gelir (M€)
Boyut	%				
<10	65	65,000	150	9.75	12.55
>10	35	35,000	80	2.80	

Günümüzde mermere karşı talebin büyümesi ile çıkarılan mermer oranı da gün geçtikçe artmaktadır. Bu duruma bağlı olarak atıkların değerlendirilmesinde de güçlükler yaşanmaktadır. Çoğu

işletme atıklarını değerlendirmek yerine daha az maliyetli olduğu için boş arazilerde depolamayı tercih etmektedir. Böylece atıklar görüntü kirliliklerine daha da önemlisi çevreye ve insan sağlığına ciddi zararlara sebep olmaktadır. Doğal kaynakların azalması, çevreye olan duyarlılığın artması, gelişen teknoloji ve Ar-Ge çalışmaları atıkların değerlendirilmesinde modern, tasarım ve dekorasyona yönelik aynı zamanda da ticari getirisi yüksek yeni ürünler üretilecek bir alan ihtiyacı doğurmuştur. Bu amaçla mermer atıklarından kompozit malzemeler üretmek ve geliştirmek mümkündür.

Kompozit malzemeler; en iyi özelliklerini bir araya toplamak için iki veya daha fazla farklı fiziksel özelliğe sahip malzemenin birleştirilmesiyle elde edilir. Bu malzemelerde dayanım, korozyon ve aşınma direnci, rijitlik, şekillendirilebilirlik, düşük yoğunluk ve ağırlık, fiyat, estetik görünüm gibi üstün özellikler beklenmektedir.

Kompozit malzemeleri oluşturan üç ana bileşen:

- Matris
- Takviye (dolgu) elemanı
- Katkı maddeleridir.

Matris; kompozit yapıda takviye maddesini bir arada tutma, takviye ediciyi dış etkenlerden koruma ve kompozitin şeklini belirlemek için kullanılır. Matrisin kullanım sıcaklığı kompozitin kullanım sıcaklığını belirler.

Kompozit malzemede takviye edicinin görevi, matris içinde homojen bir şekilde dağılıp, matrisin maruz kaldığı mekanik etkiyi destekleyerek malzemenin mekanik dayanıklılığını sağlamaktır. Takviye elemanı olarak kompozite eklenen cam lifler; esnek, hafif ve ucuz bir malzemedir aynı zamana kompozit malzemeye eklendiğinde malzemenin sert, korozyona karşı dayanıklı olmasını sağlarlar.

Katkı maddesi olarak da UV absorbanlar, renk pigmentleri, antioksidanlar vb. kimyasallar kompozitin özelliklerini iyileştirmek amacıyla malzemeye eklenir.

Öğütülmüş CaCO_3 birçok yapıştırıcı, dolgu macunu ve boşluk doldurucuda genel amaçlı dolgu maddesi olarak kullanılır. Toz kalsiyum karbonat düşük aşınma, düşük yağ emme, düşük nem, yüksek parlaklık ve matris içinde kolay dağılım nedeniyle polimerlerde en sık kullanılan dolgu malzemesidir. Üstelik "in situ" polimerizasyon tekniğinde CaCO_3 kullanımı nanoparçacıkların aglomera haline gelme eğilimini azaltır ve böylece polimer matrisinde homojen dağılım sağlanır (Rana,2016).

Kağıt endüstrisinde kâğıt dolgusu ve kaplama malzemesi olarak kullanılan kalsiyum karbonat baskı performansı, mürekkep tasarrufu ve baskı kalitesi için kullanılmaktadır. Kauçuk üretiminde ise, ultra ince kalsiyum karbonat rijitliği olmayan bir mukavemet katar, bir pigment gibi davranır ve ekstrüzyonla üretimi kolaylaştırır (Careddu, 2009).

Mermer tozu, polimer reçine ve takviye elemanları ile üretilen yapay mermer blok veya plakaların mekanik özellikleri yüksektir. Doğal mermere göre daha esnek bir yapıdadır. İçerisine konulan takviye malzemeler ile sertlikleri ve çizilme dayanımları iyileştirilmektedir. Yapay mermerin hammaddesi olarak kullanılan mineral tozlarının özelliklerine göre teknik özellikler değişiklik göstermektedir. Kalsit ve kuvars mineralleri ile elde edilmiş yapay mermerin teknik özellikleri Çizelge2’de verilmiştir.

Kalsitin sertlik değeri 3-4 mohs iken kuvarsın sertliğinin 7 civarında olduğu görülmektedir. Bu durumda atık mermer tozundan yapılacak yapay mermer kompozitlerin içerisine kuvars grubu minerallerin katılmasıyla mermerin basınç dayanımı artırılabacaktır.

Yapay mermerler mermer tozları, kuvars, çeşitli mineral türleri, uyumlaştırıcılar ve polimer reçinelerin homojen bir şekilde

karıştırılıp döküm yöntemiyle kalıplanması ile üretilirler. Kalıplara dökülen karışım titreşim tezgâhlarında ya da üzerine baskı uygulanarak içerisinde oluşan gözenekler ortadan kaldırılır. Kalıplanan karışım kürlenerek son ürün elde edilir.

Çizelge 2. Kalsit ve kuvars katkılı yapay mermerlerin teknik özellikleri (Yüçetürk, 2010)

Kalsit Katkılı		Kuvars Katkılı	
Yoğunluk	2.4 gr/cm	Yoğunluk	2.3 gr/cm
Su alma %	≤ 0.16	Su alma %	0.10
Bükülme	≥ 22.9	Bükülme	≥ 20
Dayanma	97	Dayanma	120
Sertlik derecesi	3-4	Sertlik derecesi	4-7
Aside direnci	Etkilenir	Aside direnci	Etkilenmez

Yapay mermerler uygulanacak yerin özelliklerine göre istenilen şekil ve ebatta, özel renk ve desenlerde üretilebilirler. Mermerin aksine tek parça üretildiği için montajı ve kullanımı kolaydır. Doğal taşlara göre daha hafif olması nedeniyle binaya fazla yük binmez. Her türlü iç ve dış mekânda kullanıma uygundur.

Ayrıca bu kompozitlerin mermer gibi gözenekli yapısı bulunmadığından hijyenik ve antibakteriyeldirler. En önemli nokta ise mermerde blok veriminin düşük olmasından kaynaklanan atıklar değerlendirilip yapay mermerler üretilir ve yapay mermerde atık oluşmaz.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde mermer atık tozu ile termoset polimerlerden doymamış polyester, vinil ester ve epoksi reçine kullanılırken, termoplastik polimerlerden polietilen tereftalat (PET) atık şişelerinin kullanıldığı gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalardan termoplastik polimerlerin mermer tozuyla kullanımının mekanik özellikleri düşürdüğü sonucuna ulaşılmaktadır. Doymamış polyester reçineler ise içerdiği stiren monomerinin sağlığa zararlı

olması ve mekanik özelliklerinin yeterince yüksek olmaması gibi özelliklerine rağmen ekonomik olmasından dolayı bu alanda çok sık kullanılmaktadır. Epoksi reçineler diğer reçinelere göre daha pahalıdır fakat gösterdiği üstün mekanik ve elektriksel özelliklerinden ve yüksek ısı derecelerine karşı dayanımından dolayı çalışmalarda tercih edilmektedir.

Barani ve ark (2016), yaptıkları çalışmada atık granit ve mermer taş çamuru, öğütülmüş kuartz tozu, atık cam ve doymamış polyester reçine kullanarak titreşimli sıkıştırma yöntemi ile yapay taş plakaları elde etmişlerdir. Yapay taş plakaların yoğunluğunu ve su emme kapasitesini ASTM C97, eğilme dayanımı ve basınç direncini ise ASTM C880 ve ASTM C170 standartlarına göre yapmışlardır. Her iki farklı taş çamuru için içeriğin artması ile yoğunluğun ve su emme oranının arttığı gözlemlenmiştir. Elde ettikleri yapay taş plakaları, doğal taşlarla karşılaştırdıklarında iyi bir bükülme, sıkıştırma ve gerilme mukavemetine sahip olduklarını ve aynı zamanda dış duvar ve zemin döşemek amacıyla kullanılabilir ideal bir malzeme olduğunu belirtmişlerdir.

Lee ve ark (2008), vakum ortamında titreşimli sıkıştırma yöntemini kullanarak mermer ve granit parçaları ile atık cam tozundan yapay taş plakalar üretmişlerdir. %40 atık cam, %60 atık mermer ve granitten oluşan karışıma %8 oranında bağlayıcı olarak doymamış polyester reçine ve kürleştirici ekleyip 130-135°C'de sertleştirmişlerdir. Bu çalışmada ürettikleri yapay taş plakaların ASTM D 790 standartlarına göre yaptıkları test sonuçlarından yola çıkarak döşemelerde kullanılmasının mukavemet ve su emme açısından üstün özelliklere sahip olduğu sonuçlarına ulaşmışlardır.

Chang ve ark (2010), %35 atık mermer çamuru, %50 atık silt ve bağlayıcı olarak puzolanik çimento ile titreşimli sıkıştırma yöntemini kullanarak yapay taş üretmişlerdir. Bu ürettikleri taşın %0.1'den az su emme oranının olduğunu ve aşınmaya karşı direncinin

basınç dayanımı arttıkça arttığını gözlemlemişlerdir. Bu ürünün atık yönetimine ekolojik bir alternatif olduğunu öne sürmektedirler.

Ateş ve ark (2011), yaptıkları çalışmada polyester reçine ile cam elyaf lif ve kuvars takviyeli kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitler üzerinde basma dayanımı ve yoğunluk deneylerini yapmışlardır. Deneyler sonucunda en yüksek basma dayanımı, elyaf kompozitte %55 hacim miktarıyla $45,190 \text{ N/mm}^2$ ve parçacık kuvars kompozitte ise %10 hacim miktarıyla $131,009 \text{ N/mm}^2$ olarak elde etmişlerdir. Bu hacim miktarlarında en düşük yoğunluğu elyaf kompozitte $1,142 \text{ g/cm}^3$ ve parçacık kuvars kompozitte ise $1,351 \text{ g/cm}^3$ olarak elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Dağ (2010), çalışmasında mermer işletmesi atıksu arıtım çamurunu zeolit, pomza ve sepiyolit minerallerini kullanılarak çökeltilmiş ve kurutmuştur. Daha sonra kütlece %20 mermer atıksu arıtım çamuru ve epoksi reçine ile kompozitleri hazırlanmış ve bu kompozitlerin karakterizasyonu yapmıştır. Kompozitlerini hazırlarken hem kendi sentezlediği hem de ticari olarak satın aldığı epoksi reçineyi kullanmıştır. Çekme testi sonucunda en iyi etkiyi sepiyolit koagülantının kullanıldığı mermer atığı ile görmüştür. Pomza koagülantının kullanıldığı mermer atığı kompozitlerinin ise termal dayanıklılığının daha yüksek olduğu sonuçlarına ulaşmıştır.

Şeker (2010), tez çalışmasında epoksi reçine ve sepiyolit kompozitlerin özelliklerini incelemiştir. Hem saf hem de modifiye ettiği sepiyoliti %0-7 oranında matrisin içerisine karıştırmış ve kompozitlerin çekme ve sertlik testleri ile ultrases ölçümlerini yapmıştır. Sepiyolit içermeyen numune ile sepiyolit içeren numunelerin sertlik değerlerini karşılaştırdığında sepiyolit içeren numunelerin sertlik değerleri ile çekme dayanımı ve elastikiyetlerinin daha yüksek olduğunu görmüştür. Son olarak da kompozit yapısında sepiyolit %1-3 oranında polietilen glikol (PEG) ile modifiye edilerek kullanılmasının ultrasonik ses ölçümlerinde dayanıklılığı arttırdığı sonucuna varmıştır.

Nohales ve ark (2006), yaptıkları çalışmada epoksi reçine ve sepiyoliti iki farklı sertleştirici (alifatik ve sikloalifatik daimin) kullanarak kürlemişlerdir. Kürlenmiş kompozitlerin termo mekanik özellikleri ve eğilme davranışlarını değerlendirmişler ve uygun matris ile karşılaştırmışlardır. Sikloalifatik diamine kürleştirilmiş kompozitlerin termal kararlılığı ve mekanik özelliklerini daha yüksek bulmuşlardır.

Yüçetürk (2010), çalışmasında kayaçların minerolojik ve petrografik özelliklerinin yapay mermer kalitesine etkilerini incelemiş ve Isparta çevresindeki mermer atıklarının değerlendirilmesi amacıyla yapay mermer üretiminde kullanılmasını araştırmıştır. Bu amaçla polyester reçine ile oluşturduğu kompozitler ve doğal mermer arasındaki fiziko-mekanik özellikleri kıyaslamıştır. Mermer ve traverten için birim hacim ağırlık değerlerinin yapay mermerde daha düşük olduğunu bulmuştur. Bu durumu yapıda yapay mermer kullanmanın doğal mermere göre taşıyıcı sisteme daha az yük bindireceği sonucuna bağlamıştır. Gözeneklilik değerinin %12 olduğu Isparta yöresindeki mermerden elde edilen yapay mermerin gözeneklilik oranı standart değerlerin altında çıkmıştır. Yapay mermerin su emme oranı da standart değerlerin çok altında olduğu için dış cephe kaplamasında kullanıma uygun olduğu sonuçlarına varmıştır.

Yılmaz (2006), yaptığı çalışmasında doymamış polyester reçine ve cam elyaf ile farklı oranlarda CaCO_3 kullanarak kompozit malzemeler üretmiştir. Bu kompozit malzemelerin özelliklerinde CaCO_3 'ün tanecik boyutunun etkisini araştırmıştır. Ayrıca CaCO_3 katkılı numunesi ile atık mermer tozundan ürettiği numunelerin polyester malzemeye etkilerini karşılaştırmıştır. Sonuç olarak CaCO_3 ve atık mermer tozu oranının artması ile kompozitlerde çekme mukavemetinde artış gözlemlenmiştir. Bu artış CaCO_3 olan numunelerde %10 civarında iken atık mermer tozu numunelerinde %27 civarındadır. Çekme mukavemetindeki artışa rağmen her iki numunede de elastiklik modülünde azalma görülmüştür.

Akın (2007), yaptığı çalışmada matris malzeme olarak doymamış polyester reçine, takviye malzemesi olarak ise mermer tozu ve uçucu kül kullanmıştır. Ayrıca polyester reçine yerine hurda termoplastikleri kullanarak kompozitin mukavemet etkisini incelemiştir. Polyester mermer tozu oranının $\frac{1}{4}$ olduğu kompozit malzemenin üç noktadan eğme mukavemetinin ve sertliğinin en yüksek değerde olduğu, polyester reçine yerine kullandığı termoplastiğin kompozitin mekaniksel özelliklerini azalttığı sonuçlarına ulaşmıştır.

Sınıksaran (2012), çalışmada matris malzeme olarak polyester, takviye elemanı olarak ise volkanik tüf ve mermer tozu kullandığı kompozitler üretmiştir. Kompozit malzeme üretiminde optimum sertleştirici, hızlandırıcı, polyester oranlarını tespit edip daha sonra bu oranları sabit tutup volkanik tüf/mermer tozu oranlarını parametrik olarak incelemiştir. Ürettiği kompozitlerin birim hacim ağırlık, su emme, tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yükü dayanım indeksi deneylerini yapmış ve karışımdaki volkanik tüf tozu oranın arttıkça malzemenin su emme oranının arttığını, tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yükü dayanımında ise düşüş olduğunu gözlemlemiştir.

Ahrabi ve ark (2012), yaptıkları çalışmada PET (Polietien teraftalat) atıkları ve mermer tozunu vidalı karıştırıcıda karıştırarak kompozit malzeme üretmişlerdir. Kompozit malzemenin yapısındaki mermer tozu oranının artmasıyla, sertlik değerlerinin arttığını ancak partikül boyutunun sertlik değerlerini etkilemediğini gözlemlemiştirler. Üç noktadan eğme testi sonuçlarında malzemenin yapısındaki mermer tanecik boyutunun artması ile eğme mukavemetinin azaldığı, çekme testi sonuçlarında ise partikül boyutunun artmasıyla çekme mukavemetinde az da olsa düşüş olduğu sonuçlarına ulaşmışlardır.

Çınar (2016), atık PET (Polietilen teraftalat) şişeler ve mermer tozu kullanarak kompozit malzeme üretimini amaçlamıştır. Bu amaçla

PET atıklarından elde ettiği parçalar ve mermer tozunu vidalı (ekstruder) karıştırıcıda karıştırarak kompozit malzemeyi üretmiş malzemenin mekanik, termal ve morfolojik özelliklerini incelemiştir. Kompozit malzemenin yapısındaki mermer oranının artmasıyla sertlik değerinde ve üç noktadan eğme gerilmesinde artış olduğunu gözlemiştir. Ayrıca LOİ (limit oksijen ihtiyacı) sonuçları incelendiğinde mermer tozu oranının artmasıyla kompozit malzemenin yanmazlık özelliklerinde önemli ölçüde gelişme olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Özata (2009), bağlayıcı olarak Polietilentreftalat (PET) atıklarını ve dolgu maddesi olarak mermer tozlarını kullanarak inşaat malzemesi niteliğinde ürünler elde etmeyi amaçlamıştır. Bu amaçla PET şişe atıklarını ısıl işlem uygulayarak oligomere çevirmiş adipik asit ve maleik anhidrit ilave ederek doymamış polyestere dönüştürmüştür. Bu monomeri stiren monomeri ile muamele ettikten sonra mermer tozu ekleyerek polimerleştirmiştir. Farklı oranlarda numuneler elde edip dayanım değerleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak ticari yoldan satın alınan polyester reçine ile hazırlanan kompozitlerin basma mukavemeti değerlerinin, PET atıkları kullanılarak hazırlanan kompozitlerin mukavemet değerlerinden daha yüksek olduğunu gözlemiştir.

Demircioğlu (2006), çalışmasında değişen cam elyaf boyunun ve oranının kompozit malzemeler üzerinde etkilerini incelemiştir. Bu amaçla epoksi reçine, sertleştirici ve kırılmış cam elyaf kullanarak sıkıştırılmalı kalıplama yöntemiyle kompozit malzemeler hazırlamıştır. Hazırladığı kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için üç noktadan eğme ve çekme testleri, termal özelliklerini belirlemek için ise diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve termogravimetrik analiz (TGA) yapmıştır. Yaptığı mekanik karakterizasyon çalışmaları sonucunda, artan elyaf boyu ve oranının kompozit malzemelerin çekme ve eğilme, dayanımlarını artırıcı yönde etkilediğini görmüştür. Eğilme ve çekme uzaması değerlerinin ise artan elyaf oranı ile azaldığını, artan elyaf boyu ile arttığını

gözlemlenmiştir. Cam elyaf katkısının epoksi malzemenin termal dayanımını arttırdığı, bu artışın artan elyaf oranı ile daha da arttığı, elyaf boyundan ise etkilenmediği belirlenmiştir.

Gökçer (2013), yılında yaptığı çalışmada harç karışımların içerisine farklı oranlarda cam elyaf lif ve mermer tozu ilave etmiştir. Elde ettiği numunelerin aşınma, yüksek sıcaklık ve donma-çözülme deneylerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemiştir. Bu amaçla hazırladığı numuneler üzerinde porozite, kılcal su emme, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve çekme dayanımı deneylerini yapmıştır. Harç numunelerinin aşınma dayanımlarında, cam elyafın artışına bağlı olarak azalma olduğu, mermer tozunun artmasıyla ise aşınmaya karşı dayanımın arttığı belirlenmiştir. Ayrıca mermer tozunun artışı ile lif takviyeli harç numunelerinin ultra ses geçiş hızı, basınç ve eğilmede çekme dayanımı değerlerinde artış, porozite, ve kılcal su emme değerlerinde ise azalmalar olduğu saptanmıştır. Cam lifinin artışı ile numunelerin porozite, kılcal su emme ve eğilmede çekme dayanımı değerlerinde artma, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı değerlerinde ise azalma olduğu tespit etmiştir.

Yıldız (2012), de yaptığı çalışmasında su/çimento oranları 0,63 olan numunelerine belirlediği oranlarda cam elyaf ve mermer tozunu yer değiştirmek suretiyle eklemiş ve beton numuneler imal etmiştir. Numunelerin porozite, ultrases geçiş hızı tayinlerini yapmıştır. Ayrıca basınç ve çekme dayanımlarına bakmıştır. Çalışması sonucunda cam lifinin artması ile porozite değerlerinde artış meydana geldiğini gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra ultrases geçiş hızlarında ve basınç dayanımlarında azalma tespit etmiştir. Mermer tozu ilavesinin cam lifin meydana getirdiği tüm olumsuz etkileri iyileştirdiğini ifade etmiştir.

Yılmaz (2016), çalışmasında çeşitli oranlarda kuvarsit, çimento, kireç, alçıtaşı, alüminyum, cam fiber ve su kullanarak inorganik esaslı kompozit ısı yalıtım plakaları üretmiştir. Ürettiği yalıtım plakalarına basınç dayanımı ve yoğunluk deneylerini

yapmıştır. Eklediği fiber katkı malzemesi ile standart ürüne göre basınç dayanımında %12,9' kadar varan artışlar tespit etmiştir.

Üreteceğimiz yapay mermer bloklarda epoksi reçine kullanılacaktır. Kaplamalar, yapıştırıcılar ve kompozit malzemeler içerisinde epoksi reçineler, termoset polimerlerinin en önemli sınıflarından biridir. Yüksek mekanik modülüs, mükemmel kimyasal ve korozyon direnci, iyi boyutsal kararlılık ve yüksek çalışma sıcaklığı gibi birçok üstün özelliği vardır. Farklı kürleştirme metotları arasında, amin ile sertleştirilmiş epoksiler mükemmel malzeme performansı ve kürlenmeden önce işleme kolaylığı nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Kürleme ajanının kimyasal yapısına ve çapraz bağlanma derecesine bağlı olarak, son derece esnek veya yüksek mukavemet ve sertlik gibi mekanik özelliklere sahip, yapıştırıcı mukavemeti, kimyasal/ısı/elektrik direnci yüksek malzemeler elde etmek mümkündür.

Atık mermer tozlarının ortalama tanecik büyüklüğü dağılımı belirlenerek 4 farklı mikron boyutta atık mermer tozları ile epoksi reçine belli oranlarda karıştırılacaktır. Mermer tozları ve epoksi reçinenin birbiri içinde daha iyi dağılmalarını ve ara yüzey yapışmasını artırmak amacıyla izosiyanat içerikli PMDI uyumlaştırıcı eklenecektir. Çeşitli oranlarda hazırlanan epoksi reçine, mermer tozları kırılmış cam elyaf ve TENCEL lif ile ayrı oranlarda numuneler olacak şekilde karıştırılacaktır. Polimer işleme tekniklerinden döküm yöntemi kullanılacaktır. Yöntemde, farklı oranlarda hazırlanmış mermer tozu, epoksi reçine ve cam/TENCEL elyaf içeren karışımlar kalıplara dökülecektir. Kalıp içerisinde ilerleyen çapraz bağlanma ve polimerizasyon tepkimeleri sonucu kalıbın şeklini almış yapay mermer bloklar elde edilecektir. Numunelerin kalitelerini değerlendirmek ve mekanik/termal ve fiziksel özelliklerini araştırmak için çeşitli karakterizasyon yöntemleri uygulanacaktır. EN 13161 eğilme mukavemeti, EN 14146 esneklik modülü, EN 1926 basınç dayanımı gibi mekanik testler yanında EN 1936 görünür yoğunluk, açık gözeneklilik, su alma oranı gibi fiziksel

testler yapılacaktır. Kompozitlerin termal kararlılığının, bozunma sıcaklığının ve mekanizmasının belirlenmesi amacıyla termogravimetrik analiz yapılacaktır. Ayrıca morfolojik analizler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenecektir.

Sonuç olarak, mermer atıklarının katma değerinin artırılması amacıyla atıkların geri dönüşümü için ekonomik ve mekanik açıdan en optimum şartlar belirlenmeli, enerji tüketimi ile işlemlerin maliyeti düşürülmelidir. Gelecekte yapılacak araştırmalar, istenen özellikleri karşılayacak pazarlanabilir ürünlerin üretimi için seçici flokülasyon yoluyla ultra ince malzemenin kalitesini ve miktarını arttırmaya yönelik olmalıdır. Özellikle yeni, biyobozunur çöktürücüler atık ürünlerin ekonomik değerini arttırmak ve çevresel etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla test edilmelidir. Ayrıca ıslak bulamaç kek ya da tozlardan üretilen ürünlerin kütleme süreleri daha uzun sürdüğü ve daha düşük mekanik özellikleri gösterdiği için kurutma işleminden sonra üretime geçmek daha olumlu sonuçlar verecektir. Sürdürülebilir, yaratıcı teknolojiler benimsenmeli, geri dönüşüm sürecini teşvik etmek için sosyal ve politik destek sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Ahrabi, A. Z., Bilici, İ., Bilgesü, A. Y., 2012, Pet Atıkları Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretiminin Araştırılması, Journal of Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Vol 27, No 3; 467-471.

Akın, E., 2007, Mermer Tozları ve Uçucu Kül İle Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Allington, R., 2016, Quarry Design Considerations for Dimension Stone, Stonechange2016, Stone Sector and Changing Trends, Carrara.

Ateş, E., Aztekin, K., 2011, Parçacık ve Fiber Takviyeli Polimer Kompozitlerin Yıpranma ve Basma Dayanımı Özellikleri, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 26, No 2, 479-486.

Barani, K., Esmaili, H., 2016, Production of Artificial Stone Slabs Using Waste Granite and Marble Stone Sludge Samples, Journal of Mining & Environment, Vol. 7, No. 1, 135-141.

Büyüksağış, İ. S., 2009, Doğal Taş İşletme Tesislerinde Toz Atıkların Oluşumu ve Azaltma Yöntemlerinin İrdelenmesi, Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması Sempozyumu, 180-193, Diyarbakır.

Careddu, N., 2009, Recovery and reuse of marble powder contained in marble slurry waste,

Conference: Evaluation of marble wastes and decreasing environmental effects, Diyarbakır, Turkey.

Careddu, N., Marras G., Siotto G., 2014, Recovery of Sawdust Resulting from Marble Processing Plants for Future Uses in High Value-Added Products, Journal of Cleaner Production, 84, 533-539.

Careddu N., Marras G., 2015, Marble Processing for Future Uses of CaCO₃-Microfine Dust: A Study on Wearing out of Tolls and Consumable Materials in Stoneworking Factories, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 36:3, 183-191.

Chang, F.C., Lee, M.Y., Lo, S.L. and Lin, J.D., 2010, Artificial Aggregate Made from Waste Stone Sludge and Waste Silt, Journal of Environmental Management. 91, 2289-2294.

Cosi, M., 2015, The Dimension Stone Sector: New Perspectives on the Global Market and on the Reporting of İnternational Mining Standards, European Geologist 39.

Cosi M., 2016, The Necessary Sustainable Development of the Dimension Stone İndustry, Stonechange2016, Stone Sector and Changing Trends, Carrara.

Çınar, M. E., 2016, Atık Pet ve Mermer Tozunun Kompozit Malzeme Üretiminde Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Dağ, M., 2010, Epoksi Reçine/Mermer İşletmesi Atıksu Arıtım Çamuru Kompozitlerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Demircioğlu, G., 2006, Kısa Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerde Elyaf Boyutunun Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Doğanay, H., 2002, Ekonomik Coğrafya 1: Doğal Kaynaklar (4. Baskı), Erzurum: Aktif Yayınları.
- Ersoy, B., 2003, Mermer işleme Tesisi Su arıtımında Kullanılan Flokülantların Tanıtımı, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu,449-462.
- Gökçer, B., 2013, Mermer Tozu ve Cam Elyaf Katkılı Çimento Harçlarının Aşınma, Yüksek Sıcaklık ve Donma-Çözülme Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Karaca, Z., Pekin, A., Deliormanlı, A. H., 2012, Classification of Dimension Stone Wastes, Environmental Science and Pollution Research International, 19:2354-2362.
- Lee, M. Y., Ko, C. H., Chang, F. C., Lo, S. L., Lin, J. D., 2008, Artificial Stone Slab Production Using Waste Glass, Stone Fragments and Vacuum Vibratory Compaction, Cement and Concrete Composites 30 (7), 583–587.
- Neves, P. F., Silva M. C., 2011, Contribution to Mining Resources Cluster Sustainability - a Marble Cluster in Portugal, Sustainable Production and Consumption of Mineral Resources – İntegrating the EU’s Social agenda and Resource Efficiency, The İnternational Conference, Wrocław.
- Nohales, A., Solar, L., Porcar, I., Vallo, C.I., Gomez, C.M., 2006. Morphology, Flexural, and Thermal Properties of Sepiolite Modified Epoxy Resins with Different Curing Agents, European Polymer Journal 42, 3093–3101.
- Önenç, D.I., 2001, Tozlaşan Bloklar ve Umutlar, Mermer, yıl 7 (30), 66-68.
- Özata, G., 2009, Mermer ve Polietilentreftalat (PET) Atıklarının Yapı Malzemesi Olarak Geri Dönüşümü, Yüksek Lisans Tezi, A.K.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Rana, A., Kalla, P., Verma H. K., Mohnot, J. K., 2016, Recycling of Dimensional Stone Waste in Concrete: A Review, Journal of Cleaner Production, 135, 312-331.
- Sınıksaran M., 2012, Volkanik Tüf Tozları ile Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Şeker, A., 2010, Epoksi Reçine/Sepiyolit Kompozitlerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Türkiye Cumhuriyeti Ekonomi Bakanlığı Doğal Taş Sektör Raporu, 2017.

Yıldız, T., 2012, Atık Mermer Tozu ve Cam Elyaf Katkısının Birlikte Kullanımının Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Yılmaz G., 2016, İnorganik Esaslı Kompozit Isı İzolasyon Paneli Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, A.K.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

Yüçetürk, G., 2010, Göller Bölgesindeki Kayaçların Mineralojik ve Petrografik Özelliklerinin Yapay Mermer Kalitesine Etkileri, Doktora Tezi, S.D.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.