

**MERMER TOZLARI VE UÇUCU KÜL İLE POLİMER ESASLI
KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ**

Emin AKIN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2007

ANKARA

Emin AKIN tarafından hazırlanan MERMER TOZLARI VE UÇUCU KÜL İLE POLİMER ESASLI KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Metin GÜRÜ
Tez Yöneticisi

Bu çalışma jürimiz tarafından İleri Teknolojiler Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Vecihi PAMUK

Üye : Prof. Dr. Metin GÜRÜ

Üye : Prof. Dr. Nursel DİLSİZ

Üye : Prof. Dr. Süleyman TEKELİ

Üye : Doç. Dr. Tuncer ÇAYKARA

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Emin AKIN

**MERMER TOZLARI VE UÇUCU KÜL İLE POLİMER ESASLI
KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Emin AKIN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Mayıs 2007

ÖZET

Günümüzde mermer işletmelerinden açığa çıkan atık tozlar önemli derecede ekonomik kayıplara ve çevre kirliliğine yol açmaktadır. Mermer tozu, mermerin kesimi ve makine ile işlenmesi sırasında açığa çıkan kristal halde atıktır. Uçucu küller ise kömür santrallerinde yanma sırasında bacadan yayılan ve elektrofiltrelerde tutulan puzolanik yapıda hafif metal oksitlerdir. Gerçekte, bu atıkları çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanmak mümkündür.

Bu çalışmada, matris malzeme olarak polyester, takviye malzemesi olarak da mermer tozları kullanıldı. Diğer taraftan puzolanik yapıdaki uçucu kül mermer tozu yerdeğişimi esasına yönelik olarak uçucu kül ilavesinin mukavemet üzerine etkisi incelendi. Ayrıca, öğütülmüş hurda termoplastiklerin polyester ile yerdeğiştirilmesi esasına dayalı olarak malzemenin mukavemet özelliklerindeki değişim belirlendi. Polimer sertleştirici olarak metil etil keton peroksit ve kürleşmede reaksiyon hızlandırıcı olarak da kobalt naftanat kullanıldı. Elde edilen malzeme kalıplandı, kalıptan çıkarılan malzemeler önce havada, daha sonra etüvde kürleştirildi. Kompozit malzeme üretiminde sertleştirici, hızlandırıcı ve polyester miktarı ve kürleşme şartları sabit tutulmuş ve önce polyester/mermer tozu oranı parametrik olarak incelenmiştir. Polyester/mermer tozu oranı 1/4'e çıkarıldığında kompozit malzemenin üç

noktadan eğme mukavemeti ve sertliği en yüksek değere ulaşmıştır. İkinci parametrik çalışma olarak polyester/dolgu maddesi (mermer tozu+uçucu kül) oranı 0.38 olduğunda ise en yüksek üç noktadan eğme mukavemeti ve sertlik değerleri kaydedilmiştir. Üçüncü parametrik sette, mermer tozu ve uçucu kül takviyeli, hurda termoplastik ve polyester matrisli kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiş ve elde edilen malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Test sonuçları polyester yerine eklenen termoplastiğin malzemenin mekanik özelliklerini azaltıcı etki yaptığını göstermiştir. Matris içerisindeki termoplastik oranı %0 iken, üç noktadan eğme mukavemeti değeri 30 N/mm^2 iken; %17 termoplastik içeriğinde $21,7 \text{ N/mm}^2$, %50 termoplastik içeriğinde ise $16,5 \text{ N/mm}^2$ olarak tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 948.1.094

Anahtar Kelimeler :Polimer kompozit malzeme, mermer tozu, termoplastik, uçucu kül

Sayfa Adedi : 75

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Metin GÜRÜ

MANUFACTURING OF POLYMER MATRIX COMPOSITE MATERIAL COMPOSITE MATERIAL USING MARBLE DUST AND FLY ASH

(M. Sc. Thesis)

Emin AKIN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

May 2007

ABSTRACT

Nowadays, dusts released from the marble works leads to considerable economical losses and environmental pollution. Marble dust occurred during machining and cutting of marble pieces is waste at crystal form. Fly ashes are light metal oxides at pozzolanic structure which emitted from coal power plant during the combustion and held at electrofilters. In fact, it is possible to use these wastes in various industrial applications.

In this study, polyester is used as matrix material and marble dust is used as reinforcement material. On the other hand, effect of substituting fly ash instead of marble dust on the strength is examined. Besides the change of material's strength properties based on exchanging grinded waste thermoplastic by polyester is determined. Methyl ethyl ketone is used as polymer hardener and cobalt naftanat is used as reaction accelerator at curing. Obtained material is moulded, it has been cured firstly in the air and in the oven secondly. The amounts of hardener, accelerator and polyester have been fixed and the amount of polyester and marble dust examined parametrically first at composite material producing. When the amount of polyester and marble dust increased to $\frac{1}{4}$, the three point bending strength and hardness of composite material has been reached the highest value. When the polyester/filler (marble dust+fly ash) ratio is 0.38, the maximum three point bending strength and hardness values

has been recorded as the second parametric study. In the third parametric step, the production of waste thermoplastic which is reinforced with marble dust and fly ash and polyester matrix composite material is fulfilled and mechanical properties of outcome material has been examined. Test results have showed that thermoplastic which have been added instead of polyester has a decreasing effect on mechanical properties of material. It is obtained that while thermoplastic rate is %0 in matrix the three point bending strength value is 30 N/mm², while thermoplastic ratio is %17, it is 21,7 N/mm² while thermoplastic ratio is %50 it is 16,5 N/mm².

Science Code : 948.1.094
Key Words : Marble dust, thermoplastic, fly ash, polymer composite material
Page Number : 75
Adviser : Prof. Dr. Metin Gürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca kıymetli tecrübelerinden faydalandığım, değerli yardımları ve katkılarıyla beni yönlendiren sevgili hocam Prof. Dr. Metin GÜRÜ'ye, katkılarından dolayı Araştırma Görevlisi Yüksel AKYÜZ'e, manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Ayrıca, Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı'nın (2001K120590) sayılı projesi kapsamında DPT yöneticilerine ve Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi labovatuvar imkanları ile kullanılmış olup yapmış olduğum çalışmalarım süresince sağlanan olanaklardan dolayı Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesine ve Devlet Planlama Teşkilatı'na teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
RESİMLER LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	6
2.1. Kompozit Malzemelerin Tarihçesi.....	6
2.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri.....	8
2.3. Kompozit Malzeme Bileşenlerinin görevleri.....	8
2.4. Kompozit Malzemelerin Olumlu Olumsuz Yönleri.....	9
2.5. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	11
2.6. Kompozit Malzemelerin Sağladığı Avantajlar.....	14
2.7. Kompozit Malzemenin Avantajları Ve Dezavantajları.....	16
2.8. Mermer.....	18
2.9. Mermer Toz ve Parçalarının Değerlendirilmesi.....	22
2.10. Uçucu Kül.....	23

Sayfa

2.11. Polyesterler.....	26
2.11.1. Polyester reçineler.....	27
2.11.2. Polyesterlerin özelliklerine göre kullanıldıkları yerler.....	27
2.11.3. Polyester katalizörleri.....	28
2.12. Literatür Çalışmaları.....	28
3. MALZEME VE METOT.....	35
3.1. Malzeme.....	35
3.2. XRD Analizi.....	35
3.3. Metot.....	37
3.4. Bağımsız Parametreler.....	40
3.5. Karakterizasyon Deneyleri.....	40
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	45
4.1. Polyester / Mermer Tozu Oranlarının Malzemenin Mukavemet Özelliklerine Etkisi.....	45
4.2. Uçucu Kül / Mermer Tozu Oranlarının Malzemenin Mukavemet Özelliklerine Etkisi.....	48
4.3. Hurda Temoplastik Miktarının Malzemenin Mukavemet Özelliklerine Etkisi	59
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	71

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Ülkelerin ham blok mermer üretimleri.....	3
Çizelge 1.2. Dünya doğal taş ihracatında ilk 5 ülke	4
Çizelge 2.1. Mermer ocaklarının illere göre dağılımı.....	19
Çizelge 2.2. Puzolan olarak kullanılacak uçucu külün kimyasal özellikleri.....	24
Çizelge 3.1. Muğla-Yatağan uçucu külü kimyasal bileşimi	36
Çizelge 3.2. Elbistan uçucu külü kimyasal bileşimi.....	37
Çizelge 4.1. Mermer tozu değişiminin etkisini incelemek üzere numunelerin hazırlanmasında kullanılan madde miktarları.....	45
Çizelge 4.2. Uçucu kül (Elbistan) ilavesiyle değişiminin etkisini incelemek üzere numunelerin hazırlamasına kullanılan madde miktarları.....	49
Çizelge 4.3. Uçucu kül (Yatağan) ilavesiyle değişiminin etkisini incelemek üzere (2.21 - 2.22 - 2.23 - 2.24 - 2.25 - 2.26 - 2.27 kodlu) numunelerin hazırlamasına kullanılan madde miktarları.....	54
Çizelge 4.4. Hurda plastik ilavesiyle değişiminin etkisini incelemek üzere (3.1 - 3.2 - 3.3 - 3.4 - 3.5 kodlu) numunelerin hazırlamasına kullanılan madde miktarları.....	60

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Üç noktadan eğme mukavemetinin polyester g/ mermer g oranına göre değişimi.....	46
Şekil 4.2. Shore sertlik değerlerinin polyester g / mermer g oranına göre değişimi.....	47
Şekil 4.3 Üç noktadan eğme mukavemetinin uçucu kül (Elbistan) g/ mermer g oranına göre değişimi.....	50
Şekil 4.4. Shore sertlik değerlerinin uçucu kül (Elbistan) g/ mermer g oranına göre değişim grafiği	51
Şekil 4.5. Üç noktadan eğme mukavemetinin uçucu kül (Yatağan)g/ mermer g oranına göre değişim grafiği.....	55
Şekil 4.6. Shore sertlik değerlerinin uçucu kül (Yatağan) g/ mermer g oranına göre değişim grafiği.....	56
Şekil 4.7. Üç noktadan eğme mukavemetinin hurda termoplastik katkısın göre değişim grafiği.....	61
Şekil 4.8. Shore sertlik değerlerinin hurda termoplastik katkısın göre değişim grafiği.....	62

RESİMLER LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Seçilmiş birkaç mermer çeşidi	20
Resim 3.1. Kalıbın görünüşü.....	38
a) Kalıbın karşıdan görünüşü.....	38
b) Kalıbın üstten görünüşü.....	38
Resim 3.2. Mermer tozu, polyester, ucucu kül karışımının hazırlanması.....	38
Resim 3.3. Kalıplardan çıkarılan malzemelerin görünüşü.....	39
Resim 3.4. Shimadzu marka AG-I model çekme cihazının görüntüsü.....	41
Resim 3.5. Durotech marka M202 model shore sertlik cihazı.....	42
Resim 3.6. Trinoküler mikroskop.....	43
Resim 3.7. ADS donanımlı Jeol marka 6360 model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	44
Resim 4.1 Numunelerin SEM fotoğrafı (Polyester g / Mermer g oranının 0,25).....	48
Resim 4.2. Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskopu altında Kül/mermer oranı 0,11 olan malzemenin görüntüsü	52
Resim 4.3. Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskopu altında Kül/mermer oranı 0,25 olan malzemenin görüntüsü	52
Resim 4.4. Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskopu altında Kül/mermer oranı 0,66 olan malzemenin görüntüsü alınan görüntüsü.....	53
Resim 4.5. Kompozit malzemelerin SEM görüntüleri (uçucu kül/mermer tozu kütlesel oranı 1/3 ve polyester/ dolgumaddesi oranı 0.25).....	58
Resim 4.6. Kompozit malzemelerin mikrosküpik Trinoküler mikroskop görüntüleri (uçucu kül/mermer tozu kütlesel oranı 1/3 ve polyester/dolgu maddesi oranı 0.25).....	58
Resim 4.7. Matris termoplastik içeriğinin EDS analiz sonuçları (%0 termoplastik).....	62

Resim	Sayfa
Resim 4.8. Matris termoplastik içeriğinin SEM görüntüsü ve elementel haritası (%0 termoplastik).....	63
Resim 4.9. Matris termoplastik içeriğinin EDS analiz sonuçları (%17 termoplastik).....	64
Resim 4.10. Matris termoplastik içeriğinin SEM görüntüsü ve elementel haritası (%17 termoplastik).....	64

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
°C	Derece Selsius
g	Gram
mm	Milimetre
N	Newton
Cm	Santimetre
Kısaltmalar	Açıklama
FRP	Fiber takviyeli plastik
SEM	Taramalı elektron mikroskop
EDS	Enerji dağılım spektrometresi
E-cam	Düşük emisyon camı
R-cam	Güçlendirilmiş cam
S-cam	Silisli cam
EMPA	Elektron inceleme mikro çözümülemesi
ICP-OES	İndüktif kuplajlı plazma optik salınım izge bilgisi
SA	Süper akışkanlaştırıcı
MHPCC	Bileşik çimento malzeme hamuru
BFS	Yüksek fırın cürufu
PET	Polietilen tereflatinin

1. GİRİŞ

İlk çağlardan beri insanlar yapı, konut ve yaşadıkları diğer yerleri doğal taşlardan yapmaya özen göstermişlerdir. Zamanla, yaşam seviyeleri yükselen toplumların, güzel görünümlü ve dayanıklı olması nedeniyle doğal taşları tercih etmeleri, bu ürünü zenginliğin ve refahın sembolü haline getirmiştir. Gelişen endüstri ve teknolojiye paralel olarak doğal taşların kullanımının artması da bunu göstermektedir.

Anadolu'da doğal taşların, bunların içinde de özellikle mermerciliğin tarihi ilkçağa kadar uzanmaktadır. Ülkemizdeki mermer yatakları, Anadolu yarımadasını yurt edinen bütün uygarlıklar tarafından işletilmiştir. Etiler devrinin kabartma ve heykelleri, eski Yunan ve Roma devrinin anfileri, arenaları ve diğer çeşitli sanat eserleri, Selçuklular ve Osmanlı devrinin saray, hamam, kervansaray, cami ve medreseleri, minareleri, çeşmeleri, ülkemizde mermer işlemeciliğinin tarihsel gelişimini oldukça güzel sergilemektedir.

Alp-Himalaya dağları kuşağı üzerinde yer alan Türkiye toplam 5,2 milyar m³ (13,9 milyar ton) muhtemel mermer rezervine sahiptir. Dünya mermer rezervlerinin yaklaşık %40'ının ülkemizde bulunduğu tahmin edilmektedir. Dünyanın en zengin doğal taş oluşumlarının bulunduğu Türkiye, bu kaynaklara ilaveten gelişmekte olan sanayisi ve üretimde kullandığı teknoloji ile dünyanın en önemli doğal taş üreticileri arasında yer almaktadır.

Bu önemli rezervler Anadolu ve Trakya bölgesi boyunca geniş bir alana yayılmıştır. Afyon, Bilecik, Balıkesir, Denizli, Muğla, Amasya, Elazığ ve Diyarbakır rezervlerin yoğunlaştığı illerdir. Ülkemizde 80'in üzerinde değişik yapıda, 400'ün üzerinde değişik renk ve desende mermer rezervi belirlenmiştir. Sektörde 500'den fazla ocak, 900'ün üzerinde fabrika ve 5000 civarında atölye faaliyet göstermektedir.

Türkiye'nin doğal taş ve mermer üretimi son yıllarda büyük bir artış göstermiştir. Özellikle son dönemde büyük firmaların yapmış oldukları yatırımlarla birlikte entegre üretim yapan tesislerin de devreye girmesiyle işlenmiş mermer üretiminde büyük artış kaydedilmiştir. Uygulanmaya başlanan modern ocak üretim yöntemleri

ve son teknikler sayesinde, Türkiye dünya doğal taş üretiminde lider yedi büyük üretici ülkeden biri konumuna gelmiştir.

Üretimin tamamına yakın kısmı özel sektör tarafından gerçekleştirilen mermer madenciliğinde yıllık blok üretimi 2.000.000 ton civarında olup işleme tesislerinin toplam plaka üretim kapasitesi 13 milyon m² civarındadır. Dünya mermer rezervi bakımından önemli bir yeri olan Türkiye, 400'e varan renk ve doku kalitesine sahip mermer çeşitleri ile Pazar şansı çok yüksek bir ülkedir. Mermer sektöründeki altyapı ve teknoloji maden mühendislerinin sektör içinde yeterince yer alamaması ve eğitilmiş ara eleman sorunları sektörün gelişiminin gecikmesinde önemli faktörler olmuştur. Ancak son yıllarda teknolojik sorunları çözme yolunda önemli gelişmeler kaydedilmesi, ara eleman yetiştirmeye yönelik yüksek okulların devreye girmesi, işlenmiş mermer ihracatın gelişme trendini devam ettireceği ve atık miktarını azaltacağı düşünülmektedir.

Doğal taşların, yapı ve dekorasyon malzemesi olarak kullanılmaya başlanması dünya doğal taş üretiminin artmasına neden olmuştur. Özellikle son on yılda görülen artış, kazanım ve işleme teknolojisindeki gelişmelere paralellik göstermektedir. Giderek daha mükemmel hale getirilen işleme teknikleri ile taş, daha kolay ve ekonomik olarak istenen şekilde işlenmekte ve birçok yeni kullanım alanı bulmaktadır.

Doğal taştan yapılan malzemelerin mimar ve dekoratörler tarafından daha fazla tercih edilmesi dünyadaki tüketici sayısının artmasına neden olmuştur. Bunun yanı sıra piyasa fiyatlarının önemli ölçüde düşmesi, ekolojik ve estetik görünümlü malzemelere olan ilginin artması tüketimin artmasına yardımcı olan faktörlerdir. Uzmanlar gelecek yıllarda bu gelişimin süreceğini tahmin etmektedir. Günümüzde yedi önemli doğal taş üreticisi ülke, dünya üretiminin % 70'ini gerçekleştirmektedir. Mermer, tarih boyunca değişik uygarlıklar tarafından dayanıklılığı ve estetik görünümü nedeni ile özellikle anıtlarda, görkemli yapı malzemesi olarak kullanılmış olup; günümüzde genellikle zemin döşeme (% 36), iç (% 14) ve dış cephe kaplama (% 10) malzemesi olarak inşaat sektöründe, mezarlıkta (% 11) ve süs eşyası (% 8) yapımında kullanılmaktadır. Çizelge 1.1.'de Ülkelerin ham blok mermer üretimleri görülmektedir.

Çizelge 1.1. Ülkelerin ham blok mermer üretimleri

Ülkeler	Üretim Miktarları (Ton)*
1 – Çin	11.000.000
2 – İtalya	8.700.000
3 – İspanya	4.500.000
4 – Hindistan	4.500.000
5 – Brezilya	2.000.000
6 – Kore	2.000.000
7 - TÜRKİYE	2.000.000

Dünyadaki mermer rezervlerinin % 40'ının ülkemizde olduğu tahmin edilmektedir. Dünya doğal taş ihracatında miktar olarak başı çeken ilk beş ülke Çin, İtalya, Hindistan, İspanya ve Türkiye olup, değer olarak en fazla payı alan ülkeler İtalya ve İspanya'dır. Çizelge 1.2.'de Dünya doğal taş ihracatında ilk 5 ülke görülmektedir.

Çizelge 1.2. Dünya doğal taş ihracatında ilk 5 ülke (2002)

Sıra	Ülke	Toplam (Ton)
1	Çin	5.700.000
2	İtalya	3.191.000
3	Hindistan	2.431.000
4	İspanya	1.843.000
5	Türkiye	1.469.000

Türkiye'de doğal taş üretimi, 1980'lerin ikinci yarısından itibaren oldukça hızlı sayılabilecek bir artış eğilimi göstermektedir. Uygulamaya konulan modern ocak üretim yöntemleri ve son teknikler sayesinde Türkiye dünya doğal taş üretiminde lider yedi büyük üreticiden biri konumuna gelmiş ve 1986 yılında 600 bin ton olan doğal taş üretimi, 2003 yılında 6 milyon tona çıkmıştır. Özellikle son dönemlerde büyük firmaların yapmış oldukları yatırımla birlikte entegre üretim yapan tesislerin de devreye girmesiyle işlenmiş mermer üretiminde büyük artış kaydedilmiştir. Bu artış her geçen yıl sürmektedir.

Dünya doğal taş üretimi yılda ortalama %8 artarken, ülkemiz doğal taş sektöründeki yıllık büyüme son beş yılda %35'in üzerine çıkmıştır. Ancak sahip olduğu büyük potansiyel göz önüne alındığında, Türkiye'nin bu sektörde olması gerektiği yerin hala çok gerisinde olduğu söylenebilir.

Dünyada en büyük mermer işletmecisi ülke olmamıza rağmen, var olan mermerlerin çıkarılışı ve işlenişinde önemli ölçüde kayıplar meydana gelmektedir. Kayıpların olmasında işletmecilerin konuda yeterli bilgiye sahip olmaması, kalifiye eleman yetersizliği, gelişen teknolojiyi yakından takip edememe ve bunların sonucunda

ocaklarda patlayıcı madde ve kompresör gibi ilkel metotların kullanılması önemli rol oynamaktadır. Söz konusu mermer kaybı çoğu kez %50'ye kadar çıkmaktadır.

Kayıp mermer tozları sadece ekonomiye zarar vermekle kalmayıp, çevre güzelliğini de bozucu yönde etki yapmaktadır. Diğer yandan, Türkiye'deki termik santrallerde kömür ve linyit tüketimi sonucu çok miktarda uçucu kül ortaya çıkmaktadır. Çoğu ülkede açığa çıkan uçucu kül çeşitli alanlarda değerlendirilirken, ülkemiz ise bu konuda yetersiz kalmaktadır. Bu sebepten dolayı atık uçucu küller de hem ekonomik kayıplara hem de çevre sorunlarına neden olmaktadır.

Gerek mermer tozlarının gerekse uçucu küllerin değerlendirilmesi ile ülke ekonomisine katkı sağlanmakla birlikte, çevreyi kirleten unsurların azaltılması da oldukça önemlidir.

Bu kapsamda, yapılan çalışmada uçucu kül ve mermer tozları polyester reçine ve katkı maddeleri kullanılarak bir araya getirilmiş ve kompozit malzeme elde edilme yoluna gidilmiştir.

2. GENEL BİLGİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Kompozit Malzemelerin Tarihçesi

Yaşamımızın büyük bir bölümünde farkında olmadan bir çok kompozit malzemeyi kullanmaktayız. Kullandığımız otoyollar, evlerimizin inşasında kullanılan çimento ve demirin beraber kullanımıyla yapılmış betonarme yapılar ve daha verilebilecek birçok örnek kompozit malzemelerden oluşturulmuştur.

Bilinen ilk kompozit malzeme çamur kil ve samanı karıştırılarak yapılan kerpiçtir. Bu malzemede saman, kil ve çamur karışımından oluşturulan tuğlaların dayanımını büyük ölçüde artıran bir etki göstermiştir. Kontrplak ta kompozit malzemelerin ilk örneklerindendir. Dilimlenmiş tahta parçalarının güçlü bir yapıştırıcı ile birleştirilmesinden oluşan bu malzeme yaygın olarak kullanılmaktadır.

Günümüzde kompozit malzeme denildiğinde yüksek mühendislik bilgileriyle birleştirilmiş reçineler, takviye polimerleri, metal ve seramiklerden oluşan kompozit malzemeler akla gelmektedir. Modern otomobillere baktığımızda kullanılan parçaların büyük bir bölümünün kompozit malzemelerden üretildiği görülmektedir. Özellikle yüksek teknolojiye sahip otomobillerinde yaygın olarak FRP kullanılmaktadır.

İlk olarak 1930'da üretilen Fiberglas filamentlerin (ince tel) ticareti olarak üretilmesi 1935 yılında başlamıştır. Bu FRP üretilmesine ön ayak olmuştur. Fiber takviyeli plastiklerin uçak yapımında kullanılması 1942 yılında başlamış olup, daha sonra fiber takviyeli plastiklerin botlarda, arabalarda ve kamyon kasalarında yaygın olarak kullanılması 1950'lere kadar uzanmıştır.

1950'ler de reçinelerin geliştirilmesi ile birlikte kullanılan fiberlerde geliştirilmiş olup, fiber olarak E-cam, R-cam, S-cam ve özel asit ve alkalilere dayanıklı camlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemeler tekstilde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

1960'ların başlarında kullanılmaya başlanan bor fiberler modern kompozitlerin üretilmesine öncülük yapmışlardır. Çok dayanıklı olan bu fiberler ve ayrıca karbon

fiberler uzay gemileri ve uçaklarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Bor fiberlerin kullanımının yaygınlaşması; pahalı olmaları, şekillendirmede kullanılan elmas malzemelerin pahalı olması nedeniyle istenilen düzeyde gerçekleşmemiştir. Karbon ve aramid fiberler 1960'ların sonlarına doğru bor fiberlerin yerini almıştır.

Karbon fiber yaklaşık yüz yıl önce ilk olarak elektrik ampullerinde tel olarak kullanılmıştır. Bu eski fiberler kompozit malzemede takviye elemanı olarak kullanmak için zayıf ve kullanışsızdırlar. Günümüzdeki karbon fiberlere bakıldığında sertlik ve dayanım özellikleri bakımından çok gelişmişlerdir.

1960'ların sonunda güçlü aramidlerin, camın ve karbon fiberlerin kullanılmasına başlanmıştır. Bu gelişmeler reçinelerin kullanımı ile paralel olarak ilerlemiştir. 1969'da fenolikler ve 1937'de üretilen epoksiler bunlara örnektir. Günümüzde fiberle güçlendirilmiş kompozit malzeme üretiminde kullanılan birçok gelişmiş termoset reçine mevcuttur. Bunlara poliaramidler, vinil esterler, silikonlar, poliüretanlar ve üretan akrilatlar örnek verilebilir. Termoplastiklerin üretimi termosetlerden daha önce olmuştur.

Poliaramid fiberler ilk olarak 1965 yılında geliştirilmiştir. Karbon fiberlere göre daha zayıf olmasına rağmen cam fiberlerden daha üstün olması, karbon fiberlerden hafif ve ucuz olması nedenleriyle basınçlı kap yapımında, uzay uygulamalarında, spor ve deniz ekipmanlarında geniş kullanım alanları bulmuştur.

Metal ve alaşımlarda bulunan seramik partiküller, alaşımın mukavemet ve sünekliğini azaltan ve arzu edilmeyen kapanımlar olarak kabul edilmekteydi. Daha sonra nikel kaplanmış grafit tozları sıvı alaşım içerisine argon gazı ile birlikte takviye edilmiş ve elde edilen bu karışım, partikül takviyeli metal-seramik malzemelerin üretiminde bir başlangıç oluşmuştur. 1968 yılında Indian Ins. Technology 'de yapılan çalışmalarda sıvı alüminyum alaşımına, sıvı alaşımın mekanik olarak karıştırılmasıyla alümina partikülleri takviye edilmiş ve bu çalışmalar karıştırma döküm çalışmalarına öncülük etmiştir. Daha ileriki yıllarda yapılan çalışmalarda yeni teknikler ve değişik kompozit malzeme üretim metotları geliştirilmiştir [1].

2.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

İki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak yada ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere “*Kompozit Malzeme*” denir. Başka bir deyişle birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir.

Bir kompozit malzeme;

- Farklı kimyasal yapıya sahip, birbirleri içinde çözünmemiş, bileşenlerden meydana gelmiş,
- İki veya daha fazla kristal, molekül veya faz yapılarının bir arada bulunduğu,
- İçerdiği malzemelerin üç boyutlu olarak birleşmesinden oluşmuş,
- Kendisini meydana getiren bileşenlerin tek başına sahip olamayacakları özelliklerden daha iyi özelliklere sahip bir yapıdadır.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında bir tanımlama yapmak gerekirse’ Bir kompozit malzeme, temel olarak birbiri içerisinde çözünmeyen ve birbirinden farklı şekil ve/veya malzeme kompozisyonuna sahip iki veya daha fazla bileşenin karışımından veya birleşmesinden oluşan bir malzeme sistemidir’ tanımı, bütün kompozit malzemeleri kapsayacak bir tanım oluşturacaktır.

2.3. Kompozit Malzeme Bileşenlerinin Görevleri

Bir kompozit malzeme takviye malzemesi ve bu takviye malzemesinin etrafını sararak kuvvetli bir şekilde bağ oluşturan matris malzemesinden oluşur.

Matrisin görevi

Matrisin asıl görevi içindeki takviye elemanlarını bir arada tutarak onların malzeme üzerine gelen gerilmelere en üst düzeyde karşı koyabilmesi için düzenlenen

yerleşimlerini muhafaza etmektir. Kompozit malzemeye gelen tüm yükler matris yoluyla takviye elemanına aktarılır.

Matris aynı zamanda kullanılan takviye malzemelerini birbirinden izole ederek, kompozit malzemeye daha fazla destek verebilmelerini sağlar. Genelde katı malzeme olan takviye malzemelerin her birinin matris içerisinde ayrı bir girdi gibi davranmaları toplamda oluşturdukları destekten daha fazla destek üretmelerini sağlar. Böylece malzeme üzerindeki çatlaklar birbiri üzerinde temas eden takviye elemanları üzerinden ilerleyemez.

Matrisin, içinde bulunan takviye malzemesini aşınmalara karşı, çevresel etkilere karşı ve korozyon etkilere karşı koruması gerekmektedir.

Kırılmış takviye elemanları, içinde oluşan çatlakların durmasını veya yavaşlamasını sağlayan bir etki göstermesi gerekmektedir.

Takviye elemanı ile etkin bir bağ gücü oluşturarak kompozit malzemenin mukavemetini artıran yönde etki göstermelidir.

Takviye malzemesinin görevi

Bir kompozit malzemede takviye malzemesinin en önemli görevi, matris içerisinde tekdüze olarak dağılıp, matrisin maruz kaldığı gerilmeleri destekleyerek kompozit malzemenin mukavemetini arttırmaktır.

Bir takviye elemanı matris ile reaksiyon verip istenmeyen ürünler oluşturmamalıdır. Takviye malzemesi ve matrisin termal genleşmeleri birbirinden farklı olmamalıdır. Maruz kaldıkları ısı değişiminde birbirlerini zayıflatıcı etki göstermemelidirler [1].

2.4. Kompozit Malzemelerin Olumlu ve Olumsuz Yönleri

Kompozit malzemeler, bileşenlerinin içerdiği özgün özellikleri bir malzemede toplayarak önemli bir üstünlük meydana getirmektedirler. Günümüzde kompozit malzemeler, kullanıldıkları ortamdaki zor çalışma şartlarına içerdikleri üstün

özelliklerle uyum sağlayabilmesi amacıyla üretilmektedir. Bir malzemeden beklenen üstün özellikler genel olarak aşağıdaki gibidir.

- Yüksek dayanım,
- Yüksek rijitlik,
- Yüksek yorulma dayanımı,
- Mükemmel aşınma direnci,
- Yüksek sıcaklık kapasitesi,
- Yüksek korozyon direnci,
- Yüksek ısı iletkenliği,
- Şekillendirilebilirlik,
- Düşük yoğunluk, çekicilik ve estetik görünüm.

Uygun matris/takviye elemanı çifti, üretim tekniği, bileşenlerin mukavemet özellikleri ve diğer faktörler göz önüne alınarak üretim yapılırsa bir kompozit malzemede yukarıdaki belirtilen özelliklerin tümünü bir arada elde etmek mümkündür.

Uygun matris/takviye elemanı seçiminin, sistemin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi büyüktür. Bir kompozit malzeme içerisinde matrisler tarafından yükün takviye elemanına iletilmesi için matris ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının da kuvvetli olması gerekmektedir. Ara yüzey bağının kuvvetli olması ise çiftlerin uyumuna ve matrisin ıslatabilirlik özelliğine bağlıdır. Bunun yanında üretim tekniği seçimi dışında, takviye elemanlarının matris içerisinde homojen dağılımı da matris alaşımı ve takviye elemanının çiftlerinin uygun seçimine bağlıdır. Kompozitler karma malzeme olduklarından bu şartı sağlamak ve elde etmek için uygun matris/takviye elemanı çifti seçilmelidir.

Yukarıda belirtilen malzemelerden beklenen üstün özellikleri sağlayabilen kompozitlerin bu özelliklere ek olarak klasik malzemelere göre belirgin olumlu yönleri aşağıdaki gibidir [2].

- Yüksek dayanımın ağırlığa oranındaki azalma,
- Amaçlanan işe uygun malzeme tasarımının gerçekleştirilebilmesi,
- Korozyona dayanım ile uzun ömür,
- Üretiminin ucuzluğu,
- Termal veya elektrik iletkenliğinde artış.

Yukarıda belirtilen üstün özelliklerinin yanında bazı kompozit malzemelerin olumsuz yönleri de mevcuttur. Bunlar aşağıdaki şekildedir;

- Üretim güçlüğü,
- Pahalı olması,
- İşlenme problemi, işlenme maliyetinin yüksek oluşu ve gerekli yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesinin güçlüğü,
- Diğer malzemeler gibi geri dönüşümünün olmayışı,
- Kırılma uzamasının az oluşu

2.5. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemeler barındırdıkları özelliklere, içerdikleri yapılara göre pek çok sınıflandırma yöntemine tabi olabilirler. Yapılabilecek en genel sınıflandırma aşağıdaki gibidir [2].

- Polimer matrisli kompozit malzemeler
- Seramik matrisli kompozit malzemeler

- Metal matrisli kompozit malzemeler

Polimer matrisli kompozit malzemeler: Çoğunlukla elyaf formunda sert, dayanımlı malzemelerle takviye edilerek oluşturulur. En yüksek mukavemet artışı sürekli elyaf kullanımı ile sağlanmakta ve üretilen kompozit üstün özelliklere sahip olmaktadır. Elyaf miktarı belirli bir değere arttıkça kompozit malzemenin mukavemeti de artmaktadır.

Kompozitler içinde en fazla geliştirilmiş sınıftır. Çok büyük veya kompleks yapıdaki şekillerde üretilebilmektedirler. Günümüzde kullanılan en tipik örnek, ‘fiberglas’ olarak bilinen polyester esaslı reçinelerin cam elyafla takviyeli olarak üretildiği malzemelerdir. Yüksek mukavemet ve korozyon direncine sahiptirler. Bu gruptaki kompozitleri oluşturan elemanlar aşağıdaki gibidir:

Matris: Termoset veya termoplastikler polimer malzeme olarak sürekli fazı oluşturur. Termoset grubunda poliesterler, vinil ester/bisfenol, epoksi reçine ve fenolik reçineler kullanılır. Termoplastik grubunda ise poliamid, polipropilen en yaygın kullanılanlardır. Bunun yanı sıra hibrid formda polietilen ve polibütilen tereftalat gibi bileşikler matris olarak kullanılır.

Takviye: Aramid ve polietilen kullanılan organik fiberler, karbon, grafit, cam, bor, alümina, silisyum karbür ise kullanılan inorganik fiberler arasındadır. Bu malzemeler matrisi yaklaşık % 60 hacim oranında destekleyici olarak önemli işlevi olan malzemelerdir.

Katkılar: Dolgular, kimyasallar ve diğer katkılar; özelliklerin geliştirilmesi amacıyla kullanılırlar.

Bu gruptaki kompozitler yüksek mukavemet, elektriksel iletkenlik, korozyon direnci, kolay işlenmesi gibi özelliklerden dolayı uçak-uzay, savunma, yapı inşaat ürünleri imalatında, elektrik-elektronik, denizcilik ve otomotiv sektörlerinde kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır.

Seramik fiberlerin yüksek oksidasyon direncine sahip olmaları nedeniyle yüksek sıcaklık kullanımlarında metal ve karbon fiberlerden daha üstündür. Seramik bazlı

kompozit malzemeler nükleer uygulamalarda, gaz türbinlerinde, uzay-havacılık sektöründe kullanılırlar.

Metal matrisli kompozit malzemeler: Bu gruptaki kompozitler alüminyum, bakır, magnezyum, titanyum gibi hafif metal alaşımların işleviyle, karbon, bor ve diğer bazı metallerin elyaf, parçacık, plakacık, kıl-kristal yapısında takviye fazını oluşturmamasından meydana gelir. Bu gruptaki kompozitleri oluşturan elemanlar aşağıdaki gibidir [3].

Matris: Alimünyum, magnezyum, titantum, bakır

İntermetalik kompozit malzemeler: Yüksek performanslı gaz türbinlerinde kullanılmaktadır. Düşük yoğunluklu intermetalik bileşiklerin kullanımıyla üretilmektedir. Ti_3Al+Nb kompozit malzemesi örnek olarak verilebilir.

Metal matrisli kompozit malzemeler takviye edildikleri malzemelere göre daha üstün mukavemet, aşınma, korozyon, sertlik gibi özellikler kazandıklarından dolayı nükleer güç ekipmanlarında, gaz türbinlerinde, uzay, havacılık ve otomotiv sektörlerinde kullanılır.

Karbon-karbon kompozit malzemeler: Karbon fiber takviye elemanı ve karbon matrinden oluşan bir kompozit türüdür. Üretimi polimer matrisli kompozitlere benzer. Fakat , organik yapıdaki matris karbona dönüşene kadar ısıtılarak elde edilir. Karbon – karbon yapısı çok yüksek sıcaklıklara ve termal şoklara son derece dayanıklıdır. $1371^{\circ}C$ gibi yüksek sıcaklıktaki mukavemet/yoğunluk oranı çok yüksektir.

Gelişmekte olan en yeni kompozit türü olan melez kompozitler bir kompozitin başka bir madde ile melezleştirilmesi veya birden fazla takviye elemanı kullanılması yoluyla üretilmektedir.

Melez kompozitler 5 alt kategoride incelenebilir. Bunlar, melez kompozitler, seçilmiş takviyeliler, termal yönetilenler, akıllı kaplama ve yapılar, ultra hafif malzemelerdir.Melez kompozitlere örnek olarak takviyeli bir polimer kompozit maddenin metal ile birleştirilmesi verilebilir. ARALL bu şekilde yapılandırılmış bir malzemedir. Ses hızından hızlı uçan uçakların kanatlarında kullanılmıştır.

Seçilmiş takviye malzemeler, ilavesiyle özel bir alana özel amaçla bir takviye malzemesinin bir yüzeye ilavesiyle üretilir. Titanyum takviyeli bir metal matrisli kompozit malzemenin titanyumdan oluşan bir yüzeye tatbik edilmesi örnek olarak verilebilir. Genellikle uzay teknolojilerinde kullanılan bu metotta, ihtiyaç duyulan yapının sadece gerekli yerlerde kullanılarak fazladan yatırım yapılmasını engellemek üzere amaçlanmıştır.

Termal yöntemler ise yüksek sıcaklık ortamlarında sıcaklığın soğuk bölümlere transferini sağlayarak bozulmayı önleyen bir yapıya sahiptirler. Örnek olarak grafit fiberli oksijen içermeyen yüksek iletim kabiliyetine sahip bakırın fenolik bir reçine içinde birleştirilmesiyle oluşturulan kompozit verilebilir. Uçaklarda yolcuları oluşabilecek kazalarda korumak amacıyla kullanılır.

Akıllı kaplama ve yapılar, amaca uygun sensörlerin, araçların ve fiber optik tellerin bir kompozit malzeme içine yerleştirilmesi ile elde edilen melezlerdir. Malzemenin yapısını kontrol etmek, insanların sağlıklarını kontrol etmek, akıllı füzelerde hedefi takip etmek gibi farklı amaçlarla kullanılmaktadırlar.

Ultrahafif malzemeler ise sıvı kristal düzenli polimerlerin kullanılmasıyla elde edilmekte ve yüksek mukavemet özelliği bulunmaktadır. Uzay ve savunma teknolojilerinde kullanılmak amacıyla üretilmişlerdir.

2.6. Kompozit Malzemelerin Sağladığı Avantajlar

1. *Yüksek mukavemet:* Kompozitler yüksek mukavemet değerleri sağlayan malzemeler arasında en etkin olanlardan birisidir.
2. *Hafiflik:* Kompozitler birim alan ağırlığında hem takviyesiz plastiklere, hem de metallere göre daha yüksek mukavemet değerleri sunmaktadır.
3. *Tasarım esnekliği:* Kompozitler bir tasarımcının aklına gelebilecek her türlü karmaşık, basit, geniş, küçük, yapısal, estetik, dekoratif ya da fonksiyonel amaçlı olarak tasarlanabilir.

4. *Boyut kararlılığı:* Çeşitli mekanik, çevresel baskılar altında boyutlarını muhafaza edebilmeleridir. Örnek olarak termoset kompozit ürünler şekillerini ve fonksiyonel yapılarını korumaktadırlar.

5. *Yüksek dielektrik direnimi:* Kompozitlerin göze çarpan elektrik yalıtım özellikleri, birçok bileşenin üretimi konusunda açık bir tercih nedenidir.

6. *Korozyon dayanımı:* Kompozitlerin antikorrozif özelliği, diğer üretim malzemelerinden üstün olan niteliklerinden biridir.

7. *Kalıplama kolaylığı:* Kompozit ürünler, çelik türündeki geleneksel malzemelerde karşılaşılan birçok parçanın birleştirilmesi ve sonradan monte edilmesi işlemini tek parçada kalıplama olanağı ile ortadan kaldırmaktadır.

8. *Yüzey uygulamaları:* Kompozit ürünlerde kullanılan polyester reçine, özel pigment katkıları ile renklendirilmek suretiyle, amaca uygun kendinden renkli olarakta üretilmektedir.

9. *Şeffaflık özelliği:* Kompozitler, cam kadar ışık geçirgen olabilir. Tam şeffaf olması durumunda ışığı yayması sayesinde, yayılan ışığın önem kazandığı seralarda ve güneş kollektörü yapımında önemli avantajlar sağlar.

10. *Beton yüzeylere uygulama imkanı:* Beton yüzeylere, kompozitler mükemmel yapışır. Özellikle, betonun gözenekli olması nedeniyle, kompoziti oluşturan ana malzemelerden polyester reçinenin beton gözeneklerinden sızması ve beton kütle içinde sertleşmesinden dolayı mükemmel bir yapışma sağlanır.

11. *Ahşap yüzeylere uygulama imkanı:* Kompozitler ahşap yüzeylere yapışma özelliğine sahiptir. Ancak ahşabın kuru olması ve stiren ihtiva eden polyester reçine ile iyi bir şekilde emdirilmesi gerekmektedir.

12. *Demir yüzeylere uygulama imkanı:* Demir yüzeydeki pas ve yağ kalıntıları temizlendikten sonra kompozitlerle kaplanabilir. Bu sayede demir ve çelik yüzeyler, kompozitlerle kaplanarak korozyon etkilerinden korunmaktadır.

13. Yanmazlık özelliği: Kompozitlerin alev dayanımı, kullanılan polyesterin özelliğine bağlıdır. Özellikle Halojenürlerin, borun ve bazı metallerin kullanımı alev dayanıklılığını artırmaktadır. Alev dayanım özelliğinin arandığı yerlerde “Alev dayanımlı” polyester kullanılmalıdır.

14. Yüksek sıcaklık dayanımı: Kompozit ürünler, termoset plastikler grubundan polyester reçineler ile yapıldığında için yumuşamaz ve şekil değiştirmez. Yüksek sıcaklık dayanıklılığında kullanılan polyester reçinenin cinsine bağlıdır.

15. Kompozitler içine farklı malzemeler gömülebilir: Kompozitler çine demir, ahşap, halat, tel, mukavva, poliüretan sert köpük gibi malzemeler gömülerek mekanik özellikleri farklılaştırılabilir.

16. Tamir edilebilirlik özelliği: Tamir izlerinin görünmemesi için, onarım işleminin bir kalıp üzerinde yapılması, ya da onarımdan sonra zımpara veya boya yapılması gerekir.

17. Kompozitler kesilip delinebilir: Kompozitler, tahta gibi kolayca kesilir, delinir, zımparalanır. Bu amaçla kullanılan aletlerin sert çelik veya elmas uçlu olması halinde daha iyi sonuç alınmaktadır.

2.7 Kompozit Malzemerlerin Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları

1. Farklı mekanik özellikler elde etmek için farklı katmanlardan ve farklı bileşimlerle kompozit malzeme imal edilebilir.

2. Kompozit malzemeler kimyasallara, korozyona ve hava şartlarına dayanıklılık gösterir.

3. Karmaşık parçaların tek olarak üretilebilmesinden dolayı parça sayısının azalmasını sağlarlar. Böylece ara birleştirme detay ve parçalarının azalmasıyla üretim süresi kısalmaktadır.

4. Yüksek dayanıklılık/ yoğunluk oranı

Dezavantajları

- 1.Genel olarak pahalı olması en büyük dezavantajdır.
2. Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesime dayanıklılık özelliği bulunmaktadır.
3. Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaştırılmış bir kalite yoktur.
4. Kompozitler genelde kırılgan (gevrek) malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler, onarılmaları yeni problemler yaratabilir.
5. Malzemelerin sınırlı raf ömürleri vardır. Bazı tür kompozitlerin düşük sıcaklıklarda saklanmaları gerekmektedir.
6. Sıcak kurutma gerekmektedir.
7. Kompozitler onarılmadan önce çok iyi olarak temizlenmeli ve kurutulmalıdır. Bazı durumlarda bu oldukça güçtür.
8. Bazı kurutma teknikleri uzun zaman alabilmektedir

Günümüzde en çok kullanılan kompozitlerden biri betondur. Çimento ve kumdan meydana gelen malzeme matris çelik çubuklar ile desteklenir. Bir diğer tanınmış kompozit ise kepiçtir. Çamur ve samanın karıştırılması ile oluşturulan bu malzeme oldukça eskiden beri bilinen belki de insanlık tarihinin en eski yapı malzemesidir ve halen Türkiye'de kırsal kesimde kullanılır. Bazı ülkelerde, (Örn;Yemen'de) bu yapı malzemesinden çok katlı yüksek yapılar inşa edilir. Yakın dönemde yaygınlaşmış ve sıkça kullanılan bir diğer polimer matrisli kompozit ise anorganik ve organik elyafların (elyaf olarak: fiberglas, karbon, aramid, polietilen, polipropilen vs.) kullanıldığı fiberglas bileşik, yani kompozit malzemelerdir.

Kompozit malzeme teknolojisi bugün hızla gelişmektedir ve hemen her gün piyasaya yeni ürünler sunulmaktadır. Artan talep ve üretim doğrultusunda maliyeti düşen

kompozitler, klasik endüstriyel malzemelere karşı sağladığı pek çok fiziksel ve keza kimyasal avantajlar sayesinde pek çok branşta ve bilhassa hafif yapıların ve konstrüksiyonların temel malzemesi olma yolunda, geleceğin malzemesi olmaya adaydırlar. Kristal yapıda olması sebebiyle polimer kompozit malzemelerde dolgu maddesi olarak mermerlerin kullanması yaygındır.

2.8. Mermer

Mermerler kalker (CaCO_3) ve dolomitik kalkerlerin ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ısı ve basınç altında metamorfizmaya uğrayarak, tekrar kristalleşmesi sonucunda yeni bir yapı kazanmalarıyla oluşan taşlardır.

Endüstride ise endüstriyel alanda kesilip cilalanabilen her türlü kayaç mermer olarak tanımlanır.

Petrografik olarak masif, kabaca tekdüze irilikte (geçirdiği metamor fizma çeşidine göre) kalsit kristallerinin arasında boşluk bırakmaksızın oluşan bir mozayiktir

Mermer kalker olarak anılan kireç taşının metamorfizma geçirmesiyle oluşmuş, oldukça sert ve katılaşmaya nispeten elverişli bir kayaçtır. Bu genel metamorfizma, oldukça derinlerde şiddetli basınç ve sıcaklığın etkisiyle olmaktadır. Bu nedenle bunlara aynı zamanda “kristalize kalker” de denilmektedir. Bundan başka iki cins mermer daha vardır, biri tektonik basınçlar nedeniyle oluşan “breş mermeri” dir. Bu mermerlerde sertleşmede esas rolü, parçalanmış mermer ve kalkerlerin aralarına giren ve çeşitli renge sahip madensel tuzları içeren tabii çimento oynamaktadır. Bu tip mermerlere “milonit” veya “milonitli mermer” adı verilir, bunlar tektonik breşlerdir.

Diğeri ise, batolitik kütlelerin kenar kısımlarının temas metamorfizması nedeniyle oluşur. Kalker, batolitin değmesi sonucu meydana gelen yüksek sıcaklığın etkisiyle mermere dönüşmektedir. Ancak çok dar bir saha söz konusu olduğundan ve mineraller arasında boşluklar bulunabileceğinden, bu tip mermerler işletmeye elverişli değildir. Mermerin esasını oluşturan kalker kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Çizelge 2.1’de Mermer ocaklarının illere göre dağılımı görülmektedir.

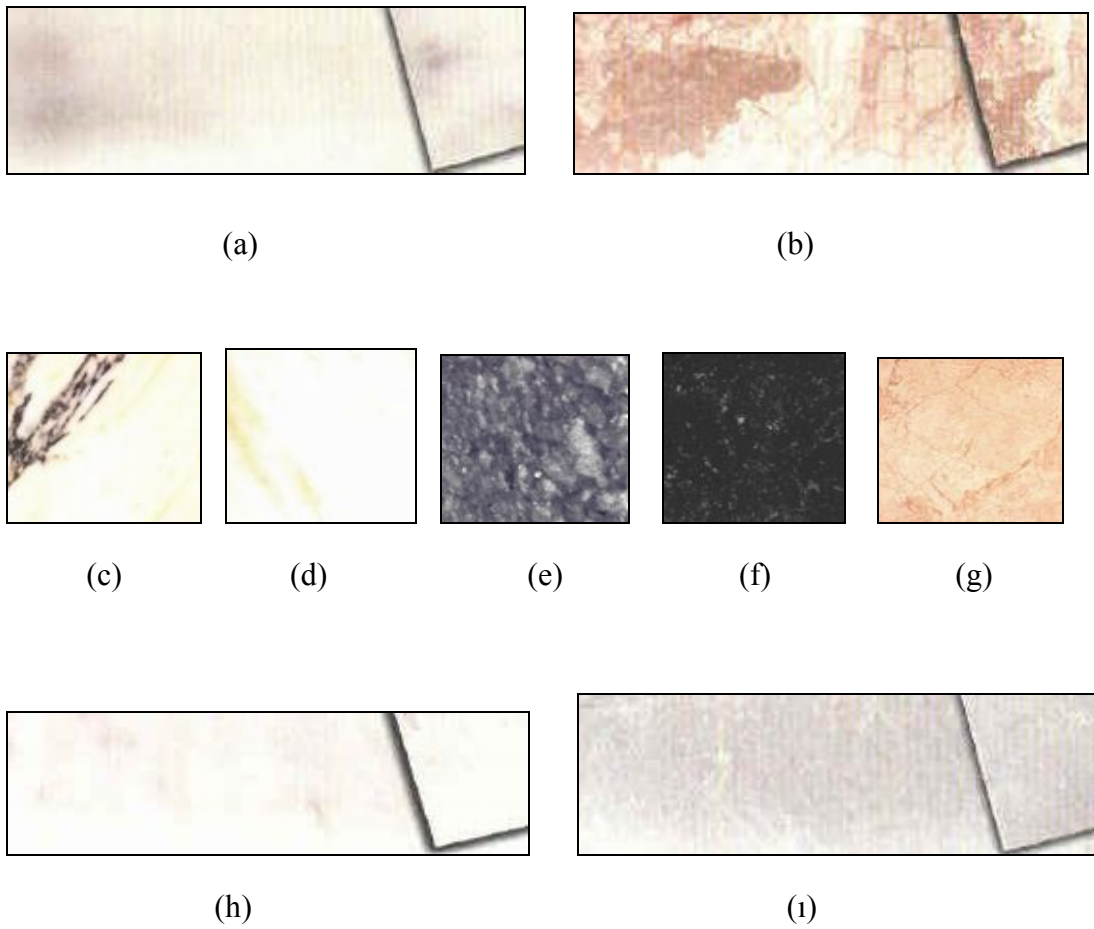
Çizelge 2.1. Mermer ocaklarının illere göre dağılımı

İller Göre Mermer Ocakları Oranı (%)	
İller	%
Balıkesir	27,00
Afyon	23,60
Bilecik	11,14
Denizli	7,58
Bursa	6,92
Muğla	6,40
Eskişehir	4,03
Uşak	2,37
Kırklareli	1,90
Kırşehir	1,18

Çizelge 2.1.'den de anlaşıldığı gibi ülkemizde en fazla mermer ocağı Balıkesir (%27,00) ilinde bulunmaktadır. Bunu %23,60 ile Afyon ve %11,14 ile Bilecik illeri izlemektedir. Türkiye dünya mermer üretiminde 7. ihracatta ise 8. sırada yer almaktadır. Ülkemizde önemli potansiyele sahip olan bölgeler Marmara, Batı Anadolu, GüneyAnadolu ve Orta ve Kuzey Anadolu Bölgeleridir. Özellikle İzmir, Uşak, Afyon, Muğla, Kırklareli, Balıkesir, Bursa, Kırşehir, Çankırı, Çorum, Kastamonu, Niğde, Kayseri, Artvin, Bitlis, Erzincan, Sivas, Tokat, Denizli, Kütahya,

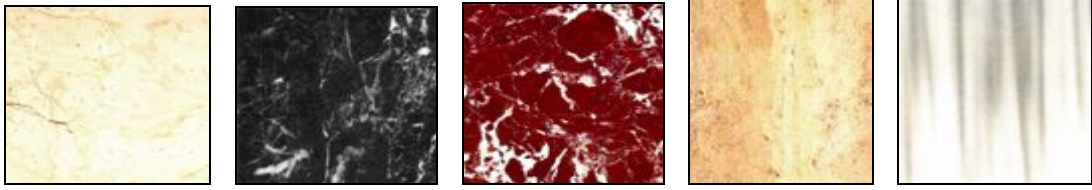
Eskişehir, Diyarbakır, Elazığ, Çanakkale, Konya, Bilecik ve Manisa illerinde zengin yataklar bulunmaktadır. Türkiye'nin tanınmış mermer çeşitleri Resim 2.1'de seçilmiş birkaç verilmektedir.

Ülkemizde değişik renk ve desenlerde, değişik kalitede geniş mermer rezervleri bulunmaktadır.



Resim 2.1 Seçilmiş birkaç mermer çeşidi

- | | | |
|-----------------------|----------------------|----------------------|
| a) Afyon Beyazı | b) Akhisar Beji | c) Afyon Beyazı 2 |
| d) Afyon Beyazı | e) Afyon Kaplanpostu | f) Akşehir Siyahı |
| g) Bilecik Gülkurusu | h) Milas Beyazı | ı) Milas Köpüklü |
| i) Gölpazarı Beji | j) Karacabey Siyahı | k) Elazığ Vişne |
| l) Traverten 1 Beyazı | m) Marmara | n) Ege Kahve |
| o) Traverten 2 | ö) Milas Limon | p) Kırmızı Traverten |
| r) Çeşme Beji | s) Bandırma Beji | |



(i)

(j)

(k)

(l)

(m)



(n)



(o)



(ö)



(p)



(r)



(s)

Resim 2.1 (Devam) Seçilmiş birkaç mermer çeşidi

a) Afyon Beyazı

b) Akhisar Beji

c) Afyon Beyazı 2

d) Afyon Beyazı

e) Afyon Kaplanpostu

f) Akşehir Siyahı

g) Bilecik Gülkurusu

h) Milas Beyazı

ı) Milas Köpüklü

i) Gölpazarı Beji

j) Karacabey Siyahı

k) Elazığ Vişne

l) Traverten 1 Beyazı

m) Marmara

n) Ege Kahve

o) Traverten 2

ö) Milas Limon

p) Kırmızı Traverten

r) Çeşme Beji

s) Bandırma Beji

2.9. Mermer Toz ve Parçalarının Değerlendirilmesi

Mermer işletmelerinde fire oranı ocak işletmeciliğinde % 50, fabrika işletmeciliğinde % 30'lara ulaşmaktadır. Yüksek firenin başlıca nedenleri; işletmecilerin bu konuda yeterli bilgiye sahip olmaması, kalifiye eleman yetersizliği, gelişen teknolojiyi izleyememe ve bunların sonucunda ocaklar da patlayıcı madde, kompresör vs kullanımı gibi ilkel metotların uygulanmasıdır. Sonuçta bu çeşit uygulamalar blok mermerde iç gerilmelere ve beraberinde mevcut çatlakların ilerlemesine veya çatlak sayılarının artmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan bu sektörde bugün için en büyük söz sahibi olan İtalya'da, ocak ve fabrika işletmesi esnasındaki toplam fire miktarı % 4'ü geçmemektedir. Her iki işletme yönteminde bu işin bilinçli kişilerce yapılması ve yüksek teknoloji ürünlerinin kullanılması fire miktarının düşük olmasını sağlamaktadır. Hatta işletme yöntemlerinde kullanılan blok içerisinde lazerle çatlak tayini ve bu sayede bloğun uygun şekillerde işlenmesi fire oranının daha düşük seviyelere çekilmesini sağlamaktadır.

Ülkemizde mermer, ekonomiye kazandırılmak amacıyla günümüzde özellikle mermer tozu olarak çeşitli sanayi dallarında katkı veya dolgu maddesi olarak ya da ana hammadde olarak kullanılmaktadır.

Çeşitli büyüklüklerdeki mermer parçacıkları çoğunlukla süsleme sanatı, hediyelik eşya sanayi, mozaik yapımı ve inşaat sektöründe değerlendirilmektedir.

Mermer tozlarının başlıca kullanıldığı sektörler şunlardır:

- Seramik sanayi
- Plastik ve lastik sanayi
- Çimento sanayi
- Yem ve gübre sanayi
- Boya sanayi

- Tarım sanayi
- Yapı malzemeleri sanayi

Mermer tozu yukarıda açıklanan kullanım alanlarından başka, az oranda da olsa kimya sanayiinde, kauçuk üretiminde, patlayıcı madde üretiminde, şeker teknolojisinde, süs eşyası ve biblo yapımında, temizlik malzemelerinde, filtrasyon işlemlerinde ve cam sanayinde değerlendirilebilmektedir.

2.10. Uçucu Kül

En önemli yapay puzolan olan uçucu kül, öğütülmüş kömür yakan termik santrallerde baca gazı içine karışan toz halindeki küllerin baca çıkışına elektrostatik olarak tutulması ile elde edilir. Yaklaşık çimento inceliğinde olan bu uçucu küller yanma bölgesinden çabucak uzaklaştığı için ani olarak soğurlar ve puzolanik aktivite kazanırlar. Ancak bütün uçucu küller yeteri derecede puzolanik özellik göstermeyebilir.

Uçucu kül termik santrallerde baca gazı filtrasyonu sonucunda elde edilen temel yapısını hafif metal oksitlerin oluşturduğu bir endüstriyel atıktır. Fiziksel özellikleri spinellere benzemektedir. Özellikle büyük termik santrallerde çok fazla miktarlarda elde edilmektedir. Örneğin Japonya’da yılda 10 milyon ton uçucu kül oluşmaktadır [5].

Uçucu kül hafifliği, mikro tane boyutu, amorf yapısı ve ucuzluğu ile kompozit malzemelerde kullanılmasını oldukça elverişli hale getirmektedir. Partikülleri küresel yapıdadır. Bu yapının yapay olarak üretilmesi için çok pahalı bir proses gerektirmektedir [6]. Ancak uçucu külün endüstriyel bir atık için bir kullanım alanının oluşturulması çok faydalı olacaktır. İçerisinde fazla miktarda aktif halde silis ve alümina bulunmaktadır [7].

Uçucu küllerin yalnızca kimyasal bileşimlerinin uygun olması puzolanik özelliğe sahip olması için yeterli değildir. Uçucu küllerin puzolanik özellik gösterip göstermediği puzolanik aktivite ve basınç mukavemeti deneyleri yapılarak belirlenmelidir. Ayrıca uçucu külün incelik derecesi ve içinde bulunan yanmamış

haldeki karbon partikülleri yüzdesi de büyük önem taşır. Modern termik santrallerde uçucu kül içinde maksimum %3 oranında karbon partikülü bulunur. Tam yanmanın sağlanamadığı termik santrallerde ise bu oran %10'a kadar çıkabilir. Karbonun puzolanik özellik üzerine hiçbir etkisi yoktur, ancak beton içinde fazla olarak bulunması istenmez [8,9].

Puzolan olarak kullanılacak uçucu küllerde gerek TS 639 ve gerekse ASTM C 618 standartlarında belirtildiği gibi Çizelge 2.2'de belirtilen kimyasal özellikleri içerisinde aktif bileşenlerin %70'in üzerinde olması istenmektedir.

Çizelge 2.2. Puzolan olarak kullanılacak uçucu külün kimyasal özellikleri (TS 639)

BİLEŞİM	LİMİT DEĞER
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	> %70
SO_3	< %5,0
CaO	< %7,0
MgO	< %4,0
Alkali Oksitler(NaO_2 olarak)	< %1,5
Kızdırma kaybı	< %12

Çimento inceliğinde olan uçucu kül beton içine doğrudan katılarak da kullanılabilir. Böylece büyük ölçüde çimento tasarrufu yanında, uçucu kül özgül ağırlığının çimentodan düşük olması nedeniyle hacim büyümesi de sağlanmış olur. Çok ince uçucu kül partikülleri beton boşluklarını doldurur ve beton permeabilitesini azaltıcı

etki yapar. Ancak çimento yerine uçucu kül katılarak elde edilen betonların başlangıç mukavemetleri oldukça düşüktür [10].

Kömür ile çalışan elektrik santralleri toprağı ve havayı kirleten, çevresel sorunlara yol açan tesislerdir. Bu santrallerde kömürün yanması ile başlıca üç atığın meydana geldiğı görölür. Bunlar; uçucu kül, taban külü ve kazan altı cürufudur. Bu atıklara ek olarak baca gazı arıtma sistemi kurulmuş olan santrallerde, FGD ile simgelenen, baca gazı temizleme ürünü olan yapay alçı da açığa çıkar. Söz konusu atıklar Türkiye'deki endüstriyel katı atıkların çok büyük bir bölümünü oluşturmaktadır . Özellikle düşük kaliteli kömürlerin kullanılması ile yüksek oranda kül ve cüruf atık olarak oluşmaktadır. Kömür küllerinin depolanmasındaki ana problem atıkların ağır metal içerikleridir. Örnek olarak, Yatağan Termik Santralinde günde, yaklaşık olarak, 15000 ton kömür yakılmakta ve atık depolama sahasına 5000 ton kül ve cüruf atılmaktadır. Bu nedenle termik santrallerden kaynaklanan bu atıkların çevre jeolojisi açısından olumsuz etkileri söz konusudur.

Kömür yanma ürünlerinin özellikle inşaat sektöründe kullanımı, termik santrallerin çevresel etkilerinin azaltılmasını, elektrik üretim maliyetinin azaltılmasını, katı atıkların depolanma miktarının, atmosferdeki gaz emisyonunun azaltılmasını ve doğal kaynakların korunmasını sağlamaktadır.

Termik santrallerde atık olarak oluşan, ancak değeriendirilemeyen Uçucu küllerin santral dışında depolanması gerekmektedir. Her geçen gün artış gösteren bu atık beraberinde çözölmesi zorunlu teknik ve ekonomik problemler getirmektedir. Uçucu küllerin değeriendirilmemesi nedeniyle ekonomik kayıplar ve ciddi çevre kirliliğı sorunları ortaya çıkmaktadır. Ülkemizdeki termik santrallerde yıllık toplam kömür ve linyit tüketimi yaklaşık 55 milyon ton olup, buradan 15 milyon ton kadar uçucu kül ortaya çıkmaktadır. Bu miktar karşılaşılan problemin boyutlarını göz önüne sermektedir. Ancak önemli sorunlar yarattığı düşünölen bu atık madde inşaat mühendisliğinin çeşitli dallarında özellikleri iyi bir şekilde incelenmek kaydıyla ekonomik bir şekilde değeriendirilebilmektedir.

Uçucu küller çoğunlukla kendi başlarına bağlayıcı özelliği çok zayıf olan, ancak sulu ortamda kireçle birleştiklerinde bağlayıcılık özelliği artarak puzolanik özellik kazanan malzemelerdir. Yapılan bu çalışmada Yatağan Termik Santralinden alınan uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Denizli İli sınırları içinden alınmış killi bir zemin numunesi yalnız uçucu kül ve uçucu kül + sönmüş kalsiyum kireci ile belirli oranlarda karıştırılarak, numunelerin geoteknik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler laboratuvar deneyleri ile farklı kür sürelerinde incelenmiştir [11].

Denizli de beton üretiminde genellikle kullanılan agrega, çimento ve katkı malzemeleri ile beton numuneler hazırlanarak, katkıların basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Ayrıca mineral katkı maddelerinin de değerlendirilmesi amacıyla Yatağan Termik Santrali atık uçucu külleri beton üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Seçilen kimyasal katkıların ve uçucu külün zamana bağlı performansları ve maliyeti dikkate alınarak yapılan irdelemeler ile optimum çözümün %20 uçucu kül ve %2 Rheobuild-716 akışkanlaştırıcı katkılı beton numuneleri olduğu kanısına varılmıştır. Ayrıca Yatağan uçucu külü verimli bir mineral katkıdır ve beton sektöründe değerlendirilmelidir [12].

2.11. Polyesterler

Ester polimerizasyonlarıyla elde edilen, katı ve sıvı tiplerle alkid, aromatik termoset, termoplastik, doymamış türleri bulunan, sanayinin birçok dalında değişik amaçlarla kullanılan ürünler sınıfıdır.

Sertlik, hava şartlarından etkilenmeme, çeşitli kimyasallara dayanım gibi daha birçok iyi özelliklerle polyesterler vazgeçilmez önemli polimerlerdir. Genelde polyesterler daha çok dibazik olmak üzere polifonksiyonel asitlerle glikol, gliserin gibi polialkollerin veya metil metakrilat, stiren ve diallil ftalat gibi monomerlerin esterleşmesi sonunda elde edilirler.

Bir doymamış polyester olarak meydana gelen son ürün pratikte özel formüller kullanılarak stiren veya vinil monomerde çözünmüş halde elde edilir. Hazırlanan polyesterin kürleştirilmesi gerektiğinde (sertleşmesi) katalizör (sertleştirici) ve

hızlandırıcı ile belirli oranlarda karıştırılması gerekmektedir. Katalizör olarak “metil etil keton peroksit, benzoil peroksit” çok kullanılan maddelerdir. Hızlandırıcı olarak da kobalt naftenat, kobalt okteat ve kurşun okteat kullanılmaktadır. Bu maddelerin kullanım oranları firma tavsiyesi esas olmak üzere yine de genel bilgi için katalizörde %1, hızlandırıcıda %0,1 diye ifade edilebilir. Bu katkı oranları yaklaşık 12 saatlik bir sertleşme içindir.

Polyesterin üretiminde daha önce formülasyona inhibitör olarak giren hidrokinon, hidrazin türevleri, organik nitritler ve kinon gibi maddeler polyesterin depolama ömrünü artırır.

2.11.1.Polyester reçineler

Polyester reçineler koyu kıvamlı ve zor akan, neredeyse renksiz sıvılardır. İki bileşenli bir reçine olup, sertleşmesi için katalizatör etkisi gösteren MEKP adıyla bilinen organik peroksit’lerin ilavesi gerekir. (% 1-2 oranında) Sertleşme süresi ortam sıcaklığına bağlı olup, sertleştirici de denilen katalizörlerin karışımdaki payına bağlıdır. Reaksiyonu yavaşlatmak gerektiğinde inhibitör adı verilen katkılar kullanılır. Reçinenin normal oda sıcaklığında sertleşebilmesi için 3.bir katkıya ihtiyaç vardır. Hızlandırıcı adı verilen bu malzeme bazen reçinenin içine önceden karıştırılmakta ve reçine bu şekilde piyasaya verilmektedir. Hızlandırıcıyı polyestere oldukça dikkatli bir şekilde karıştırmak gerekir, karışım sırasında oluşan reaksiyon bir patlama oluşturabilmektedir. Polyester reçinelerinin temel maddesi Styrol hafif zehirleyici özellikte ve reaksiyon sırasında buharlaşan bir malzemedir. Polyester atölyelerinden veya yeni teknelerden bildiğimiz koku uçan Styrol’ün kokusudur(13).

Polyester reçineleri düşük sıcaklığa ve rutubete duyarlıdırlar. Kaliteli tekneler üretmek için yapım işlemi ve teknenin sertleşmesi süresince atölyede sıcaklık ve rutubetin kontrol altında tutulması gerekmektedir.

2.11.2 Polyesterlerin özelliklerine göre kullanıldığı yerler

Küvet, lavabo, suni mermer, mutfak tezgahı, masa kenarları ve ayakları, santrifüj, çubuk düğme, süs eşyası, vb. üretimlerde kullanılmak üzere üretilen Döküm Tipi

Polyesterler orta reaktivitede, genel maksatlı döküm reçineleri olup, yumuşak ve esnektir.

Çatı kaplama gibi kaplama amaçlı levha üretiminde kullanılmak üzere üretilen Levha Tipi Polyesterler orta viskozitede ve orta jelleşme zamanına (gel time) sahip olup, çabuk sertleşen, mekanik özellikleri mükemmel olan ve hava şartlarına dirençli genel amaçlı bir döküm reçinesidir.

İnşaatlar için düz panel, oluklu levha, otomobil parçaları (rüzgarlık, tampon, vb.), kayık, bot, tekne, tank, karavan, su deposu, duş kabinleri, abajur, vantilatör muhafazası, vitrin mankeni, vb. üretiminde kullanılmak üzere üretilen Elyaf Tipi Polyester ve Tezgah Tipi Polyester orta jelleşme zamanına (gel time) sahip olup, çabuk sertleşen, mekanik özellikleri mükemmel olan ve hava şartlarına dirençli genel amaçlı bir döküm reçineleridir. İzolasyon özelliği vardır.

SMC-BMC Polyester sıcak kalıplama tekniği ile üretimi gerçekleştirilen elektrik panosu, şalter vb. üretimlerinde kullanılmak üzere üretilen SMC-BMC Polyester özel olarak geliştirilmiş ısıya dayanıklı yüksek viskoziteli ve reaktiviteli bir polyesterdir. Mükemmel mekanik özellikli rijit malzemeler elde edilir.

2.11.3. Polyester katalizörleri

MEKP (Metil etil keton peroksit) parlayıcı bir malzeme olup, reçineye mümkün olduğunca hassasiyetle (ufak miktardaki karışım hazırlamada ölçekli bir enjektör veya damlalık kullanılmasını gerektirmektedir). Sertleştirici ilave edilmediği takdirde reçine tam olarak sertleşmeyecek, tam mukavemetine ulaşmayacak ve su geçirmezlik özelliği kazanmayacaktır.

Hızlandırıcılarda ise atölye sıcaklığının 15-25 °C olması reaksiyonun başlaması için yeterlidir. Reaksiyonun ilk başlangıcından itibaren enerji açığa çıkararak tam sertleşme gerçekleşmektedir [13].

Aynı şekilde yavaşlatıcı (inhibitör) ilavesiyle de reaksiyon için yeterli uygulama zamanının kazandırılması sağlanabilmektedir.

2.12. Literatür Çalışmaları

Uçucu külün çimento ve bazı yapı malzemelerinin üretiminde katkı olarak kullanılmasına literatürde rastlanmaktadır. Yapılan literatür araştırması sırasında dikkat çeken bazı çalışmalar bilgi olarak aşağıda verilmektedir.

S.K. Agarwal ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada çimentonun yerine, sıkıştırma direnci üzerinde aşırı yumuşatılmış kaliteli çimento harçları, düşük maliyet etkinliğinde uçucu kül, cüruf, silis dumanı ve mermer tozunun kullanımı incelenmiştir. Harçlardaki endüstriyel atıkların karışımı üzerinde de çalışma yapılmıştır. $110 \pm \% 5$ 'lik akışı elde etmek için, farklı oranlarda endüstriyel atık içeren çimento harçları (1: 3 ve 1:6) tasarlanmıştır. Harçların sıkıştırılma direnci yumuşatıcıyla ve yumuşatıcı olmaksızın 1, 3, 7, 28 ve 180 gün olarak belirlenmiş ve maliyet etkinlikleri analiz edilmiştir [14].

A. Sezer ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada kireç uçucu külü bulunan İzmir'de askeri bölgedeki yumuşak kil yapısı kararlı hale getirilmeye çalışılmıştır. Toprağın kütlege % 0, % 5, %10, %15 ve % 20'si uçucu kül ile değiştirilmiştir. Uçucu kül toprakla karıştırılarak 4 farklı toprak örneği hazırlanmıştır. Deneyler üç ay sürmüş ve 1, 7, 28 gün aralıklarıyla ve 90 günden sonra serbest basınç mukavemeti, yapışma, kesme direnç parametreleri incelenmiştir. Uçucu külün dahil edilmesi toprağın özelliğini geliştirdiği tespit edilmiştir [15].

S. Hu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada malzeme parçaları ve makinaya ait özellikle arasındaki ilişki, bileşik malzeme esasları ve dikey deneysel tasarıma dayanarak çalışılmıştır. Ayrıca, yüksek performanslı MHPCC elektron mikroskop yöntemi SEM ile incelenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki; BFS alçı taşı ve genleşme etkeni içeren bileşik malzeme açık bir şekilde %40 uçucu kül içeren çimentomsu malzemenin gücünü geliştirmiştir. Saf çimento yüksek performanslı bileşik çimentonun sadece % 45'i olmasına rağmen, yüksek performanslı bileşik çimento hamurunun sıkıştırma direnci, sade çimento hamuru sıkıştırma direncinden daha yüksektir. Yüksek fırın cürufu yüksek performanslı bileşik çimentoda önemli bir rol oynamıştır. En uygun yüksek fırın cürufunun ilave edilen miktarı % 15 olmaktadır.

İğne şeklindeki mineralden elde edilmiş EA'nın $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile tepkimesinden üç boyutlu bir ağ yapısı oluşur. Bu da sadece yüksek performanslı bileşik çimento hamurunun ilk kuvvetini geliştirmekle kalmayıp aynı zamanda onun son direncini de arttırmıştır [16].

Uçucu kül ile ilgili literatürde bulunan bir başka araştırma ise Y. Li ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Kömür ile çalışan bir enerji santralinde uçucu kül ile şekillendirilmiş kompozit malzeme üretmek için, bir belediyenin katı atık döküm yerinden sonraki tüketici ile polietilen ve tereftalat ile birleştirilmiştir. Uçucu külün ağırlığı %0 ila %50 oranında değişiklik göstermiştir. Sıkıştırma direncinin özellikleri, su alması ve ürünlerin yoğunluğu test edilmiştir. Uçucu külün PET ısı ayrışmasını düşürdüğü, PET'in erimesini hızlandırdığı birleştirme sürecinde malzemenin büzülmesini azalttığı ve son ürünün özelliklerini geliştirdiği sonucuna varılmıştır. Sıkıştırma direnci inşaat malzemeleri için, zaten standartların üzerindedir. Uçucu külün ilavesi ile sıkıştırma oranı % 31-53 olarak daha da arttırılmıştır [17].

S.Potegieter ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada uçucu kül, termik santrallerin filtrelerdeki kömür kalıntısıdır. Bu kalıntı, çeşitli atomik boyuttaki alüminyum kürelerinden meydana gelmektedir. Bu da plastik, lastik, boya içerisinde ateşe dayanıklı katkı maddeleri olarak kullanılabilir. Ortalama 5mm boyutundaki plastik ürünlerin kullanımında yaygın olarak bilinen bir metottur [18].

Yu-Fen ve arkadaşları yaptığı çalışmada uçucu külün ortaya çıkardığı çevre kirliliğinin, endişelerin artmasına sebep olmasıyla birlikte, geniş bir kullanım alanına ilgi arttırmaktadır. Uçucu kül veya uçucu mikro kül tanecikleri yoğunlukları, yüksek yayılma hızları ve küresel parçacıkların yapıları sebebiyle polimer dolgu maddesi olarak kullanımını arttırmaktadır. Fakat uçucu kül şu ana kadar düşük beyazlık değeri ve uçucu kül yüzeyinin düşük sürtünme katsayısına sahip olmasından dolayı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [19].

H.C. Wu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada F sınıfı uçucu kül, metakaolinit ve düşük yoğunluklu kum kullanılarak, inorganik polimerler üretilmiştir. Bu organik

malzeme, az miktarlarda sodyum hidroksit ve sodyum silikat çözeltisi kullanılarak hazırlanmıştır [20].

İki tür bağlayıcı kullanarak malzeme üreten J.P. Gorninski ve arkadaşları polimer beton bileşiğinin elastiklik modülünü incelenmiştir. Bu iki bağlayıcı ise ortofitol ve izofitol polyesterdir. Kullanılan bileşimler maliyet PC bileşimlerini teşhis eden önceki bir çalışmadan seçilmiştir. Bu verilere dayanarak, kullanılan polimerin yoğunlaşması kuru malzemeler ölçüsünde %12 ortofitol polyester ve %13 izofitol polyesterdir. Uçucu kül dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Kül kütlece %8, %12, %16 ve %20 oranlarında ilave edilmiştir [21].

R. Wasserman ve arkadaşlarının yaptığı bir başka çalışmada sinterlenmiş uçucu kül, agreganın yapısı ve özellikleri, işlemleri ile mukavemeti absorpsiyon ve puzolanik aktivitesinde farklı agregalar elde etmek üzere modifiye edildi. Agregaların bu özellikleri mikro yapısındaki değişiklikler yoluyla sebebi izah edilmiştir. Bu agregalardan hazırlanan eş miktardaki su-çimento oranlı bu yığışimlardan hazırlanmış betonların mukavemeti, agrega özelliklerinin etkisini incelemek için farklı yaşlarda tayin edilmiştir. Betonun direnci sadece agregaların mukavemetiyle izah edilemeyeceği gösterilmiş ve agregaların absorpsiyon ve puzolanik aktivitesi ile geliştirilen direnç mukavemetinin geliştirildiği görüşü tebliğ edildi [22].

J. Hristova ve arkadaşları yaşlanmanın ve dolgu maddelerinin termoset kompozitlerin model parametreleri üzerine etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Mermer mineral dolgu maddelerinin katılmasıyla, polyester esaslı termoset matrisin sünmeye karşı verdiği tepki, fiziksel yaşlanma yapılmadan önce ve yapıldıktan sonraki durumlar için araştırılmıştır. Sünmeye karşı verilen tepkideki dolgu maddelerinin rolünü anlamak amacıyla değişik dolgu maddeleri içeren çok sayıdaki kompozit malzemeler üzerinde çalışılmıştır. Deneysel sonuçları yorumlayabilmek üzere bir matematiksel model seçilmiştir. Bu modelde alınan parametrelerin, belli fiziksel anlam taşıyan ve sünme şartları altında tek bileşenin deformasyonu ile ilişki kurabilecek yapıda olmalarına dikkat edilmiştir. Maxwell'in genelleştirilmiş eşitliğini temsil eden bu model, izotropik ortamdaki formu ile G.I. Gourevich tarafından sunulmaktadır. (Maxwell-Gourevich eşitliği). Çalışmada polyester esaslı

termoset matrikste sünmeye karşı verilen tepki ve fiziksel yaşlanmadan önceki ve sonraki kompozitlerin durumunu tanımlamak için önerilen modelin gerçekleştirilebilirliği gösterilmiştir [23].

Terzi ve arkadaşları mermer toz atıklarının asfalt betonunda agrega tozuna alternatif olarak dolgu malzemesi şeklinde kullanımını araştırmışlar; özellikle mermer tozunun yaygın olarak bulunduğu bölgelerde taşıma ve kurutma maliyetinin taş tozu filler maliyetini geçmediği kesimlerde, asfalt betonu karışımlarda agrega tozu yerine mermer tozlarının kullanılabileceğini göstermişlerdir [24].

Khristova ve arkadaşları epoksi reçine ve mermer tozlarından oluşan kompozit malzemenin deformasyon özellikleri üzerine bir çalışma yürütmüşler, epoksi reçine ile mermer tozlarının etkileşim bölgelerinde malzemenin deformasyona uğradığını tespit etmişlerdir [25].

Garcia ve arkadaşları mermer artıklarının kimyasal analizlerini gerçekleştirmişler ve yapıda %99 oranında karbonat içeren taneciklerin varlığını tespit etmişlerdir. Buradan yola çıkarak seramik ürünlerin eldesinde mermer artıklarının kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bu amaçla duvar kaplamalarda kullanılan seramik malzeme üretmek amacıyla kalsit ve dolomit içerisine az miktarda mermer tozu ilavesinin de mümkün olabileceğini göstermişlerdir [26].

Alkaya D., yaptığı çalışmada , uçucu küller hakkında genel bilgi vermiştir. Uçucu külün fiziksel, kimyasal, mineralojik ve puzolonik özellikleri açıklanmış ve Türkiye uçucu külleri ayrıntılı incelemiştir. Ayrıca çalışmada uçucu kül katkısının, dolgu zeminlerin stabilitesi üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Dinamik mukavemet artışı ispatlanmıştır. Diğer taraftan uçucu kül katkılı zeminler üstünde yapılan mineralojik analizler sonucu mukavemet artışının sebebi ortaya çıkarılmıştır [10].

Aslan A., yaptığı çalışmada Termik santral atıkları ve tarsın çimentonun priz süresi, hacim genleşmesi, mekanik dayanım, hidrasyon ısı ve öğütme süresi özellikleri üzerine etkilerini araştırmıştır. Ayrıca öğütülmüş biyokütlenin çimentonun eğilme ve basınç dayanımları üzerine etkilerini de incelemiştir. Yapılan çalışmada SEAS

İşletmesine bağlı termik santral atıkları uçucu kül ve taban külü, aralıklı trası, fındık kabuğu, kayın ve ladin odunları gibi öğütülmüş biyokütle çimento katkıları olarak kullanılmıştır. Uçucu kül, taban külü ile tras, ağırlıkça %5, 10, 15, 10, 15 ve 30 oranında klinkerle birlikte öğütülerek TKKÇ, UKKÇ ve TKÇ karışımları elde edilmiştir. Bu çimento karışımlarındaki katkıların öğütme süresini azalttığı ortaya çıkmıştır [27].

Vicenzi ve arkadaşları yaptığı çalışmada Kömür santrellerinden elde edilen uçucu küller enerji santrallerindeki ekipmanlarda korozif etki gösterirler. Üç farklı H.V.O.F. kaplaması (WC-12Co, Cr₃C₂-NiCr ve WC-CrC-Ni) makinelerin gerçek durumda simule edilmiş yüksek sıcaklık erozyonu altında (310 °C) test edilmiştir. Uçucu küller aşındırıcı malzeme olarak görev yapmaktadır. Bu testler altındaki sonuçlar WC-12Co kaplamasını SAE 1020 çeliğine göre 18 kere daha az aşındığı görülmüştür [28].

Duran ATİŞ, yaptığı çalışmada yüksek oranda uçucu kül kullanımı ile elde edilen betonun aşınmaya karşı direnci deneysel olarak incelenmiştir. Değişik miktarlarda uçucu kül kullanılarak farklı betonlar elde edilmiş ve SA özelliği ile değişik işlenilebilirlikte betonlar üretmiştir. Yapılan çalışmada bu betonlar Dorry aşındırma makinasında teste tabi tutulmuş olup, elde edilen deney sonuçları aralarında karşılaştırılmıştır. Beton basınç dayanımı arttıkça aşınma direncinin de arttığı görülmüştür. Çok yüksek beton basınç dayanımlarında, yüksek oranda uçucu kül kullanımı (Çimento ağırlığının %70'i ile yerdeğişim) ile üretilen betonun aşınma direncinin aynı basınç dayanımına sahip uçucu kül konulmadan üretilen betonun aşınma direncinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir [29].

Gürü, M., Akın, E., ve arkadaşları yaptığı çalışmada Tarım alanlarına, sağlığa ve çevreye olumsuz etkileri olan mermer tozlarının, uçucu külün, hurda termoplastiklerin bu araştırma sonucunda elde edilen malzeme ile bir taraftan kirlilik önlenirken diğer taraftan ekonomiye önemli kazançlar sağlanabileceği belirtmiştir [30].

Gürü. M., Akın, E., yaptıkları çalışmada mermer tozu ve uçucu kül takviyeli termoplastik ve polyester matrisli kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiş ve elde edilen malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Uçucu kül olarak Yatağan külü kullanılmış, bu sayede uçucu küllerin çevre kirliliğine yol açmasının engellenmesi ve malzemeye katkı sağlaması amaçlanmıştır. Polyester + termoplastik matris malzemesinin termoplastik içeriği kütlece değiştirilerek deney sonuçları incelenmiştir [31].

Bu çalışmada mermer tozu ve Yatağan uçucu külü kullanarak polyester esaslı kompozit malzemeler elde edilmiştir ve kaydedilen optimum deney standartlarında hurda termoplastik ilavesiyle polyester miktarı azaltılmaya çalışılmıştır.

3. MALZEME VE METOT

3.1. Malzeme

Mermer tozu Afyon bölgesinden getirilen, Afyon beyazı mermer tozu kullanılmıştır. Uçucu kül Yatağan termik santralinden getirilen uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu kül ve mermer tozu takviye malzemesi olarak kullanılmıştır.

Polyester reçineler koyu kıvamlı ve zor akan, hemen hemen renksiz sıvılar olup, matrix bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Hurda termoplastikler ise makas ile küçük parçalara ayrıldı ve bu küçük parçalar parçalayıcı öğütücüde öğütölüp toz haline getirildi. Kobalt naftanat hızlandırıcı olarak kullanıldı. Metil etil keton peroksit sertleştirici olarak kullanıldı.

3.2. XRD Analizi

Muğla-Yatağan Termik santrali uçucu külü içinde bulunan kimyasal bileşimler aşağıdaki Çizelge 3.1’de verilmektedir. Aktif silika oranı yüksek olması istenilen bir özelliktir. Böylece puzolanik etkinin artmasıyla malzemenin bağlanması daha kuvvetli ve malzemenin mekanik özellikler daha yüksek çıkması beklenmektedir.

Bu noktada, uçucu külün çizelge 3.2’de görüldüğü gibi Elbistan uçucu külündeki aktivitenin düşük olması, malzemenin mukavemet özelliklerini düşürdüğü sonucuna varılmıştır. Ayrıca mukavemet ile sertliğin paralel olarak artış göstermesi gerekirken, kül miktarı arttıkça külün daha yumuşak olma özelliği malzemenin özelliğine yansımaktadır.

Çizelge 3.1. Muğla-Yatağan uçucu külü kimyasal bileşimi

Bileşimler	(m/m) %
SiO ₂	47.08
R ₂ O ₃	29.47
TiO ₂	01.03
Fe ₂ O ₃	(R ₂ O ₃) 06.48
Al ₂ O ₃	21.96
CaO	16.03
MgO	02.12
NaO	01.28
K ₂ O	00.93
SO ₃	02.13
P ₂ O ₅	00.14

Çizelge 3.2. Elbistan uçucu külü kimyasal bileşimi

Bileşimler	(m/m) %
SiO ₂	27.4
Fe ₂ O ₃	5.5
Al ₂ O ₃	12.8
S+F+A	45.7
CaO	47.0
MgO	02.5
NaO	0.3
K ₂ O	-
SO ₃	6.2
K.K	2.4

3.3. Metot

Kalıbın Şekli; boyutu 25 cm, genişliği 3 cm ve 7 cm derinliğinde yan ve kenar parçaları sökülüp takılabilir şekilde olacak şekilde tasarlanmış ve metal işleri atölyesinde bu deney için özel olarak hazırlanmıştır. Resim 3.1. a ve 3.1. b’de kalıbın karşıdan görünüşü ve kalıbın üstten görünüşü verilmektedir.



(a)

(b)

Resim 3.1 Kalıbın görünüşü

a) Kalıbın karşıdan görünüşü

b) Kalıbın üstten görünüşü



Resim 3.2. Mermer tozu, polyester, ucucu kül karışımının hazırlanması

Resim 3.2.'de mermer tozu, polyester, ucucu kül karışımının hazırlanması görüldüğü üzere deneyde hazırlanacak ve deneyde hangi malzemeden ne kadar kullanılacağı belirlendikten sonra ilk olarak mermer tozları aşağıdaki şekilde görülen 0,1mg

duyarlılığa sahip terazide belirlenen kütlelerde mermer tozu hazırlandı. Daha sonra parametreye bağlı olarak uçucu kül ilave edildi ve mermer tozu ile uçucu kül üniform hale gelecek şekilde karıştırıldı. Üniform hale getirilen takviye malzemeler hazırlandıktan sonra matris bağlayıcı olarak olan sıvı polyester ilave edilmiş ve karışım üniform oluncaya kadar karıştırılmıştır. Karışım daha sonra bir ısıtıcı yardımıyla malzemenin sıcaklığı 40 °C' a kadar ısıtıldı. Birinci parametrede polyester/ mermer tozu oranı, ikinci parametrede uçucu kül ilavesi, üçüncü parametrede ise hurda plastik katılmasının etkisi incelenmiştir. Üniform bir karışım elde ettikten sonra kütlece %0,1 olarak hızlandırıcı ilave edildi. Daha sonra sertleştirici ilave edildi ve hızlı bir şekilde karıştırıldı ve malzeme kalıpların içine döküp kalıpta sıkıştırma ve düzeltme işlemi yapıldı. Hazırlanan numune iki saat süre ile oda şartlarında bekletildi. Malzeme 80°C'de 2 saat süreyle etüvde kurutuldu. Etüvden çıkarılan numuneler kalıptan çıkarıldı. Numuneleri mukavemet deneylerine tabi tutmak üzere kesme makinasında kesilip istenilen uzunluklarda parçalar elde edildi. Resim 3.3'de kalıplardan çıkarılan malzemelerin görünüşü verilmektedir.



Resim 3.3. Kalıplardan çıkarılan malzemelerin görünüşü

3.4. Bağımsız Parametreler

1. Parametre: En iyi mekanik mukavemetlere sahip Polyester/Mermer tozu oranını elde etmek için, mermer tozu miktarı kütlece belli oranlarda değiştirildi ve polyester miktarı, hızlandırıcı olarak kullandığımız kobalt naftanalt miktarı, sertleştirici olarak kullandığımız metil etil keton miktarı sabit tutulmuştur. Polyester/Mermer tozu oranları kütlece 1/3; 1/3,5; 1/4; 1/4,5 ve 1/5 olarak değiştirilmiştir. Oluşturulan malzemeler deneysel işlemlere tabii tutulup, sonuçları incelenmiştir

2. Parametre: İkinci parametre olarak uçucu külün malzemeye etkisi incelenmiştir. Birinci parametrede en iyi sonucu veren polyester/Mermer Tozu oranı olarak 1/4 oranı seçilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda dolgu maddesi değerleri sabit tutulmuştur. Hızlandırıcı olarak kullandığımız kobalt naftanalt miktarı, sertleştirici olarak kullandığımız metil etil keton miktarı aynı birinci parametrede olduğu gibi sabit tutulmuştur. Uçucu kül, mermer tozunu azalttığımız miktarda takviye malzemesi olarak ilave edilmiştir. İlk olarak Elbistan külü, daha sonra yatağan külü kullanılmıştır. Bu parametrede dolgu maddesindeki mermer tozu yerine eklenen uçucu kül miktarındaki değişimin etkileri araştırılmıştır.

3. Parametre: Üçüncü parametre olarak hurda plastiklerin malzemenin mukavemeti üzerine etkisi incelenmiştir. İkinci parametrede en iyi sonucu veren uçucu kül/Mermer Tozu oranı olan 0,333 dolgu oranı seçilmiştir. İlk iki parametrede olduğu gibi hızlandırıcı olarak kullandığımız kobalt naftanalt miktarı, sertleştirici olarak kullandığımız metil etil keton miktarı aynı birinci parametrede olduğu gibi sabit tutulmuştur. Bu parametrede dolgu maddesi miktarı sabit tutulup, matristeki polyester yerine eklenen hurda plastiğin etkileri araştırılmıştır.

3.5. Karakterizasyon Deneyleri;

Üç Noktadan Eğme Testleri: Üç noktadan eğme testleri Shimadzu marka AG-I model çekme cihazı ile gerçekleştirilmiştir.(Resim 3a ve 3b)

Tüm üç noktadan eğme testlerinde çene aralığı 33 mm, çekme hızı V: 1mm/s olarak sabit tutulmuştur. Resim 3.5'te Shimadzu marka AG-I model çekme cihazının görüntüsü görülmektedir.



Resim 3.4. Shimadzu marka AG-I model çekme cihazının görüntüsü

Kalıplardan çıkarılan malzemeler kompozit malzeme kesme cihazı ile parçanın boyutları 6cm x 3cm x 1,5cm olacak şekilde kesilerek deney numunesi oluşturulmuştur(TS 639).

Deneyde kullanılacak malzeme, eğilme mukavemeti deney tertibatına, mesnetlere göre simetrik olacak ve mesnetler ile yükleme parçası, numunenin her iki tarafından aynı miktarda taşacak şekilde ve uzunlamasına yerleştirilmiştir.

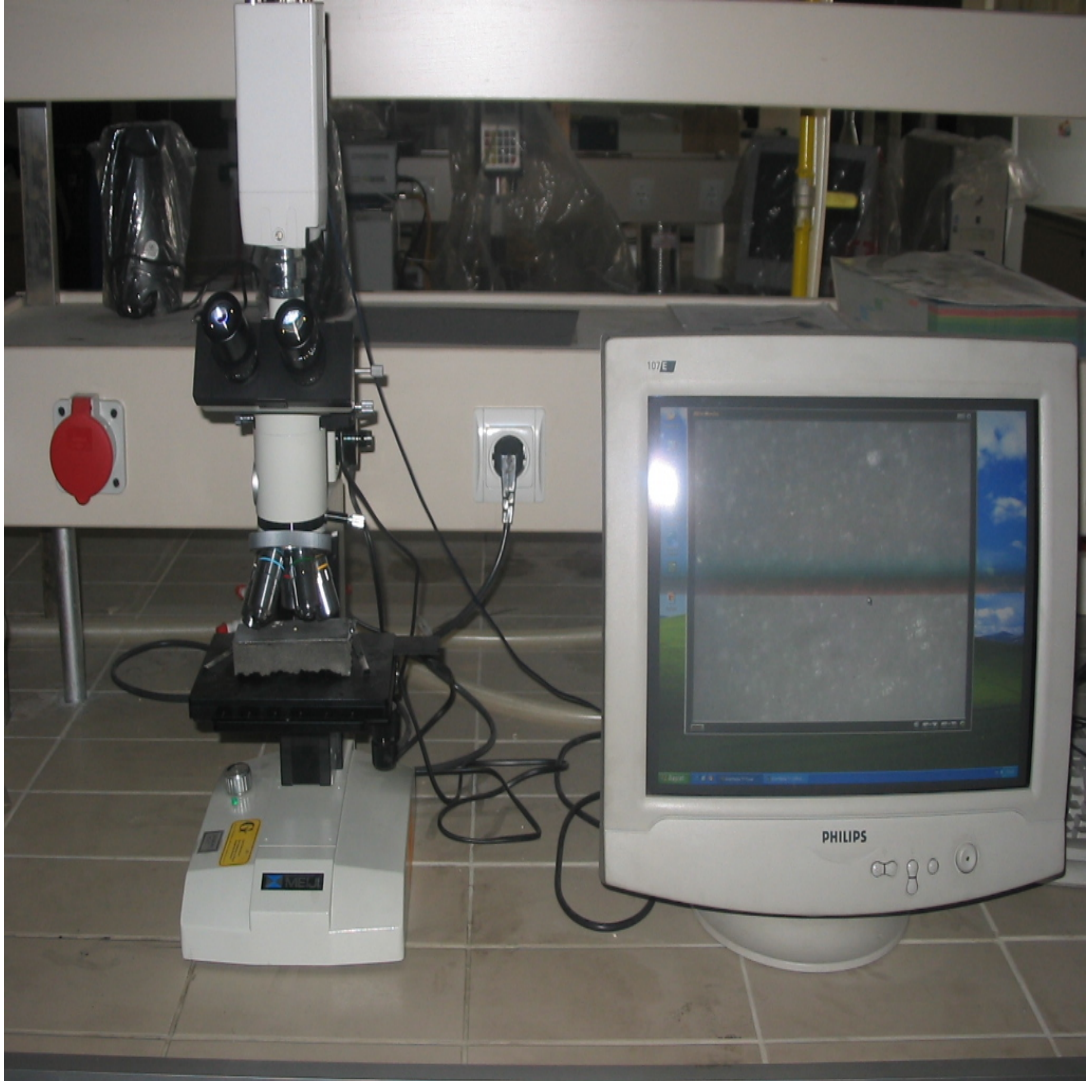
Deney, mesnetlerin tam ortasından, düzgün bir şekilde ve darbesiz olarak devamlı artan bir kuvvetin, kırılma meydana gelene kadar uygulanması yolu ile yapılmıştır. Kırılma anındaki kuvvet ve en büyük kuvvete dayanımı tespit edilmiştir. Her malzeme için en yüksek olarak kaydedilen üç noktadan eğme kuvvetleri alınarak parametre değerleri: ne karşı grafiğe geçirilmiştir.

Shore Sertlik Deneyi Kalıptan çıkarılan malzemelerin sertlik ölçümleri, Durotech marka M202 model Shore Sertlik cihazı ile gerçekleştirilmiştir. (Resim 4a ve resim 4b). Sertlik değerleri Shore A cinsinden ölçülmüştür. Malzemedeki uniformluğu tam olarak sağlanamadığı ihtimali göz önünde bulundurularak, malzemenin çeşitli noktalarından 15 farklı sertlik değeri okunmuştur. Genel görünümünden çok fazla sapma gösteren değerler atılmış ve değerlerin ortalaması alınarak sertlik derecesi tayin edilmiştir. Resim 3.5.'de Durotech marka M202 model shore sertlik cihazı görülmektedir.



Resim 3.5. Durotech marka M202 model shore sertlik cihazı

Optik Mikroskop ile Muayene: Kalıptan çıkarılan malzemeler, trinoküler mikroskop (Resim 3.6. ve resim 3.7.) altında incelenmiştir. Trinoküler mikroskopla malzemeyi oluşturan maddelerin, birbirlerine göre durumları, kristal şekli, tane homojenliği, camsı görünüş olup olmadığı, dokuda gözeneklilik ,yarık, boşluk, kılcak çatlak ve damarlar olup olmadığı ve dolgu kısımları tayin edilmeye çalışıldı. Resim 3.6.'de Trinoküler mikroskop görülmektedir.



Resim 3.6. Trinoküler mikroskop

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Muayene: Mikroyapı analizleri Jeol marka 6360 model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile aydınlatılmıştır. Bu muayenede, uçucu kül, mermer tozu ve polyester arasındaki etkileşimin ne derece iyi olduğunu anlamak için faz görüntülerine bakılmıştır. En iyi dağılmış takviye ve matriks faz görüntüleri bulunmaya çalışılmıştır. Resim 3.7.'de EDS donanımlı Jeol marka 6360 model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görülmektedir.



Resim 3.7. EDS donanımlı Jeol marka 6360 model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Polyester/ Mermer Tozu Oranının Malzemenin Mukavemet Özelliklerine Etkisi

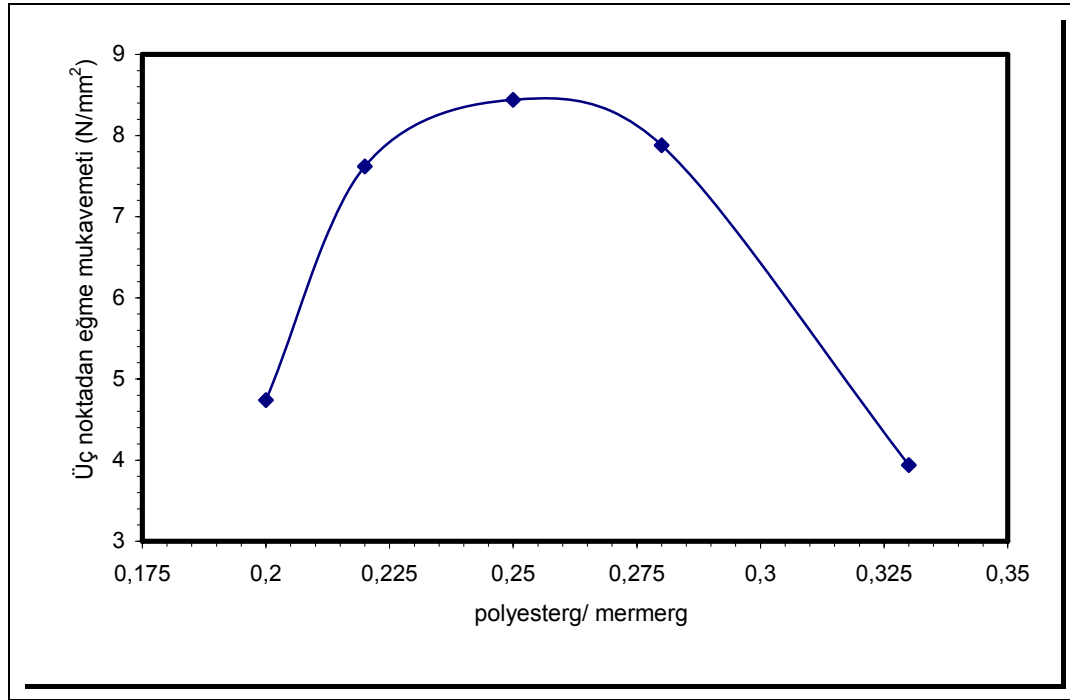
Polyester/Mermer Tozu Oranının Malzemenin Mukavemet Özelliklerine Etkisini incelemek üzere, bu grup deneylerin tamamında 50 gram polyester, kütlece % 0,1 oranında metil etil keton peroksit ve kobaltnaftanat sabit tutularak değişik miktarlarda mermer tozu parametrik olarak karıştırılarak 40°C sıcaklıkta malzeme oluşturulmuştur. Polyester/mermer tozu oranları kütlece 1/3; 1/3,5; 1/4; 1/4,5 ve 1/5 olarak değiştirilmiştir. Deneysel çalışmada belirtildiği gibi sabit tartıma getirilen malzemelerin kompozisyonlarına göre üç noktadan eğme mukavemetleri Şekil 1’de verilmektedir. Malzemeler 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 olarak kodlanmış ve mermer tozu değişiminin etkisini incelemek üzere (1.1-1.2-1.3, 1.4 kodlu) malzemelerin kompozisyonları Çizelge 4.1’ de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Mermer tozu değişiminin etkisini incelemek üzere numunelerin hazırlanmasında kullanılan madde miktarları

<i>Numuneler numaraları</i>	<i>1.1</i>	<i>1.2</i>	<i>1.3</i>	<i>1.4</i>	<i>1.5</i>
Mermer tozu(gram)	150	175	200	225	250
Polyester(gram)	50	50	50	50	50
Polyester g/ Mermer Tozu g	<i>1/ 3</i>	<i>1/ 3,5</i>	<i>1/ 4</i>	<i>1/ 4,5</i>	<i>1/ 5</i>

Her bir üç noktadan eğme deneyinde kaydedilen gerinim grafiğindeki maksimum dayanım değerleri alınarak parametrik grafikler oluşturuldu. Polyester/mermer tozu oranlarına göre üç noktadan eğme mukavemetlerinin değişimi Resim 4.1.’de

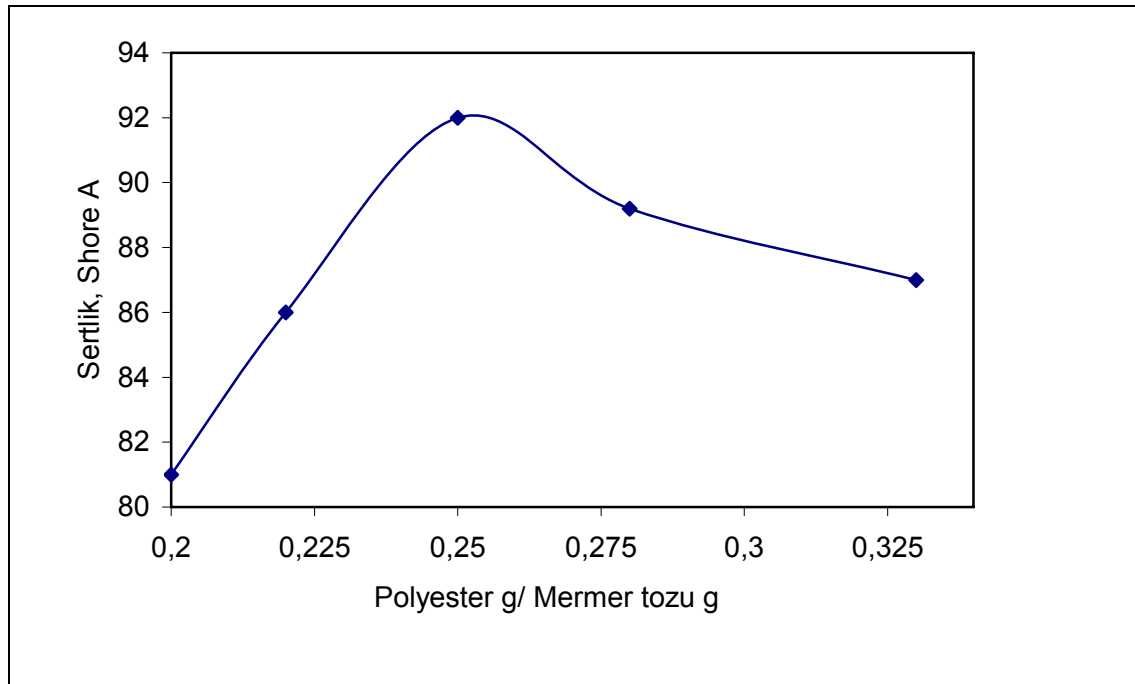
verilmekte olup, polyester/mermer tozu oranı 1/3 değerinden 1/4 değerine doğru azaldığında üç noktadan eğme mukavemeti değerlerinde artış kaydedilmiş olup, daha düşük oranlarda ise mukavemet değerlerinde azalma tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. Üç noktadan eğme mukavemetinin polyester g/ mermer g oranına göre değişim grafiği

Mukavemet değerlerindeki artışın takviye malzemesi olarak mermer tozu miktarı ile orantılı olup, kompozit malzeme özelliklerindeki mukavemet artışını yansıtmaktadır. Mermer tozu miktarlarındaki daha fazla artış, sabit miktardaki polyester tarafından yeterince bağlanmaması mukavemet değerlerinde azalmalara yol açmaktadır. Şekil 4.1.'de de görüldüğü gibi polyester/mermer oranının 0,25 olduğu örnek en yüksek eğme mukavemeti değerine sahiptir. Grafikte görüldüğü gibi polyester/ mermer oranı 0,33'te iken eğme mukavemeti 5,3 N/mm², polyester/mermer oranı 0,28'e düşürdüğümüzde eğme mukavemeti 7,58 N/mm²'ye çıkmaktadır. Polyester/mermer oranı 0,25 'e düşürdüğümüzde ise eğme mukavemeti 8,44 N/mm² çıkmıştır(Ek-2). Bu noktada maksimum değerine ulaşmıştır. Polyester/mermer oranı 0,22'ye düşürdüğümüzde ise eğme mukavemeti 6,21 N/mm²'ye düşmüştür. Polyester/mermer oranı 0,2'ye düşürdüğümüzde ise eğme mukavemeti 3,74 N/mm²'ye düşmüştür.

Shore sertlik değerlerinin polyester/mermer oranına göre değişimi değişimi şekil 4.2’de verilmekte olup Shore A sertliği şekil 4.2.’de de görüldüğü gibi polyester/mermer oranının 0,25 olduğ  örnek en yüksek sertlik değerine sahiptir. Söz konusu örneğin ortalama olarak elastik sertliği Shore A cinsinden 92 civarında ölçülmüştür.

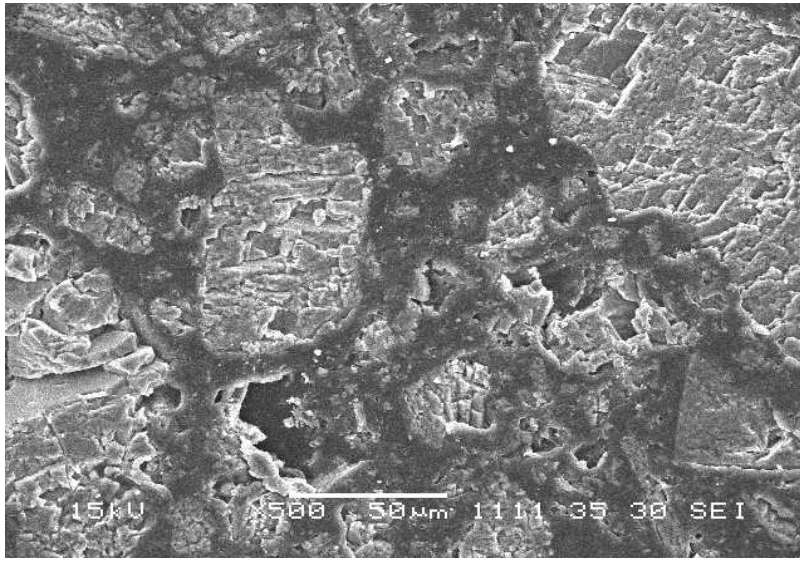


şekil 4.2. Shore sertlik değerlerinin polyester g/ mermer g oranına göre değişim grafiği

Test sonuçlarına bakıldığında polyester g/ mermer g oranı k t lece 0,2’den 0,25’e arttıkça mekanik özelliklerinde önemli artışlar kaydedilmiş olup, daha yüksek oranlarda ise mekanik özelliklerinde düşüşler tespit edilmiştir. Bu değişim mermer tozlarını çevreleyen polyester ile tanecikler arasındaki adezyon kuvvetlerinin değişiminden kaynaklanmaktadır. Yüksek polyester g/ mermer g tozu oranlarında tanecikleri bir arada tutan bağlayıcı yetersiz kalmaktadır. Bu durum sertlik ve üç noktadan eğme dayanımını olumsuz etkilemektedir.

Test sonuçları polyester g/ mermer g oranının 0,25 olduğ  durumda malzemenin diğerlerine göre daha yüksek mukavemet ve sertlik değerlerine sahip olduğ unu

göstermiş olup, en iyi SEM görüntüleri de bu oranda alınmıştır. Polyester g / Mermer g oranının kütlece 0,33, 0,25 ve 0,2 olduğu kompozit numunelerinin kesitinden alınan SEM görüntüleri Resim 4.1.'de verilmekte olup, en iyi homojen dağılmış faz görüntüleri Polyester g/ mermer g oranı 0,25 olan numunede kaydedilmiştir. Bu sonuçlar söz konusu örnekte mermer ile polyester arasındaki etkileşimin diğerlerine oranla çok daha iyi olduğu kanaatini doğurmaktadır.



Resim 4.1. Numunelerin SEM fotoğrafı (polyester g / mermer g oranının 0,25)

Bu bölümün sonunda da en iyi sonucu veren polyester g/ mermer tozu g 0,25 oranı sabit tutulmuş ve sonraki çalışmalarda bu oran üzerinden devam edilmiştir.

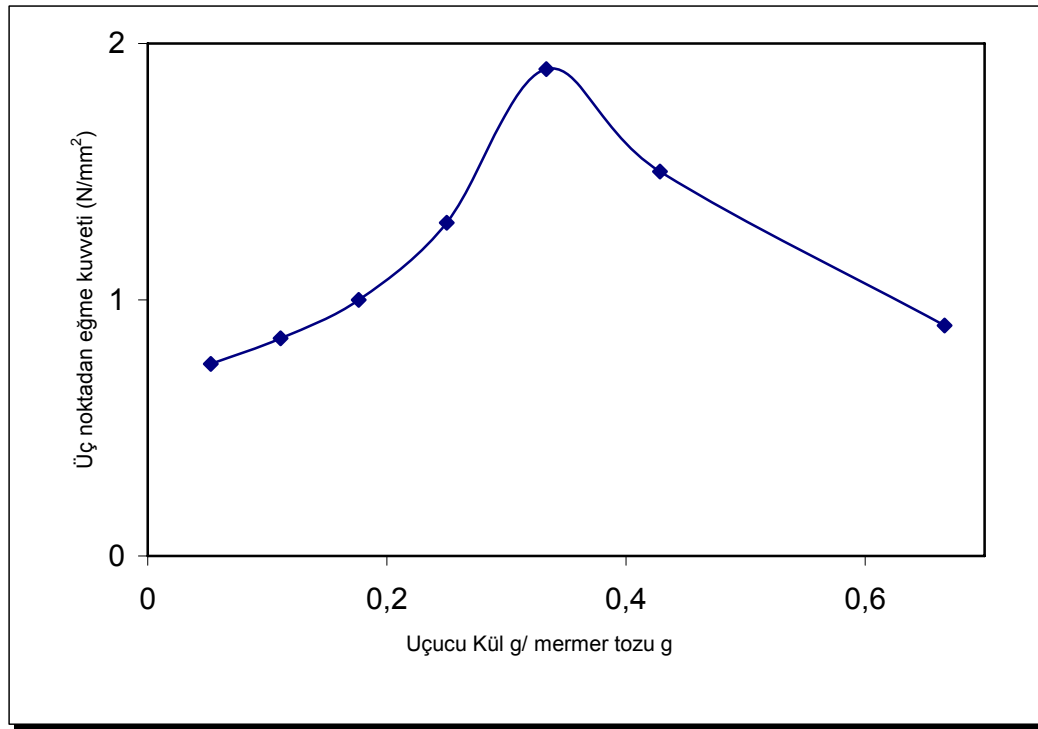
4.2. Uçucu Kül / Mermer Tozu Oranlarının Malzemenin Mukavemet Özelliklerine Etkisi

Uçucu kül ilavesiyle değişiminin etkisini incelemek üzere Malzemeler (2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17) numaralanmış ve numunelerin içerdiği madde miktarları Çizelge 4,2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Uçucu kül (Elbistan) ilavesiyle değişiminin etkisini incelemek üzere numunelerin hazırlamasına kullanılan madde miktarları

<i>Numuneler numaraları</i>	<i>2.11</i>	<i>2.12</i>	<i>2.13</i>	<i>2.14</i>	<i>2.15</i>	<i>2.16</i>	<i>2.17</i>
Uçucu Kül(gram)	10	20	30	40	50	60	70
Mermer tozu(gram)	190	180	170	160	150	140	130
Uçucu Kül(gram) / Mermer tozu(gram)	<i>0,052</i>	<i>0,111</i>	<i>0,176</i>	<i>0,25</i>	<i>0,333</i>	<i>0,428</i>	<i>0,666</i>
Polyester(gram)	50	50	50	50	50	50	50
Polyester(gram)/ Dolgu maddesi(gram)	<i>0,25</i>	<i>0,25</i>	<i>0,25</i>	<i>0,25</i>	<i>0,25</i>	<i>0,25</i>	<i>0,25</i>

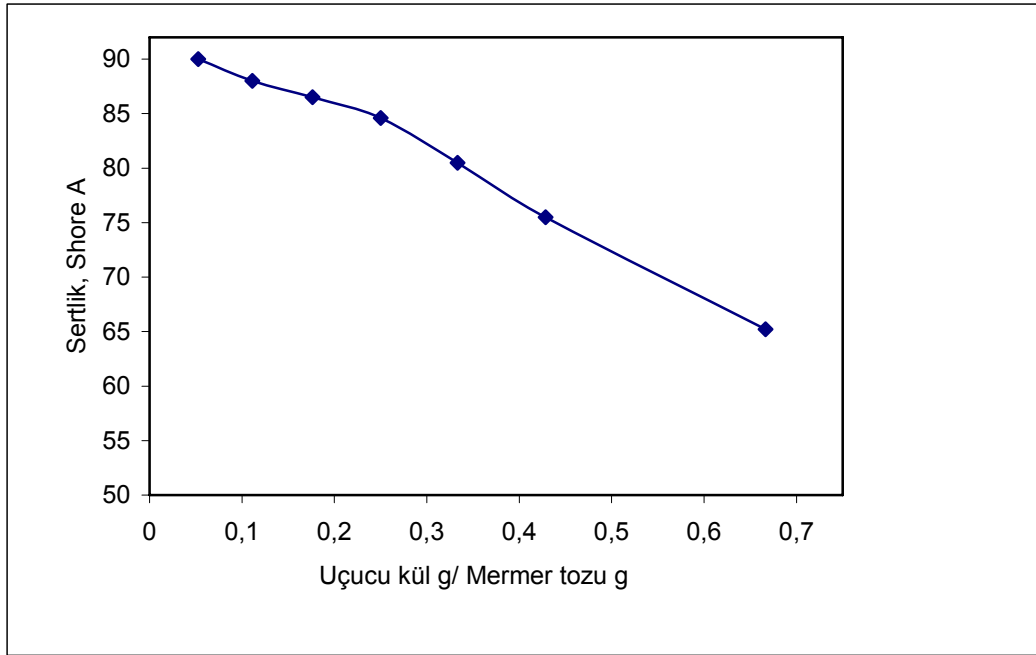
İkinci aşamada ise birinci aşamamada en iyi sonucu veren polyester g/ Mermer Tozu g 0,25 oranı seçilmiş ve bundan sonraki çalışmalarda bu değerler sabit tutulmuştur. Deneysel çalışma kapsamında, Uçucu kül/ mermer tozu oranının malzemenin mukavemet özelliklerine etkisini incelemek üzere bu grup deneylerin tamamında 50 gram polyester, kütlece % 0,1 oranında metil etil keton peroksit ve kobal naftanat, değişik miktarlarda mermer tozu ile uçucu kül karıştırılarak 40 °C sıcaklıkta malzeme oluşturulmuştur, uçucu kül olarak Elbistan termik santralinden alınan uçucu kül kullanılmıştır. Deneysel çalışmada belirtildiği gibi sabit tartıma getirilen malzemelerin malzemelerin kompozisyonlarına göre üç noktadan eğme mukavemetleri Şekil 4.3'te verilmektedir. Uçucu kül ilavesiyle değişiminin etkisini incelemek üzere malzemeler içerdiği madde miktarları Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Üç noktadan eğme mukavemetinin uçucu kül (Elbistan) g/ mermer g oranına göre değişimi

Her bir üç noktadan eğme deneyinde kaydedilen gerilim gerinim grafiğindeki maksimum dayanım değerleri alınarak parametrik grafikler oluşturuldu. Uçucu kül /mermer tozu oranlarına göre üç noktadan eğme mukavemetlerinin değişimi Şekil 4.3’de verilmekte olup, uçucu kül/ mermer tozu oranı mukavemet değerlerinin çok düşük olduğu tespit edilmiştir.

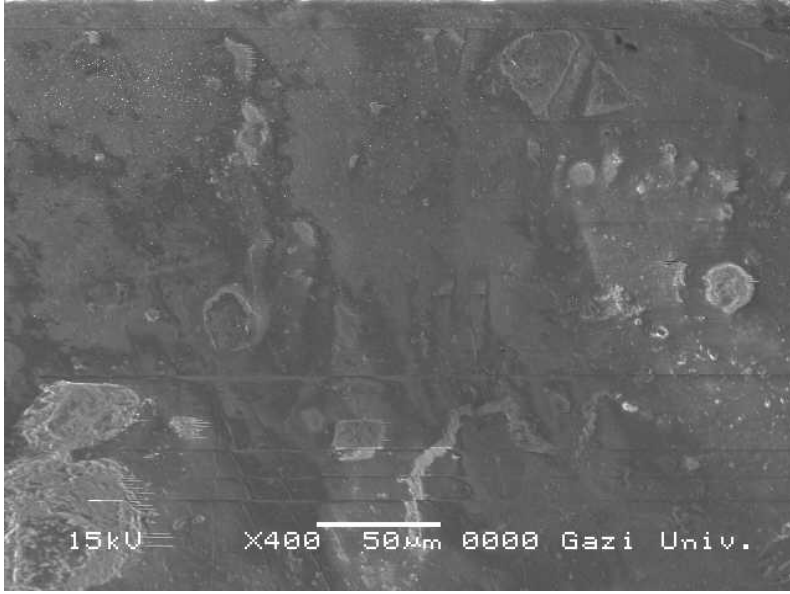
Grafikte, malzemelerde kül/mermer oranı arttıkça yani kül miktarı belirli ölçüde arttırıldığında daha yüksek eğme mukavemeti değerleri tam olarak sağlanamadığı ihtimali göz önüne alınarak malzemelerin değişik bölgelerinden ölçümler tekrarlanmış ve her bir örnek için bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Şekil 4.4’de görüldüğü gibi uçucu kül/mermer tozu oranı arttıkça sertlik değeri düşmektedir.



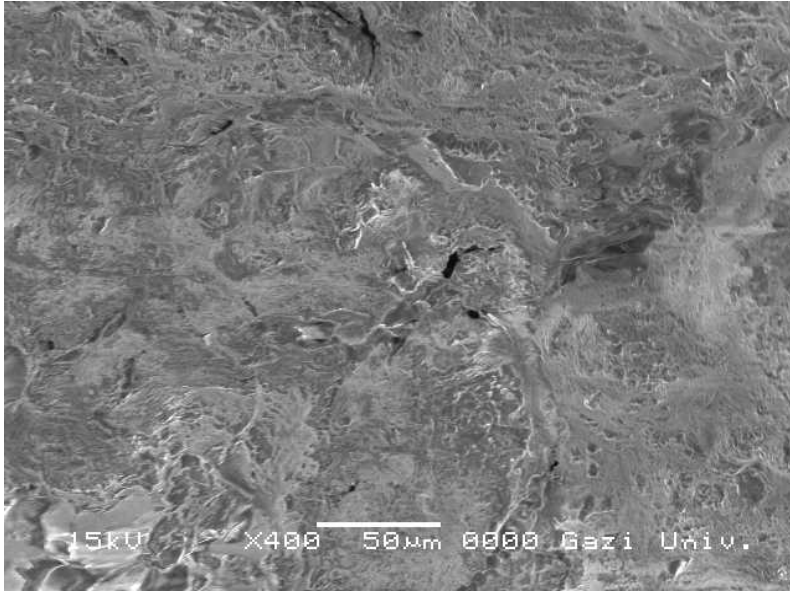
Şekil 4.4. Shore sertlik değerlerinin uçucu kül (Elbistan) g/ mermer g oranına göre değişim grafiği

Söz konusu örneğin ortalama olarak sertliği Shore A cinsinden 65,2 olarak ölçülmüştür. Sertlikte kül oranı artıkça malzemenin sertliğinin belirgin bir şekilde azaldığı grafikte görülmektedir. Sertliğin ve mukavemetin Elbistan uçucu külü ile azalması bağlayıcının dolgu maddesini yeterince bağlayamadığı ve bunun nedenide Elbistan uçucu külündeki aktif silisin düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

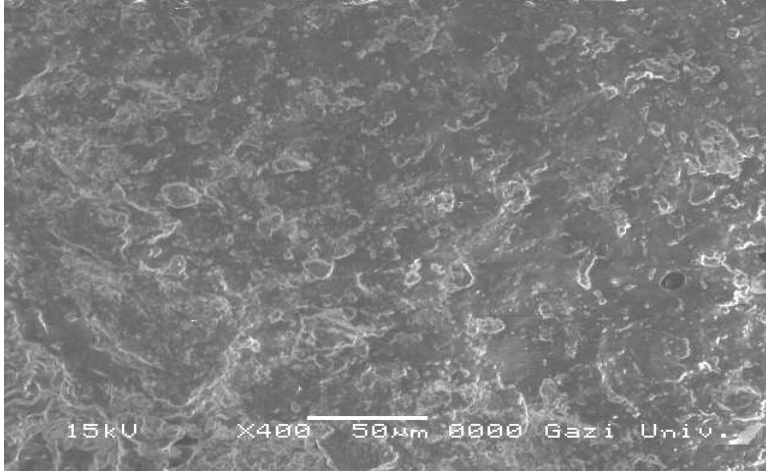
Uçucu Kül/mermer tozu oranının kütlece 0,11; 0,25 ve 0,66 olduğu kompozit malzemelerin kesitinden alınan SEM görüntüleri Resim 4.1’de, Trinoküler mikroskop görüntüleri ise Resim 4.2- Resim 4.4’de verilmiştir.



Resim 4.2. Numunelerin taramalı elektron mikroskopi altında kül/ mermer oranı 0,11 olan malzemenin görüntüsü



Resim 4.3. Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskopi altında uçucu kül (Elbistan)/ mermer oranı 0,25 olan malzemenin görüntüsü



Resim 4.4. Numunelerin taramalı elektron mikroskopu altında kül/ mermer oranı 0,66 olan malzemenin görüntüsü alınan görüntüsü

En iyi homojen dağılmış faz görüntüleri kül/mermer oranı 0,66 olan malzemede kaydedilmiştir. Bu sonuçlar söz konusu örnekte mermer ile polyester arasındaki etkileşimin diğerlerine oranla daha iyi olduğunu göstermektedir. Ancak burada üç nokta eğme deneyinden elde edilen üç noktadan eğme kuvveti az bulunduğu için uçucu külü Elbistan yerine yatağan uçucu külü kullanılarak deneyler tekrarlanmanın ve sonuçları karşılaştırmanın daha doğru olacağı kararına varılmıştır.

İkinci aşamada ise birinci aşamamada en iyi sonucu veren polyester / mermer tozu 0,25 oranı seçilmiştir. Elbistan külü yerine Yatağan külü kullanarak çalışmalara devam edilmiştir. Yatağan külünü seçmemizdeki amaç malzememizin mukamevet ve sertliğini arttırmak amaçlanmıştır. Yatağan külünün kimyasal bileşimini incelediğimizde istenilen sonucu elde edeceğimiz kanatına varılmıştır ve bu doğrultuda çalışılmıştır.

İkinci çalışmada 200 gram olan mermer tozunu azaltıp yerine azalttığımız ölçüde uçucu kül eklenerek yeni numuneler hazırlanmıştır. Deneysel çalışma kapsamında, Uçucu külü/Mermer Tozu Oranının Malzemenin Mukavemet Özelliklerine Etkisini incelemek üzere bu grup deneylerin tamamında 50 gram polyester, kütlece % 0,1 oranında metil etil keton peroksit ve kobal naftanat, değişik miktarlarda mermer tozu ile uçucu kül karıştırılarak 40 °C sıcaklıkta malzeme oluşturulmuştur, uçucu kül olarak Elbistan termik santralinden alınan uçucu kül kullanılmıştır. Malzemeler

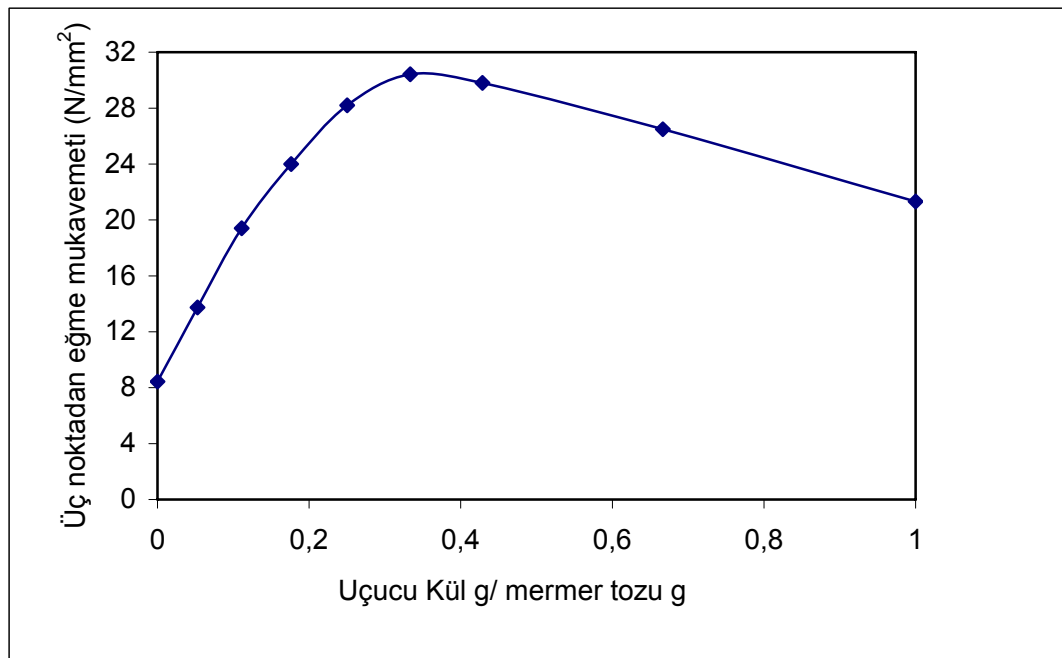
numaralarıyla 2,21; 2,22; 2,23; 2,24; 2,25; 2,26 ; 2,27 kodlanmış ve bu numaralı malzemelerin içerdiği madde miktarları ise çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Uçucu kül (Yatağan)ilavesiyle değişiminin etkisini incelemek üzere (2.21 - 2.22 - 2.23 - 2.24 - 2.25 - 2.26 - 2.27 kodlu) numunelerin hazırlamasına kullanılan madde miktarları

<i>Numuneler numaraları</i>	<i>2.21</i>	<i>2.22</i>	<i>2.23</i>	<i>2.24</i>	<i>2.25</i>	<i>2.26</i>	<i>2.27</i>	<i>2.28</i>
Uçucu kül(gram)	10	20	30	40	50	60	70	100
Mermer tozu(gram)	190	180	170	160	150	140	130	100
Uçucu Kül(gram) / Mermer tozu(gram)	<i>0,052</i>	<i>0,111</i>	<i>0,176</i>	<i>0,25</i>	<i>0,33</i>	<i>0,428</i>	<i>0,66</i>	<i>1</i>
Polyester(gram)	50	50	50	50	50	50	50	50
Polyester g/ Dolgu maddesi g	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4

Yatağan uçucu külü/ Mermer Tozu Oranları kütlece 10/190, 20/180, 30/170, 40/160, 50/150, 60/140 ve 70/130 olarak değiştirilmiştir. Deneysel çalışmada belirtildiği gibi sabit tartıma getirilen malzemelerin malzemelerin kompozisyonlarına göre üç noktadan eğme mukavemetleri Şekil 4.5’de verilmektedir.

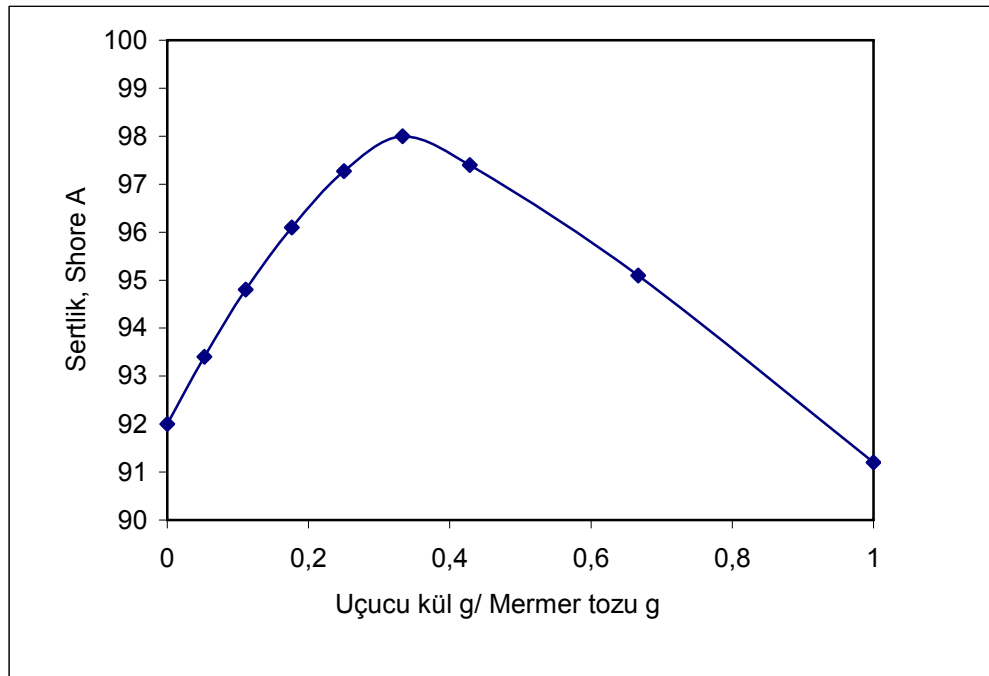
Diğer taraftan elde edilen malzemelerin sertlik değerleri Shore A cinsinden ölçülmüştür. Malzemedeki homojenliğin polyester, hızlandırıcı ve sertleştirici Şekiloranları sabit tutulup, sadece kül/mermer oranı 0,052; 0,11; 0,176; 0,25; 0,33; 0,428; 0,666 olarak değiştirilen malzemeler için üç noktadan eğme testleri yapılmıştır. Şekil 4.5’de görüldüğü üzere; Eğme mukavemetine karşılık kül/mermer oranı 2,21; 2,22; 2,23; 2,24; 2,25; 2,26 ; 2,27 numaralı malzemeler için grafiğe geçirilmiştir.



Şekil 4.5. Üç noktadan eğme mukavemetinin uçucu kül (Yatağan) g/ mermer g oranına göre değişim grafiği.

Şekil 4.5. de görüldüğü üzere; Eğme mukavemetine karşılık kül/mermer oranı 2,21; 2,22; 2,23; 2,24; 2,25; 2,26 ; 2,27 numaralı malzemeler için grafiğe geçirilmiştir.

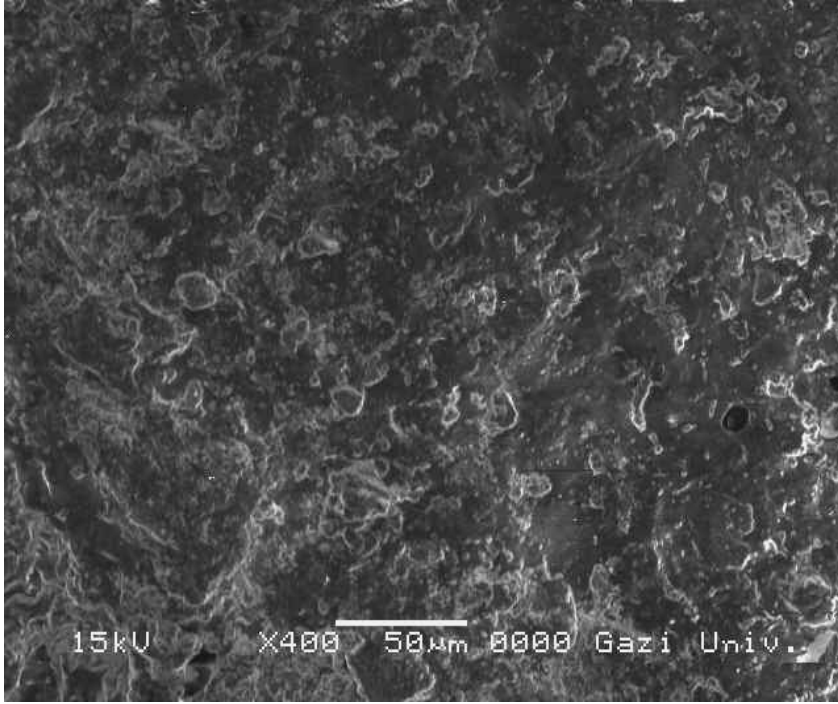
Yukarıdaki Şekil 4.5'i incelediğimizde yatağan külü/mermer oranı 0,33'e kadar üç noktadan eğme kuvveti artış göstermiştir. Üç noktadan eğme mukameveti kül/mermer oranı başlangıçta üç noktadan eğme kuvveti 8,44 N/mm² itibaren yükseliş kül/mermer oranı 0,33'lüğe kadar devam etmiş üç noktadan eğme kuvveti 30,42 N/mm² ye kadar yükselmiştir ve kül/mermer oranı 0,33'ten sonra düşüş kül/mermer oranı devam etmiş ve kül/mermer oranı 1'e doğru üç noktadan eğme kuvveti azalmıştır. Grafikten de anlaşılacağı üzere en iyi değer kül/mermer oranı 0,33'te üç noktadan eğme kuvveti 30,42 N/mm² elde edilmiştir. Şekil 4.5 incelendiğinde dolgu maddesindeki uçucu kül miktarı belli oranlardaki artış gerilme gerinme kuvvetinde artışa neden olmaktadır. Bu durum aslında endüstriyel atık olan uçucu külün belli oranlarda katılarak bir kompozit malzeme yapımında kullanılıp, değerlendirilebileceği ve aynı zamanda bu kompozit malzemenin özelliklerini iyi yönde artırıcı bir etkisi olduğu rahatlıkla söylenebilmektedir.



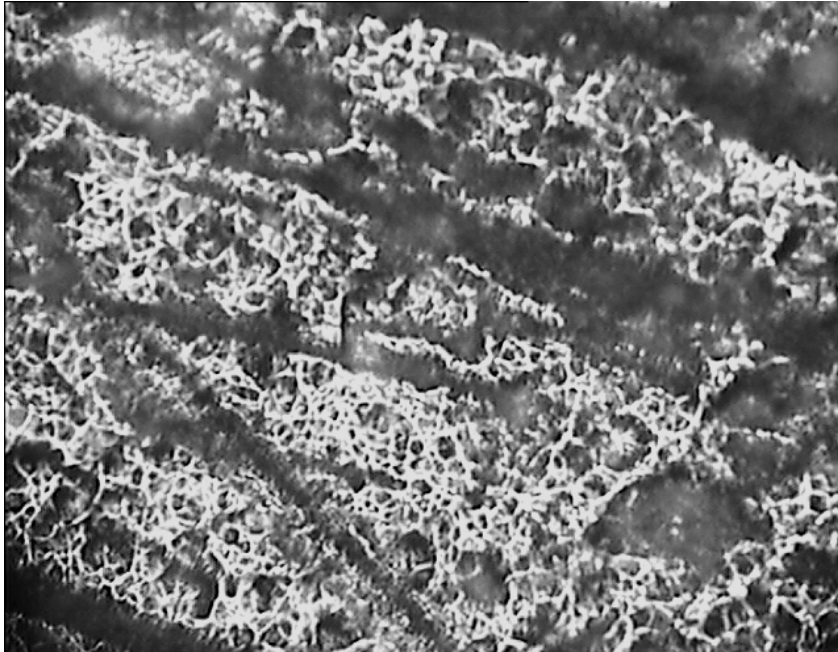
Şekil 4.6. Shore sertlik değerlerinin uçucu kül (Yatağan) g/ mermer g oranına göre değişim grafiği

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi başlangıçta kül/mermer oranı 0 iken, Shore A cinsinden 92'dir. Kül/mermer oranı 0,33'e kadar arttıldıkça sertlik değeri yükselmektedir. Bu noktada, uçucu külün puzolanik etkisi sonucu mukavemet artışlarının kaydedildiği düşünülmektedir [30].

Ayrıca mukavemet ile sertlik paralel olarak artış göstermektedir. Kül/mermer oranı 0,33'de söz konusu örneğin ortalama olarak sertliği Shore A cinsinden 98 olarak ölçülmüştür. Sertlikte Kül/mermer oranı 0,33'e kadar artıkça malzemenin sertliğinin belirgin bir şekilde arttığı grafikte görülmektedir. Sertlikte Kül/mermer oranı 1'e doğru arttırıldığında malzemenin sertliğinin belirgin bir şekilde azaldığı grafikte görülmektedir. Kül/mermer oranı 1'de sertliği Shore A cinsinden 91,2 olarak ölçülmüştür. Şekil 4.5'de gerilim gerinim mukavemeti ve şekil 4.6'da ve sertlik grafikleri incelendiğinde, mukavemet değerlerinin bir maksimumdan geçerek azaldığı gözlenmektedir. Dolgu maddesindeki uçucu kül miktarındaki artış ile gerilim gerinim mukavemeti ve sertlikte artışa neden olsa da daha sonra tekrar bir azalmaya neden olmaktadır. İki grafikte de ortak olan nokta yaklaşık kütlece 0,33 oranında uçucu kül içeren numunelerin en yüksek mukavemet değerleri göstermektedir. Gerilim gerinim mukavemeti ve sertlik daha fazla uçucu kül eklenmesiyle düşüşe geçtikten sonra belli bir noktaya geldikten sonra sabit kalış eğilimindedir. Bu durum dolgu maddesinde uçucu külün artması ile belli bir noktadan sonra takviye maddesinin yeterince iyi bağlayamadığını ve bu nedenle mekanik özelliklerde ve sertlikte azaldığı şeklinde yorumlanabilir.



Resim 4.5. Kompozit malzemelerin SEM görüntüleri (uçucu kül/mermer tozu kütleli oranı 1/3 ve polyester/dolgu maddesi oranı 0.25).



Resim 4.6. Kompozit malzemelerin Optik mikroskop görüntüleri (uçucu kül/mermer tozu kütleli oranı 1/3 ve polyester/dolgu maddesi oranı 0.25).

Yukarıdaki Resim 4.5'e baktığımızda uçucu kül/mermer tozu kütleli oranı 1/3 ve polyeſter/dolgu maddesi oranı 0,25 olan malzemenin a ſeklinde SEM görüntüleri b ſeklinde ise optik mikroskop görüntüleri verilmiſtir. Bu görüntüler de malzemenin üniformluluğu ve düzgün dağılım saęlamıſ yapısı görünmektedir. Yukarıdaki Resim 4.6'da iki görüntüde görülen parlak fazlar yoğunluğu az olan malzemeleri, rengi koyu olarak görünen fazlar ise yoğunluğu fazla olan malzemeleri göstermektedir. Fazların uniform olarak dağılmış olması matris ile takviye elemanı arasında uygun bir birleſme meydana geldiğini göstermektedir.

4.3. Hurda Termoplastik Miktarının Malzemenin Mukavemet Özelliklerine Etkisi

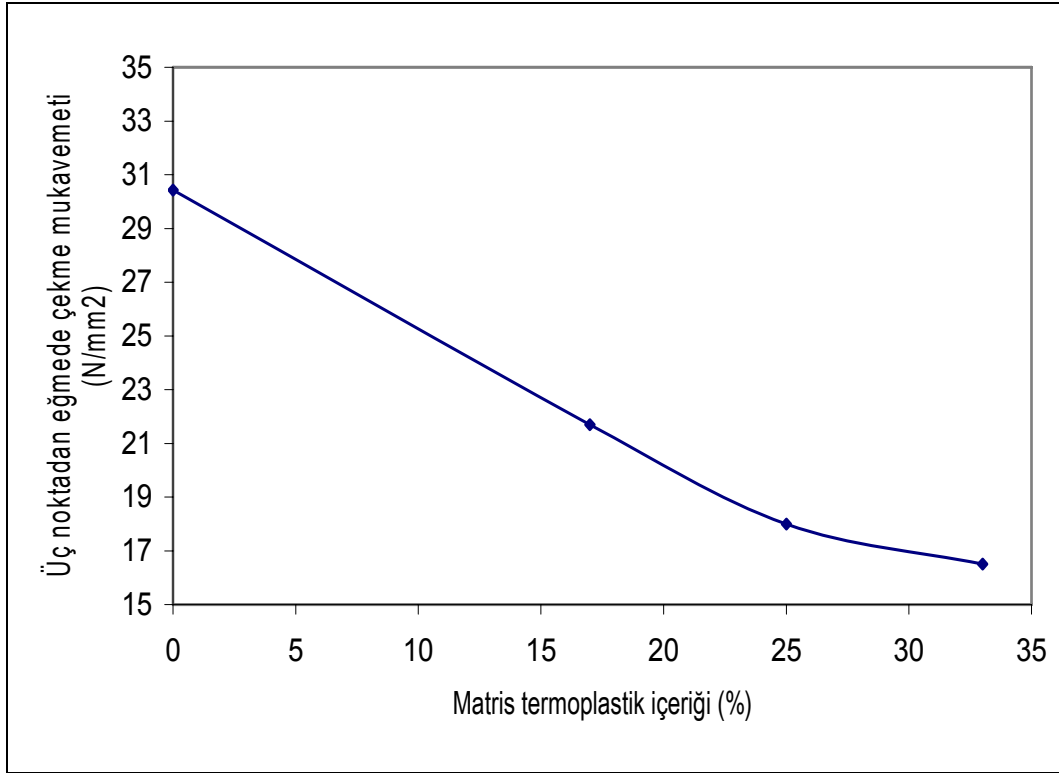
Üçüncü aſamada ise ikinci aſamada en iyi sonucu veren Çalışmada mermer tozu + uçucu kül/polyeſter daha önce yapılan çalışmalarda en iyi sonucu veren Dolgu miktarı (% 75 mermer tozu ile % 25 uçucu kül)/ matriks (%100 polyeſter) oranı baz alınarak çalışmalara başlanmıſtır. Çizelge 4.5.'de görüldüğü gibi bu deneyde azaltılan polyeſter oranı kadar termoplastik eklenmiſtir. Dolgu miktarı (% 75 mermer tozu ile % 25 uçucu kül)/ matriks % 100 polyeſter; Dolgu miktarı (% 75 mermer tozu ile % 25 uçucu kül)/ matriks (matris içeriği % 83 polyeſter, %17 termoplastik); /45 gram polyeſter + 15 gram termoplastik (matris içeriği %25 termoplastik); Dolgu miktarı (% 75 mermer tozu ile % 25 uçucu kül)/ matriks (matris içeriği %67 polyeſter, %33 termoplastik) oranlarında numuneler hazırlanmıſtır. Hızlandırıcı olarak kobalt naftanat, sertleſtirici olarak metil etil keton kullanılmıſtır.

Malzemeler numaralarıyla 3.1-4 olarak kodlanmış ve bu numaralı malzemelerin içerdii madde miktarları ise Çizelge 4.4'de verilmiſtir.

Çizelge 4.4. Hurda plastik ilavesiyle değişiminin etkisini incelemek üzere numunelerin hazırlamasına kullanılan madde miktarları

<i>Numuneler numaraları</i>	<i>3.1</i>	<i>3.2</i>	<i>3.3</i>	<i>3.4</i>
Uçucu Kül(gram)	60	60	60	60
Mermer tozu(gram)	180	180	180	180
Polyester(gram)	60	50	45	40
Termoplastik	0	10	15	20
Hızlandırıcı(gram)	0,5	0,5	0,5	0,5
Sertleştirici(gram)	0,5	0,5	0,5	0,5
Termoplastik/ Matriks	0	0,17	0,25	0,33

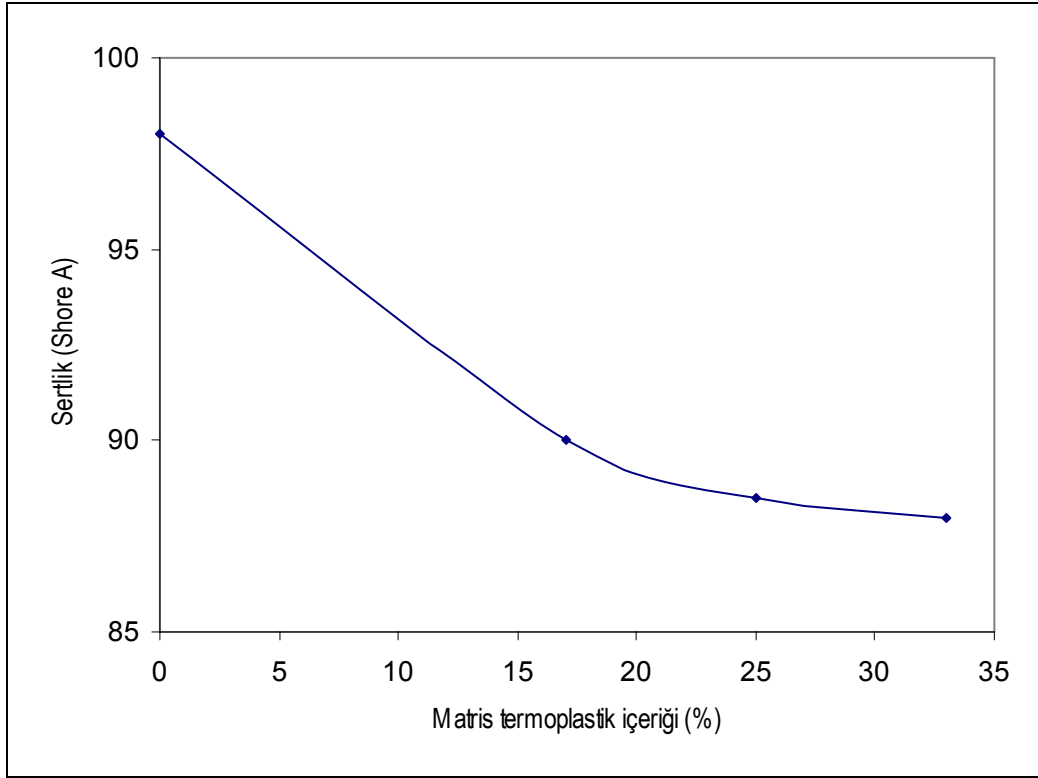
Şekil 4.7’de ise örneklerin üç noktadan eğme testlerinin sonuçları görülmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere polyester yerine eklenen termoplastik malzemenin mekanik özelliklerini azaltıcı etki yapmıştır.



Şekil 4.7. Üç noktadan eğme mukavemetinin hurda termoplastik katkısının göre değişim grafiği

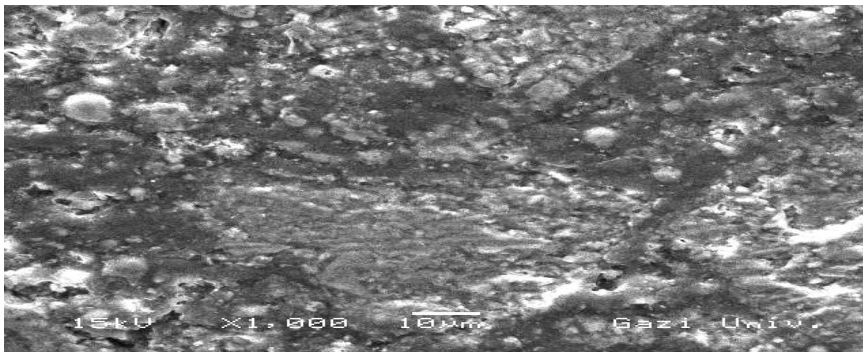
Test sonuçlarına bakıldığında matris içeriğinde termoplastik oranı arttıkça mekanik özelliklerinde düşüşler tespit edilmiştir. Bu değişim mermer tozlarını ve uçucu külü çevreleyen polyester ile tanecikler arasındaki adezyon kuvvetlerinin değişiminden kaynaklanmaktadır. Matris içerisindeki termoplastik oranı %0 iken, üç noktadan eğmede çekme mukavemeti değeri $30,42 \text{ N/mm}^2$ iken; %17 termoplastik içeriğinde bu değer değeri $21,7 \text{ N/mm}^2$, % 25 termoplastik içeriğinde $18,1 \text{ N/mm}^2$; %33 termoplastik içeriğinde $16,5 \text{ N/mm}^2$ olarak ölçülmüştür.

Şekil 4.8’de termoplastik içeriğine bağlı olarak numunenin sertlik değerlerinde meydana gelen değişimler görülmektedir. Elde edilen örneklerin sertlik değerleri Shore A cinsinden ölçülmüştür. Malzemedeki homojenliğin tam olarak sağlanamaması ihtimali dikkate alınarak numunenin değişik bölgelerinde ölçümler tekrarlanmış ve her bir örnek için bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Üç noktadan eğmede çekme mukavemeti testinde olduğu gibi polyester yerine eklenen termoplastik oranı arttıkça malzemenin sertlik değerinde düşüş meydana gelmiştir.

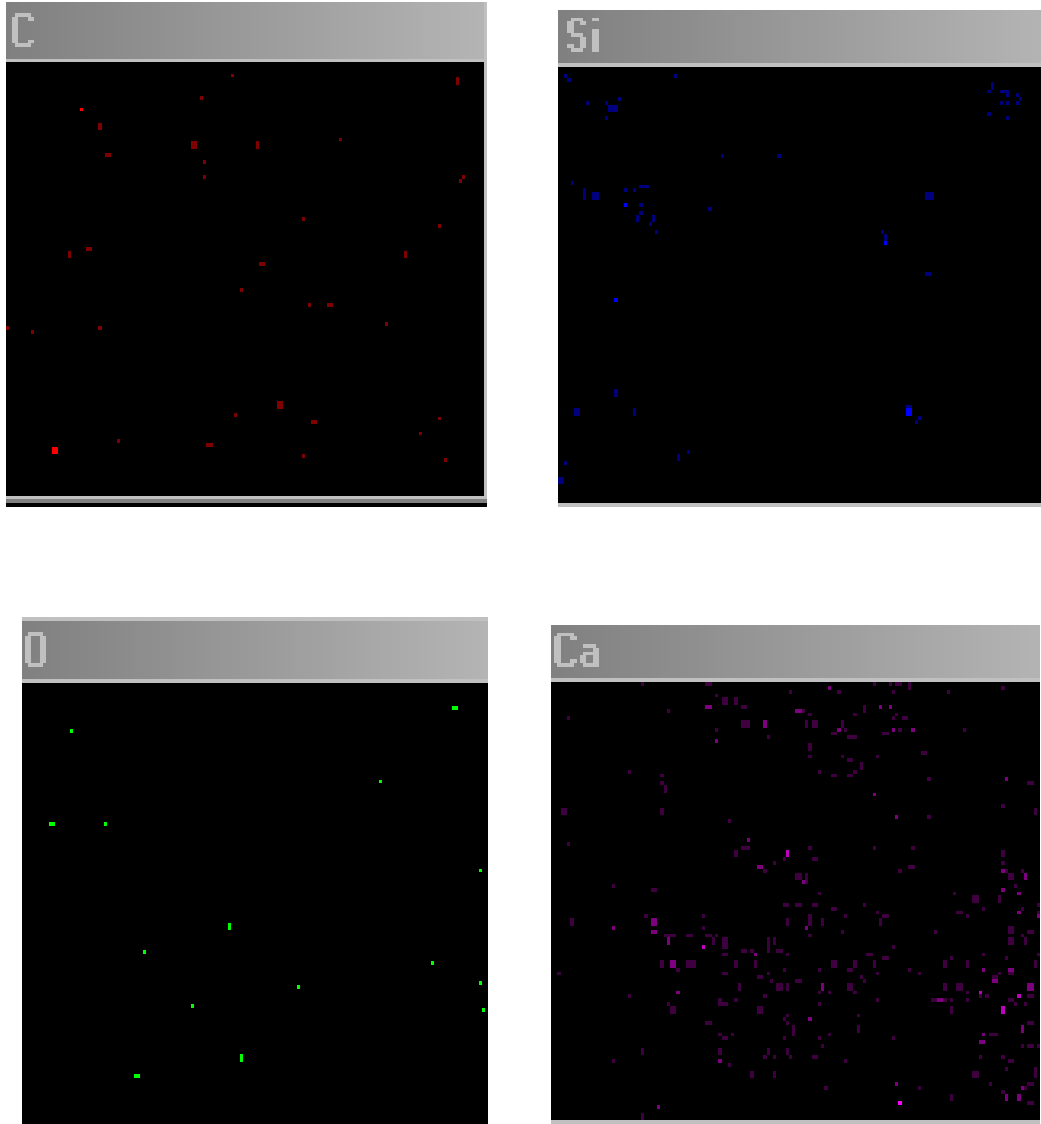


Şekil 4.8. Shore sertlik değerlerinin hurda termoplastik katkısına göre değişim grafiği

Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere mermer ve uçucu külü/polyester oranlarında termoplastik arttıkça tanecikleri bir arada tutan bağlayıcı yetersiz kalmaktadır. Bu durum sertlik ve üç noktadan eğme dayanımında az da olsa kayıplara yol açmaktadır. Resim 4.7 ve resim 4.8’de matris içeriği %0 termoplastik olan kompozit malzemenin SEM ve EDS analizlerinin sonuçları görülmektedir.

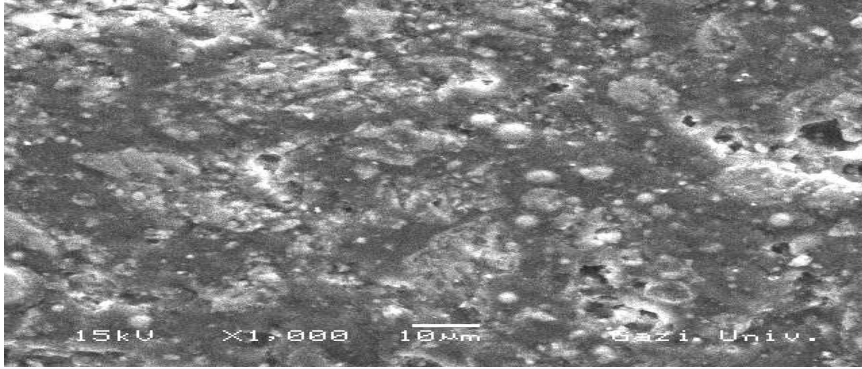


Resim 4.7. Matris termoplastik içeriğinin EDS analiz sonuçları (%0 termoplastik)

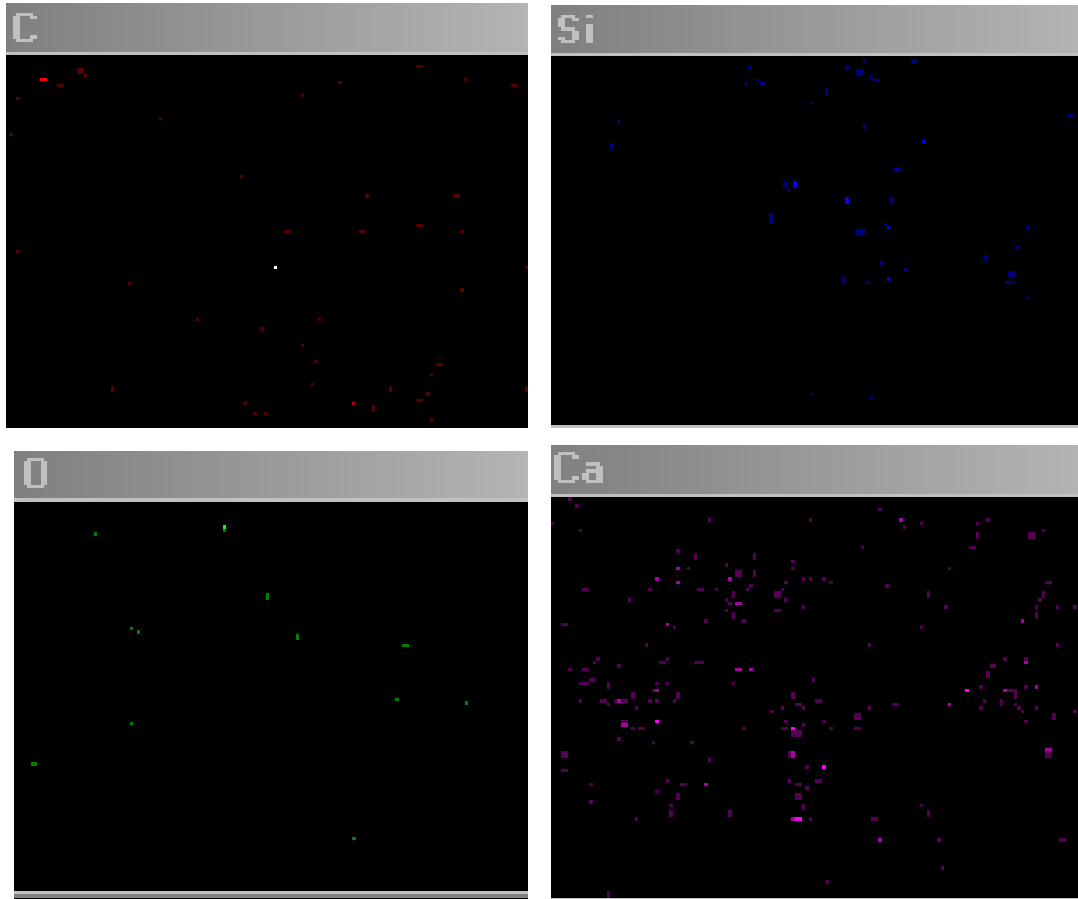


Resim 4.8. Matris termoplastik içeriğinin SEM görüntüsü ve elementel haritası (%0 termoplastik)

Resim 4.9 ve Resim 4.10'de matris içeriği %17 termoplastik olan kompozit malzemeye ait SEM ve EDS analizleri yer almaktadır. Şekil 4a malzemede yer alan elementlerin mol konsantrasyonlarını gösterirken Şekil 4b buna bağlı olarak elde edilen harita görüntülerini göstermektedir.



Resim 4.9. Matris termoplastik içeriğinin EDS analiz sonuçları (%17 termoplastik)



Resim 4.10. Matris termoplastik içeriğinin SEM görüntüsü ve elementel haritası (%17 termoplastik)

Resim 4.7-10,'a bakıldığında elementlerin malzeme içerisinde homojen bir dağılım gösterdiği görülmektedir.

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

Uçucu kül ve mermer tozu bir araya getirilerek elde edilen malzemelerde, kül oranının artması mukavemetin artmasına ve sertliğin düşmesine neden olmuştur. Böylece hem mukavemeti hem de sünekliği iyi olan malzemeler elde edilmiştir. Diğer yandan, uçucu kül ve mermer tozunu bağlamakta kullanılacak olan polyester reçinenin de belirli bir değerde olması gerektiği görülmüştür. Gerektiğinden az miktarda polyester kullanımında, polyesterin maddeleri bağlamada yetersiz kaldığı, yüksek miktarda kullanımında ise polyesterin takviye malzemesine göre daha zayıf özelliğinin malzemeye yansıttığı görülmüştür. En iyi karışımda elde edilen maksimum mukavemet $30,42 \text{ N/mm}^2$ ve maksimum sertlikte Shore A cinsinden 98'dir. Bu nedenledir ki gerektiğinden az veya fazla polyester kullanılması malzemenin mukavemetini düşürmektedir.

Malzemenin oluşturulması sırasında, karışımın iyi ayarlanıp, kalıplamanın iyi yapılması, deneyde daha hassas sonuçlar alınmasını sağlar. Bu yüzden sertleştirici eklendikten sonra malzeme çok iyi karıştırılıp hemen kalıplanmasına dikkat edilmesi iyi sonuçlar elde etmemizi sağlayacaktır. Öte yandan malzemenin kalıplardan iyi çıkarılamayışı nedeniyle malzeme yüzeyinde pürüzlülük oluşması alınan SEM ve trinoküler mikroskop görüntülerinin yeterli nitelikte olmamasına neden olmuştur.

Sonuç olarak elde edilen malzeme, mermere göre daha mukavemetli ve sünek olmasından dolayı mermerin kullanıldığı yerlerde rahatlıkla kullanılabilir. Ayrıca, mermerden daha fazla pürüzsüz olması ve mermerdeki damarlaşmanın üretilen malzemede görülmemesi yine bir avantaj olarak kabul edilebilir.

Mermerlerin limon, sirke gibi asidik maddelerden etkilenmesine karşın, önerilen kompozit malzemede herhangi bir etkilenme görülmemesi kaydedilen önemli bir avantajdır.

Tarım alanlarına, sağlığa ve çevreye olumsuz etkileri olan mermer tozlarının, uçucu külün, hurda termoplastiklerin bu araştırma sonucunda elde edilen malzeme ile bir taraftan kirlilik önlenirken diğer taraftan ekonomiye önemli kazançlar sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

1. Yıldırım, R., “Ceviz Kabuğundan Polimer Kompozit Levha Üretimi Ve Bazı Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi” Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 23-27 (2005)
2. Shwartz, M., M., “Composite Materials”, **Prentice Hall PTR**, New Jersey, 1-15:170-171 (1997).
3. Korçak, M., “Seramik Takviyeli Çinko Metal Matriksli Kompozit Malzeme Üretimi Ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 21-33 (2005).
4. Haris, B., “Engineering Composite Materials”, **The institute of metals**, London, 1-15:84-91(1986).
5. Gao, N.F., Kume, S., Watari, K., “Zeolite-carbon composites prepared from industrial wastes: (I) Effects of processing parameters ”, **Materials Science and Engineering**, 404:274-280, 25-29 (2005).
6. Rozenstrauha, I., Bajare, D., Cimdins, R., Berzina, L., Bossert, J., Boccaccini, A.R., “The influence of various additions on a glass-ceramic matrix composition based on industrial waste”, **Ceramics International** , 32:115-119(2005).
7. Yalçın, H., Gürü, M., “Malzeme Bilgisi” **Palme Yayıncılık**, Ankara, 395-398 (2002).
8. TS 639, “Uçucu Küller”, **TSE**, Ankara, (1975).
9. ASTM C 618, “Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a mineral admixture in Portland Cement Concrete”, **ASTM**, (1991).
10. Alkaya, D., “Uçucu kül katkısının dolgu zeminlerin stabilitesine etkisi” Doktora Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü**, 20-35 (2002).
11. İmançlı . G., “Uçucu Küllerin Zemin Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi” Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü**, 21-37 (2002).
12. Akgül. A., “Katkı Maddelerinin Beton Basınç Dayanına Etkisi” Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü**, 19-27 (2002).
13. Yaşar, H., “Plastikler Dünyası” **Makine Mühendisleri Odası**, Ankara, 22-44 (2001).

14. Agarwal, S.K., Gulati, D., “Utilization of industrial wastes and unprocessed micro-fillers for making cost effective mortars”, *Construction and Building Materials*, 20: 999-1004 (2006).
15. Sezer, A., İnan, G., Yılmaz, H. R., Ramyar, K., “Utilization of a very high lime fly ash for improvement of izmir clay ”, *Building and Environment*, 41: 150-155 (2006).
16. Hu, S., Guan, X., Ding, Q., “Research on optimizing components of microfine high-performance composite cementitious materials”, *Cement and Concrete Research*, 32: 1871-1875 (2002).
17. Li, Y., White, D.J., Peyton, R.L., “Composite material from fly ash and post-consumer PET”, *Resources Conservation and Recycling*, 24:87-93 (1998).
18. Potegieter, S., Potegieter, J.H., Kruger, R.A., Spolnik Z., Grieken R.V. “A characterisation of the surface properties of an ultra fine fly ash (UFFA) used in the polymer industry”, *Fuel*, 84:2295-2300 (2005).
19. Yu-Fen, Y., Guo-Sheng, G., Zhen-Fang, C., Qing-Ru, C. “Surface modification of purified fly ash and application in polymer”, *Journal of Hazardous Materials*, 133: 276-282 (2005).
20. Wu, H.C., Sun, P., “New building materials from fly ash-based lightweight inorganic polymer”, *Construction and Building Materials*, 21: 211-217 (2007).
21. Gorninski, J.P., Molin, D.C.D., Kazmierczak, C.S., “Study of the modulus of elasticity of polymer concrete compounds and comparative assessment of polymer concrete and portland cement concrete”, *Cement and Concrete Research* 34:2091-2095 (2004).
22. Wasserman, R., Bentur, A., “Effect of lightweight fly ash aggregate microstructure on the strength of concretes” *Pergamon*, 27: 525-537 (1997).
23. Hristova J.,Valeva V., Ivanova J., “Aging and filler effects on the creep model parameters of thermoset composites” *Composites Science and Technology* 62: 1097-1103 (2002).
24. Terzi, S., Karaşahin, M., “Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonunda Filler Olarak Kullanımının Araştırılması” , *Teknik Dergi*, 193: 2903-2922, (2003).
25. Khristova, Y., Aniskevich, K., “Prediction of creep of the epoxy resin filled with marble inclusions”, *Mechanic Composite Material*, 30:590-599, (1994).

26. Garcia, J., Mallol, C., Bou, E., Silva, G., Fernandez, J., Molina, A., Romera, J., “Recycling Marble working wastes in manufacturing ceramic products” **CFI Ceramic Forum International**, 80:84-90, (2003).
27. Aslan, A., Doktora Tezi, “Termik Santral ve biyokütle atıkları ile tras katkılarının çimentonun mekanik dayanım ve hidrasyon özelliklerine etkilerinin araştırılması” **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Eğitimi Enstitüsü** , 18-44 (1998).
28. Vicenzi, J., Villanova D.L., “HVOF – coatings against high temperature erosion (300°C) by coal fly ash in thermoelectric power plant” **Material Desing** 27:236-242 (2006).
29. Duran, A.C., “Yüksek oranda uçucu kül kullanımı ile üretilen betonun aşınma direnci”, **Teknik Dergi**, Ekim 11:4 (2000).
30. Gürü. M., Tekeli, S., Akın, E., “Manufacturing of Polymer Matrix Composite Material Using Marble Dust and Fly Ash” **J.of Key Engineering Material**, 336-338 :1353-1356 (2007).
31. Gürü. M., Akın, E., Akyüz, Y., Özçelik, E., “ Mermer Tozlarının Ve Hurda Plastiklerin Polimer Kompozit Mazeme Üretiminde Değerlendirilmesi” **GAP V.Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı**, Harran Üniversitesi Şanlıurfa 26-28 Nisan, 247-252 (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKIN, Emin
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 05.05.1980 Nazilli
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0505 432 84 08
 e-mail : eminakin36@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Bölümü	2004
Lise	Anadolu Teknik Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2007	Kiraz Y.İ.B.O./ İZMİR	Teknoloji ve Tasarım Öğretmeni

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Gürü. M., Akın, E., Akyüz, Y., Özçelik, E., “ Mermer Tozlarının Ve Hurda Plastiklerin Polimer Kompozit Mazeme Üretiminde *Değerlendirilmesi*” **GAP V.Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı**, Harran Üniversitesi Şanlıurfa 26-28 Nisan (2006)
2. Gürü. M., Tekeli, S., Akın, E., “Manufacturing of Polymer Matrix Composite Material Using Marble Dust and Fly Ash” **J.of Key Engineering Material**, 336-338 :1353-1356 (2007).