

**ATIK MERMER TOZU VE CAM ELYAF KATKISININ
BİRLİKTE KULLANIMININ BETONUN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Turan YILDIZ

**Yüksek Lisans Tezi
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Servet YILDIZ
EYLÜL-2012**

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

**ATIK MERMER TOZU VE CAM ELYAF KATKISININ BİRLİKTE KULLANIMININ
BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Turan YILDIZ

(08225102)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Eylül 2012

Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Eylül 2012

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Servet YILDIZ (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zülfü Çınar ULUCAN (F.Ü)

Doç. Dr. Oğuzhan KELEŞTEMUR (F.Ü)

EYLÜL-2012

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamda bana yalnızca fikir ve bilgi desteğinde bulunmayıp aynı zamanda motive edici konuşmalarından, davranışlarından en önemlisi anlayışından dolayı danışman hocam Sayın Doç. Dr. Servet YILDIZ'a teşekkürü borç bilirim.

Vermiş oldukları bilgiler ve fikirlerinden dolayı Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Öğretim Üyelerinden Sayın Doç. Dr. Oğuzhan KELEŞTEMUR'a, Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Öğretim Üyelerinden Sayın Yrd. Doç. Dr. Erdinç ARICI'ya; manevi ve fiziki desteklerinden dolayı Birsu ALİŞER'e, Leyla TURHAN'a ve Bihter GÖKÇER'e ayrı ayrı teşekkürlerimi sunuyorum.

Hayatımdaki yeri hep bambaşka olacak koca çınarım babama, her koşulda, sorgusuz sualsiz destekçim anneme, varlığından güç aldığım hayatımın payandası olan eşime ve yuvamızın çimentosu olan çocuklarıma sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Turan YILDIZ

ELAZIĞ - 2012

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ	X
KISALTMALAR LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
1.1 Lif	5
1.1.1 Lif Çeşitleri	5
1.1.1.1 Doğal Lifler	6
1.1.1.2 Yapay Lifler.....	7
1.1.1.2.1 Metalik Lifler.....	8
1.1.1.2.2 Polimerik Lifler	10
1.1.1.2.3 Cam Lifler.....	11
1.1.2 Taze Betonun İşlenebilirliğine Lif Etkisi	13
1.1.2.1 Lif Geometrisinin Etkisi	13
1.1.2.2 Lif Boyunun Etkisi	14
1.1.2.3 Lif Narinlik Oranı ve Lif Yüzdesinin Etkileri	14
1.1.3 Liflerin Beton Tokluğuna Etkileri	15
1.1.4 Liflerin Betonun Basınç Dayanımına Etkileri	15
1.1.5 Liflerin Betonun Eğilme Dayanımına Etkileri	16
1.1.6 Liflerin Betonun Çekme Davranışına Etkileri	16
1.1.7 Lif Takviyeli Betonların Kullanım Alanları	16
1.2 Mermer	17
1.2.1 Mermerlerin Sınıflandırılması	17
1.2.1.1 Mineral Bileşim ve Oranlarına Göre Sınıflandırma	18
1.2.1.2 Kristal Boyutlarına Göre Mermer Sınıflandırması	18
1.2.1.3 Yapı ve Dokularına Göre Sınıflandırma.....	18
1.2.1.4 Kökenlerine (Oluşumlarına) Göre Sınıflandırma	18
1.2.2 Mermerlerin Özellikleri	19
1.2.2.1 Fiziksel Özellikler.....	19
1.2.2.2 Kimyasal Özellikler	22
1.2.2.3 Mekanik Özellikler	22
1.2.3 Mermerlerde Üretim Kayıpları	23
1.2.3.1 Mermer Üretim Tesislerinde Atıkların Oluşumu	24
1.3 Mermer Tozu	25
1.3.1 Mermer Atık Tozlarının Çevresel Etkileri.....	26
1.3.2 Mermer Atıklarının Değerlendirildiği Yerler	26
1.4 Çalışmanın Literatürdeki Yeri	31
2. MATERYAL ve METOT	34
2.1 Numunelerin Hazırlanmasında Kullanılan Malzemeler	34
2.2 Numunelerin Hazırlanması ve Karışım Oranları	38
2.2.1 Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler	39
2.2.1.1 Porozite Tayini.....	40

2.2.1.2	Ultrases Geçiş Hızı Tayini.....	40
2.2.1.3	Basınç Dayanımı Tayini	41
2.2.1.4	Yarmada-Çekme Dayanımı Tayini.....	42
3.	BULGULAR.....	43
3.1	Porozite Tayini Deney Sonuçları.....	43
3.2	Ultra Ses Geçiş Hızı Tayini Sonuçları.....	45
3.3	Basınç Dayanımı Tayini Sonuçları.....	47
3.4	Yarmada Çekme Dayanımı Tayini Sonuçları.....	51
3.5	Deney Bulgularının Değerlendirilmesi.....	53
4.	SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	55
5.	ÖNERİLER.....	58
	KAYNAKLAR	59
	ÖZGEÇMİŞ	63

ÖZET

Bu çalışmada; Su/çimento oranları 0,63 olan, 300 ve 350 dozlu, 5, 10, 15, 20 kg/m³ oranlarında cam elyaf içeren ve hacimce ince malzeme ile (0 – 0,25) yer değiştirilmek suretiyle %25, %50, %75, %100 oranlarında ilave edilen atık mermer tozuyla imal edilmiş 100mm x 100mm x 100mm'lik beton numunelerin porozite, ultra ses geçiş hızı tayinleri yapılmıştır. Ayrıca basınç ve yarmada çekme dayanımlarına bakılmıştır.

Çalışma sonucunda, cam lif içeriğinin artması ile porozite değerlerinde artış meydana gelmiştir, bunun yanı sıra ultra ses geçiş hızlarında azalma tespit edilmiştir. Numunelerin basınç dayanımlarında da düşüşler görülmüştür. Ancak yarmada çekme dayanımları 15 kg/m³ cam lif oranlarına kadar artış gösterirken 20 kg/m³ cam lif içeren numunelerde yarmada çekme dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. Yalnız bu azalmaya rağmen kontrol numunesinden daha yüksek bir yarmada çekme dayanımı sağlamıştır.

Mermer tozu ilavesinin cam lifin meydana getirdiği tüm olumsuz etkileri iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Özellikle %75 oranında mermer tozu ilaveli betonlarda ortalama %21,87'lik bir basınç dayanımı artışı meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton, cam lif, mermer tozu, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı,

SUMMARY

Effects of Coultiraton of Waste Marble Powder and Glass Fiber Additive on the Mechanical Properties of Concrete

In this study, the porosity and the ultrasonic pulse velacity of concrete samples of 100 mm x 100 mm x 100 mm were determined. The water-cement ratio of these samples was 0,63 and they consisted of glass fiber with doses of 300 and 350 and varying addition rates of 5, 10, 15 and 20kg/m³. Waste marble powder was added to the samples at ratios of 25%, 50%, 75% and 100% to replace low volume material (0-0, 25). The compressive strength and splitting tensile strength of the samples were studied as well.

The study shows that an increase in glass fiber content led to an increase in posity as well as a decrease in ultrasonic pulse velocity. A decrease in the compressive strenght of the samples was also observed. However, while the splitting tensile strenght of the samples with up to 15kg/m³ of glass fiber was enhanced, the samples with 20 kg/m³ of glass fiber manifested a decline in splitting tensile strenght. Despite this decline, the splitting tensile strenght of these samples was still enhanced compared to that of the control sample.

It has been observed that the addition of marnle powder has counteracted all the undesirable effects that glass fiber can bing about. Especially in concretes with an addition of 75% marble powder, an average enhancement of 21,87% in compressive strenght has resulted.

Key words: Concrete, glass fiber, marble powder, compressive strenght, splitting tensile strenght

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan agregaya ait granülometri eğrisi.....	34
Şekil 2.2 Elazığ Alacakaya Mermer ve Maden İşletmesi San. ve Tic. A.Ş. tarafından üretilen iki ayrı mermer türünün (Elazığ vişne, Hazar bej) üretimleri sırasında açığa çıkan sulu atıkları.....	36
Şekil 2.3 Mermer tozu ve ince agreganın granülometri eğrisi	36
Şekil 2.4 Ultrases geçiş hızı deney düzeneği ve ölçüm cihazı	40
Şekil 2.5. Beton basınç dayanımı test cihazı	41
Şekil 2.6. Yarmada çekme dayanımı deney düzeneği	42
Şekil 3.1. Numunelerden elde edilen porozite değerleri değişimi (300 Çimento dozajı için)	44
Şekil 3.2 Numunelerden elde edilen porozite değerleri değişimi (350 Çimento dozajı için)	44
Şekil 3.3. Topaklanmayı ve beton ile lif arasındaki aderansın yeterli olmamasından dolayı oluşan boşlukları gösteren SEM görüntüsü	45
Şekil 3.4. Numunelerden elde edilen ultra ses hızı değişimi (300 Çimento dozajı için)	46
Şekil 3.5. Numunelerden elde edilen ultra ses hızı değişimi (350 Çimento dozajı için)	47
Şekil 3.6. Numunelerden elde edilen basınç dayanımı değişimi (300 Çimento dozajı için)	48

Şekil 3.7. Numunelerden elde edilen basınç dayanımı değişimi (350 Çimento dozajı için)	49
Şekil 3.8. 350 çimento dozlu, 20 kg/m ³ cam lif içeren beton numunesine ait SEM görüntüsü.....	50
Şekil 3.9. Numunelerden elde edilen yarmada çekme dayanımı değişimi (300 Çimento dozajı için)	52
Şekil 3.10. Numunelerden elde edilen yarmada çekme dayanımı değişimi (350 Çimento dozajı için)	52

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Yapı betonlarının bazı özelliklerine ait tipik değerler.....	1
Tablo 1.2. Değişik türdeki liflere ait fiziksel özellikler.....	6
Tablo 1.3. Bazı metalik liflerin tipik özellikleri	8
Tablo 1.4. Polimer liflerin fiziksel özellikleri	11
Tablo 1.5. Bazı cam liflerin tipik özellikleri.....	12
Tablo 1.6. Lif takviyeli kompozitlere katılan lifler ve uygulama alanları.....	12
Tablo 1.7. Lif takviyeli betonların tokluk değerlerinin, lifsiz betonla karşılaştırılması.....	15
Tablo 1.8. Lif takviyeli betonların eğilme dayanımının, lifsiz betonla karşılaştırılması.....	16
Tablo 1.9. Kristal boyutlarına göre mermerlerin sınıflandırılması.....	18
Tablo 1.10. Fiziko-Mekanik analiz sonuçlarına göre mermerlerin kullanılabilirlik sınırları.....	23
Tablo 2.1. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan çimentoya ait özellikler.....	35
Tablo 2.2 Numunelerin hazırlanmasında kullanılan cam life ait özellikler	35
Tablo 2.3 Mermer özellikleri.....	37
Tablo 2.4. Mermerin kimyasal özellikleri	37
Tablo 2.5. Numunelere ait karışım oranları (1m ³ beton için).....	38
Tablo 3.1. Numunelerin porozite değerleri	43
Tablo 3.2. Numunelere ait ultra ses geçiş hızı değerleri	46
Tablo 3.3. Numunelere ait basınç dayanımı değerleri.....	48
Tablo 3.4. Numunelere ait yarmada çekme dayanımı değerleri.....	51

SEMBOLLER

d	: Numunenin en kesit boyutu (mm)
d	: Lip apı (mm ²)
F	: Kırılma yükü (N)
f_{ct}	: Yarmada çekme dayanımı (MPa)
L	: Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu (mm)
L	: Lif boyu (mm)
P	: Porozite (%)
S	: Numunenin ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (metre)
T	: Ses üstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı diğer yüzeye kadar geçen zaman (mikro saniye)
V	: Ses üstü dalga hızı (km/sn)
W_{dyk}	: Numunelerin doygun yüzey kuru ağırlığı (kg)
W_{kuru}	: Numunelerin etüv kurusu ağırlığı (kg)
W_{su}	: Numunelerin su altındaki ağırlığı (kg)

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing And Materials
Ca	: Kalsiyum
CLTK	: Cam Lif Takviyeli Kompozit
Co	: Kobalt
Cr	: Krom iyonu
ÇLTB	: Çelik Lif Takviyeli Beton
FRC	: Fiber Reinforced Concrete
Mg	: Magnezyum
MLTB	: Metal Lif Takviyeli Beton
MPa	: Megapaskal
O	: Oksijen
S	: Kükürt
Si	: Silisyum
TS	: Türk Standartları

1. GİRİŞ

Beton, sudan sonra dünyada en fazla kullanılan malzeme durumundadır [1]. Betonun bu kadar fazla tüketilmesindeki en büyük etken emsallerine göre daha ekonomik olmasıdır. Örneğin; beton, çelikten 20 kat daha az enerji ile üretilmektedir [2].

Beton; agrega, çimento ve suyun birlikte karılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir. Taze beton başlangıçta, şekil verilebilir ve plastik bir durumdadır. Ancak, çimento ve suyun arasında hemen başlayan kimyasal reaksiyonların (hidratasyonun) etkisiyle, taze betonun başlangıçtaki plastik durumu zamanla azalmakta ve sert bir hale gelmektedir [3].

Beton, günümüzde yaşam mekânlarından spor tesislerine, ulaşım yapılarından barajlara, su depolarından enerji nakil yapılarına kadar birçok uygulama alanına sahip olan popüler bir malzemedir. Yapıda kullanılan betona ait tipik bazı değerler Tablo 1.1’ de verilmiştir.

Tablo 1.1. Yapı betonlarının bazı özelliklerine ait tipik değerler [3].

Özellikler	Tipik değerler
Basınç dayanımı (MPa)	35
Eğilme dayanımı (MPa)	6
Çekme dayanımı (MPa)	3
Elastiklik modülü (MPa)	28000
Poisson oranı	0.20
Kırılmadaki çekme birim deformasyonu (%)	0.001
Büzülme (rötre) birim deformasyonu (%)	0.05-0.1
Isısal genleşme katsayısı (°C)	10×10^{-6}

Betonun bu kadar popüler bir yapı malzemesi olmasının sebepleri, bu malzemenin sahip olduğu üstün özelliklerdendir. Bu önemli özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir [3].

1. Betonun taze haldeki plastik özelliği, onun istenilen şekilde kolayca üretilmesini sağlar.
2. Beton malzeme, yapıdaki yerinde üretilbileceği gibi, fabrika veya atölyelerde üretilerek yapıya sertleşmiş halde getirilebilir.

3. Beton yerleştirme yöntemlerinde çeşitlilik ve kolaylık bulunmaktadır. İstenilen noktaya ve yüksekliğe pompalanarak ya da taşınarak yerleştirilebilir.
4. Sertleşmiş haldeki beton, yüksek basınç dayanımına sahiptir.
5. Hizmet süresi boyunca, çevreden gelen yıpratıcı etkilere diğer yapı malzemelerinden daha dayanıklıdır.
6. Beton, çelik donatılarla çok iyi aderans gösterdiğinden, bazı uygulamalar için çelik donatılarla güçlendirilebilmektedir.
7. Beton diğer yapı malzemelerine göre daha ekonomiktir. Betonu oluşturan elemanlardan sadece çimento fabrikada önceden üretilmektedir.
8. Beton elemanlara istenilen şekil ve yüzey dokusu verilebilmektedir. Bu nedenle estetik amaçlarla kullanıma uygundur.

Betonun avantajlarının yanı sıra diğer yapı malzemelerine göre bazı eksik yönleri bulunmaktadır. Betonun dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [3].

1. Sertleşmiş haldeki beton, çekme dayanımı düşük bir malzemedir. Çekme ve eğilme yükleri altında kolayca çatlayabilmektedir.
2. Sertleşmiş beton, gevrek bir özellik göstermektedir. Bu özelliği sebebiyle betonun darbe dayanımının ve tokluk değerinin az olmasına sebep olur.
3. Beton, ıslanma-kuruma veya sıcaklık değişiklikleri karşısında bir miktar hacim değişikliği göstermektedir.
4. Beton, birçok yapı malzemesi gibi sabit yükler altında zamanla kalıcı deformasyon gösterebilmektedir.
5. Betonun geçirimsizliği yüksek değildir. İçerisine sızan zararlı sular betonun yapısına zarar verebilir.

Portland çimentosunun imal edilmesiyle inşaat hayatına başlayan beton sektörü her gün gelişmektedir. Betonun en büyük zafiyeti çekme dayanımının ihmal edilebilecek kadar düşük olmasıdır. Bunun yanında kullanım alanı veya kullanılan yapıya göre betondan

farklı performanslar beklenmektedir. Bu beklentiler ancak özel betonlarla karşılanabilmektedir [4].

Betonun en önemli mekanik özelliği basınç dayanımıdır. Ancak bazı uygulamalarda betonun diğer mekanik özelliklerinin de yeterli düzeyde olması gerekmektedir. Günümüzde betonun özelliklerini geliştirmeye yönelik birçok çalışma yapılmaktadır [5]. Betonun zayıf olan bu özelliklerini geliştirmek amacıyla yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkan “Cam Lif Takviyeli Beton”; cam lif, çimento, agrega ve su karışımından oluşan malzemedir [6]. Beton içerisinde kullanılan cam lifler özellikle malzeme tokluğuna etki ederek betonun daha fazla deformasyon yapmasını sağlamaktadır [7]. Liflerin betona katılması betonun, çekme ve eğilme dayanımını, düktilitesini, enerji tüketme kapasitesini ve oyulma direncini arttırmak amacıyla kullanılan en etkin yöntemlerden biridir [5].

Taze ve sertleşmiş betonun farklı özelliklere sahip olması istenmektedir. Taze betonun işlenebilmesi, sertleşmiş betonun da yüksek bir basınç mukavemetine sahip olması ve zaman içinde bu özelliğini kaybetmemesi veya olumsuz yönde değiştirmemesidir [8].

Şimşek [9], yaptığı bir çalışmada, düşük dozajlı betonlarda işlenebilmenin sağlanabilmesi için 0,25mm.’den küçük tanelerin bulunmasında büyük yarar olduğunu, yüksek dozajlı betonlarda ise, ince malzemeye gerek olmadığını belirlemiştir. Aynı çalışmada düşük dozajlı beton üretiminde ekonomik, işlenebilir ve dayanımlı beton elde edebilmek için çimento hamurunun içyapıda boşlukları doldurmada yetersiz kaldığı durumlarda tane çapı 0,25mm.den küçük kum, taş unu, kırma taş tozu ve havuz çökeltisi gibi malzemelerin kullanılabileceği belirtilmektedir.

Kaynakların sınırlı olduğu, tüketimin hızla arttığı dünyamızda son yıllarda üzerinde önemle durulan konulardan birisi de geri dönüşüm veya daha çok bilinen adıyla recycle’dir. Kaynak israfını önlemenin yanında, hayat standartlarını yükseltme çabaları ve ortaya çıkan enerji krizi ile bu gerçeği gören gelişmiş ülkeler atıkların geri kazanılması ve tekrar kullanılması için yöntemler aramış ve geliştirmişlerdir. Ne yazık ki ülkemizde diğer gelişmiş ülkelere nazaran inşaat endüstrisinde geri dönüşüm miktarı yok denecek kadar azdır. Geri dönüşüm bir yana, atıkların bertaraf edilmesi bile hala çoğu sanayi işletmesinde göz ardı edilmektedir. 1998 yılı nüfus verilerine göre yılda 13 milyon ton evsel atık, 19-20 milyon ton civarında ise belediye atığı oluşmaktadır. Genel olarak cam, alüminyum, kâğıt gibi ürünlerde geri dönüşüm yaygın olarak yapılmaktadır. Bunun yanında diğer gelişmiş

lkelerde asfalt, beton, agrega, ahşap vb. yapı malzemeleri geri dönüştürülerek yeniden hammaddeye dönüştürülmekte hem ekonomiye hem de çevreye olan zararlı etkileri en aza indirilmektedir [10].

Bu itibarla, “kaynakların optimum şekilde değerlendirilmesi” şüphesiz geleceğin en önemli araştırma konusu olacaktır. İnşaat sektörü hammadde ihtiyacının en fazla ve dolayısıyla açığa çıkan atık miktarının en yüksek olduğu sektörlerden birisidir. Özellikle mermer sanayisinde ocaklarda blok çıkarma işlemi sırasında blok üretiminin ortalama % 40 ila % 60’ı mermer atığı olarak atılmaktadır [10].

Mermer atıklarının beton üretiminde kullanılması üzerine yapılan bir çalışmada, beton üretiminde ince malzeme oranının %10’u mermer tozu ile yer değiştirmesi halinde basınç dayanımında belirli bir artış yaptığını belirtmiştir [11].

Mermer endüstrisini son yıllarda ilgilendiren en önemli konu çevresel kirliliğe neden olan atıklardır. Ancak mermer işletmeciliğinde moloz toz ve paledyen ürünleri satılabilir ve değerlendirilebilir bir hammadde olmaları sebebiyle artık bir madde olup, üretim esnasında ortaya çıkan havuz kelteleri de çeşitli işlemlerden sonra işe yarayan hem bir hammadde hem de ekonomik açıdan değerli bir malzeme olabilir [12].

Mermer toz atıklarının değerlendirilmesine yönelik olarak uygulamaya sokulabilecek alternatifler, mermer fabrika işletmecilerine ve ülke ekonomisine kazançlar sağlayabileceği gibi, bu fabrikaların evre kirleticisi özelliğini de önemli ölçüde azaltacaktır. Konuyla ilgili olarak yapılmış olan bir çalışmada, mermer fabrikalarında işlenen mermerlerin ortalama % 30’unun üretim atığı olarak ortaya çıktığı belirtilmiştir [13]. Ülkemizde yılda yaklaşık olarak 2.200.000 ton mermer blok işlendiği düşünülürse [14], 660 000 ton mermer tozunun değerlendirilmeden atıldığı görülebilir.

Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıkları olup mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi esnasında açığa çıkan ve büyük çoğunluğu 1 mm’nin altında olan mermer tanecikleridir. Kesme işleminin suyla yapılması nedeniyle bu atıklar direkt olarak suya karışır ve şlam halinde çöktürme havuzlarından veya kek olarak arıtma tesislerinde depolanır. Atıklar, değişik özelliklere sahip mermer tozlarından ve içine karışan yabancı maddelerden oluşmaktadır [13].

1.1. Lif:

Lif, doğal kaynaklardan elde edilen, ya da insan eliyle üretilen, uzunluğu, bükülebilirliği, esnekliği ve dayanıklılığı olan hammaddedir. Uygulamada kullanılan doğal ve yapay lifler vardır. Hayvan, bitki, mineral gibi doğal kaynaklardan elde edildiği biçimi ile doğrudan kullanılabilen hammaddeler ‘doğal lifler’dir. ‘Yapay lifler’ ise, aranan belirli özellikleri taşıyacak biçimde özel olarak geliştirilen ve bu amaçla insan yapısı olarak üretilen malzemelerdir [14].

Lifler malzemelerin en geliştirilmiş halidir, dayanımları ve elastisite modülleri genellikle aynı malzemenin büyük hacimli formuna göre çok büyüktür. Doğada lif formunda birçok malzeme vardır. Lifler insanoğlu tarafından uzun zamandır kullanılmaktadır. Geleneksel bir malzeme olan kerpiçte, kil hamuruyla birlikte bitkisel liflerin, samanın; alçı sıva ve kartonpiyer uygulamalarında, keten ve kenevir liflerinin, kıtık ve at kuyruğu, keçi kılı gibi hayvansal liflerin kullanıldığı bilinmektedir [15].

İnsan eliyle üretilen lifler ilk defa 19.yüzyılın sonunda ortaya çıkmasına rağmen, bu sentetik liflerin geçmişi 60 yıldan fazla değildir. Bununla birlikte bu kısa zamanda vazgeçilmez bir malzeme haline gelmişlerdir [16].

Lif tanımı, bir boyutu diğer boyutuna göre çok büyük olan her türlü malzemeyi belirtmektedir. Liflerle donatılı kompozit malzeme, genellikle yeterli basınç dayanımına oranla çekme, eğilme, çarpma dayanımları çok düşük düzeyde kalan veya zayıf yapılı, kırılğan malzemenin zayıf olan yönlerinin iyileştirilmesi, kırılğanlığın giderilmesi, malzemenin sünekleştirilmesi gibi amaçlarla, bu özellikleri iyileştirecek nitelikte liflerle donatılmasıyla üretilen kompozitlerdir. Bu tür kompozitler, matris fazını oluşturan malzeme ile fazın özelliklerine bağlı olarak, “kırılğan matris ve sünek lifli kompozitler” ile “sünek matris ve kırılğan lifli kompozitler” olarak iki grupta toplanmaktadır. Bu gruba giren endüstrinin çeşitli alanlardaki üretimin yanı sıra, özellikle son yirmi beş yıldan beri yapı alanında da gitgide artış kaydeden bir uygulama olanağı bulmaktadır [6].

1.1.1. Lif Çeşitleri

Farklı özellikleri ve kullanım alanları bakımından birçok lif türü vardır. Bu lifleri değişik biçimlerde sınıflandırmak mümkündür. Lifler, genel olarak şöyle sınıflandırılabilirler [17].

- Doğal Lifler
- Yapay Lifler

Aşağıdaki tabloya göre çelik ve cam lifler, çekme dayanımı yönünden en iyi performansı gösteren lif cinsleridir. Cam lifler çekme dayanımı en fazla olan lif cinsi olarak ayrı bir özellik taşırlar. Değişik türdeki liflere ait fiziksel özellikler tablosu Tablo 1.2’de görülmektedir.

Tablo 1.2. Değişik türdeki liflere ait fiziksel özellikler [18].

Lif cinsi	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (10^3 , MPa)	Maksimum uzama (%)	Özgül ağırlık (gr/cm^3)
Akrilik	207-414	2,1	25-45	1,1
Asbestler	552-966	83-138	0,6	3,2
Pamuk	414-690	4,8	3-10	1,5
Cam	1035-3795	69	1,5-3,5	2,5
Naylon	759-828	4,1	16-20	1,1
Polyester	724-863	8,3	11-13	1,4
Polietilen	690	0,14-0,4	10	0,95
Polipropilen	552-759	3,5	25	0,90
Pamuk-Yün	414-621	6,9	10-25	1,5
Mineral yünü	483-759	69-117	0,6	2,7
Çelik	276-2760	200	0,5-35	7,8

1.1.1.1. Doğal Lifler

Doğadan elde edilen ve çok az işlem gören bu lifler ekonomik ve kolay elde edilebilir olmalarından dolayı tercih edilmektedirler. Doğal lifler bitkisel ve hayvansal lifler olarak iki gruba ayrılır [19].

1. Bitkisel Lifler

- a. Akwara
- b. Bambu
- c. Hindistan cevizi kabuğu
- d. Keten, kenevir
- e. Jüt
- f. Sisal

- g. Şeker kamışı posası
- h. Ahşap (selüloz)

2. Hayvansal Lifler

- a. Yün
- b. İpek
- c. Tüy

Doğal liflerin genel özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir [19].

- Sıcaklık ve su buharını çabuk emerler,
- Sıcaklık karşısında yumuşamazlar,
- Yüksek sıcaklıkta boyları değişmez,
- Donma noktasının altında kırılma ve kopma olmaz,
- Güneş ışığına karşı hassastırlar.

1.1.1.2. Yapay Lifler

Yapay lifler, doğal hammaddelerin değişik işlemlerden geçirilmesi ile lif haline getirilerek üretilir. Üretim metotları lif türüne göre değişiklik göstermektedir. Yapay lifler kendi aralarında aşağıdaki şekilde gruplandırılmaktadır [19].

1. Madensel lifler,
 - a. Metal lifler,
 - b. Karbon lifler,
2. Polimer lifler,
 - a. Akrilik,
 - b. Aramid,
 - c. Naylon,
 - d. Polyester,

- e. Polietilen,
- f. Polipropilen,
- g. Poliüretan,

3. Cam lifler,

1.1.1.2.1. Metalik Lifler

Metaller başta mühendislik uygulamaları olmak üzere, birçok alanda sıkça kullanılırlar. Metaller, mekanik ve fiziksel özelliklerin mükemmel bir kombinasyonunu sağladıkça uygun fiyatlarla elde edilebilirler. Metallerin önemli özelliklerinden bir tanesi plastik şekil değiştirebilme yeteneğidir. Böylece, çok basit şekilden başlayarak, çok karmaşık şekil ve formlarda üretim yapabilmesine olanak sağlar. Uçak gövdesinden, büyük petrol ve gaz borularına ve hatta günlük hayatta kullandığımız pek çok basit alete kadar metallerin kullanımına rastlanır. Lif formundaki metaller uzun zamandır kullanılmaktadır. Örneğin; tunç lifler lambalarda, bakır ve alüminyum lifler elektrik uygulamalarında, çelik lifler ön gerilmeli yapılarda, kablo olarak asma köprülerde, süper iletkenlerde ve piyano, violin gibi çeşitli müzik aletlerinin tellerinde kullanılmaktadır. Bazı önemli metalik liflerin özellikleri Tablo 1.3’ de görülmektedir [16].

Tablo 1.3. Bazı metalik liflerin tipik özellikleri [16].

Metal lif	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Ergime sıcaklığı (°C)	Elastisite modülü (GPa)	Çekme dayanımı (MPa)
Alüminyum (Al)	2.7	660	70	300
Berilyum (Be)	1.8	1350	310	1100
Bakır (Cu)	8.9	1083	125	450
Molibden (Mo)	10.2	2625	330	2200
Tungsten (W)	19.3	3410	350	2890(<250µm) 3150(<125µm) 3850(<25µm)
% 0.9 Karbon çeliği (0.1 mm çapında)	7.9	1300	210	4000
Paslanmaz çelik (0.05 mm çapında)	7.8	1535	198	2400

Çelik lifler, betona katılan metalik liflerin en yaygın olanıdır. Ortaya çıkan ürün de, kısaca ÇLTB (çelik lif takviyeli beton) veya MLTB (metal lif takviyeli beton) diye adlandırılır. Takviye elemanları olarak üretilen çelik lifler, aynı uzunluktaki cam ve polimer liflere göre daha kalın ve daha serttir. Dairesel kesitli çelik liflerin çapları 0,2 ila

1,0 mm arasında değişmektedir. Uzunlukları ise genelde 20 ila 50 mm arasında değişmektedir. Eritip çekme yöntemi ile veya amorf yapıda şerit biçiminde üretilen çelik liflerin, üretim yöntemine göre belirlenen boyut ve şekilleri vardır. Bu lifler genellikle yaklaşık 1,8 mm genişlikte ve 0,025 mm ile 0,100 mm kalınlıkta ve düz kesitlidir, uzunlukları da 10 mm ila 60 mm arasındadır [6].

Çelik liflerin sertlikleri ve karıştırma sırasında bükülmeye karşı gösterdikleri yüksek dirençleri, diğer liflerle karşılaştırırken çelik liflerin narinliğini göz önünde bulundurmak gerektirmektedir. Narinlik oranı, lifin boyunun çapına bölünmesiyle (L/d) bulunur. Çelik liflerin narinlik oranı 20 ile 250 arasında değişmektedir [20].

Beton takviyesinde kullanılabilecek çelik lifleri sınıflandıran ve özelliklerini belirten Amerikan Standardı ASTM A 820-96' da [21] çelik lifler 4 değişik şekilde sınıflandırılmıştır. Bunlar:

- ❖ Tip 1: Soğuk çekilmiş lifler,
- ❖ Tip 2: Plakadan kesilmiş çelik lifler,
- ❖ Tip 3: Haddelenip çekilmiş lifler,
- ❖ Tip 4: Diğer lifler.

Bu lifler düz veya değişik şekillerde olabilir. Bunların beton içindeki performansları; narinlik oranları, yapıları ve beton içerisindeki konsantrasyonları ile yakından ilgili olduğundan piyasada çeşitli tipleri bulunmaktadır [22].

Türk standardı TS 10513/92 [23] ise çelik lifleri şekillerine göre şu şekilde sınıflandırmaktadır:

- A: Düz, pürüzsüz yüzeyli lifler,
- B: Bütün uzunluğunca deforme olmuş lifler,
- C: Sonu kancalı lifler.

B sınıfı lifler, uzunluğu boyunca deforme olma sekline göre;

- Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış lifler,
- Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) lifler,
- Ay biçimi dalgalı lifler.

C sınıfı lifler sonlarındaki kancalara göre;

- İki ucu kıvrılmış lifler,
- Bir ucu kıvrılmış lifler olmak üzere ikiye ayrılır.

TS 10513 / 92' de elik liflerin özelikleri ile ilgili iki önemli parametre vardır:

Liflerin ekme-kopma gerilmesi ortalaması en az 345 N/mm² olmalıdır. Her bir lif için çekme-kopma gerilmesi 310 N/mm² 'den az olmamalıdır.

16±2  C'lik ortamda, 3,18 mm'lik bir i ap çevresinde yapılan lif eğilmede, deneye tabi tutulan liflerin % 90'ının kırılmaksızın 90  eğilme yapabilmesi koşuludur. Bu zelikler, betonda kullanılan liflerin daha sünek ve çekme dayanımı yönünden de daha yüksek bir dayanıma sahip olmasına olanak sağlar. elik liflerin sünek davranış göstermesi betonun karıőtırılması ve yerleőtirilmesi önemli parametrelerdir [24].

1.1.1.2.2. Polimerik Lifler

Polimer lifler çok geniş uygulama alanları ve eőitleri olan bir lif türüdür. Polimer lifler doğal ve sentetik olmak üzere iki ana grupta değerlendirilebilir. Doğal lifler; pamuk, sisal ve Hint keneviri gibi bitkisel veya yn, deri gibi hayvansaldır. Doğal lifler genellikle doğada polimer olarak bulunurlar. Ayrıca, kimi doğal lifler kaya formasyonlarında bulunabilirler. Bu lifler mineral haldedir ve bu yüzden seramik olarak adlandırılabilirler. Örneğin asbest ve bazalt bu gruba girer [16].

Polimerik lifler, 20. yüzyılın ikinci yarısında çok büyük ilerlemeler göstermiőtir. Gerçekte, lif ağı olarak adlandırılabilcek dönem 1930'ların sonları ve 1940'ların baőlarında naylon ve polyester gibi sentetik liflerin keőfi ile başlamıştır. Bu sentetik polimer liflerin çoğu, çok düzenli ve kopya edilebilir özeliklere sahip olmakla birlikte, düşük elastisite modülüne sahip olduklarından, tekstil sektöründe kullanımları kısıtlı olmaktaydı. Polimer takviyesinde kullanmak için sağlam ve elastisite modülü yüksek sentetik polimerik liflerin yapılması ise 1950'lerin sonları ve 1960'ların baőlarında araştırma konusu olmuş, böylece aramid ve uzun zincirli polietilen gibi sağlam ve yüksek elastisite modülüne sahip lifler üretilmiştir [16].

Sentetik polimerik liflerin baőlıcaları; polipropilen, naylon, polietilen, aramid ve perlondur. Sentetik polimerik liflerin günlük yaőantımızda pek çok uygulama alanı vardır. Örneğin, naylon ve polyester; i çamaőırı, yağmurluk, spor kıyafetler gibi giyim eőyaları; keten, halı, döşeme, perde gibi ev eőyaları ve ip, balık ağı, emniyet kemeri, şerit, çadır gibi endüstriyel ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Polipropilen lifler, aynı zamanda imento esaslı malzemelerin takviyesinde de kullanılabilir. Fakat liflerin kullanım miktarı genelde çok düşüktür (% 0,5 ile %10 arası). Harç ve betona lif katılmaya baőlamasının nedeni; lifin malzemenin çekme ve darbe dayanımını arttırması ve çatlak oluőumundan

sonra sünek bir yapı göstermesidir [16]. Bazı polimer liflerin fiziksel özellikleri Tablo 1.4’de verilmiştir.

Tablo 1.4. Polimer liflerin fiziksel özellikleri

Lif tipi	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)	Nihai uzama (%)
Akrilik	1.17	207-1000	14.6-196	7.5-50
Aramid I	1.44	3620	62	4.4
Aramid II	1.44	3620	117	2.5
Naylon	1.16	965	5.17	20
Polyester	1.34-1.39	896-1100	17.5	-
Polietilen	0.96	200-300	5	3
Polipropilen	0.90-0.91	310-760	3.5-4.9	15

1.1.1.2.3. Cam Lifler

Cam lifler; sertlik, korozyona dayanıklılık ve diğer malzemelerle fazla tepkimeye girmeme gibi tipik cam özelliklerini sergiler. Ayrıca, esnek, hafif ve pahalı olmayan bir malzemedir. Bu özellikler, cam liflerini düşük maliyetli endüstriyel uygulamalarda en çok tercih edilen lif tipi yapmaktadır. Cam lifler yüksek dayanıma sahip olduklarından, lif yüzeyinde oluşan kusurlar hem sayıca az, hem de boyutça küçüktür. Bütün cam lifler elastisite modüllerinin benzer olmalarına karşın, farklı dayanım değerlerine sahiptirler ve çevresel etkilere karşı dirençleri de farklıdır. E tipi cam lifler, yüksek çekme dayanımı ve kimyasal direncin gerekli olmadığı uygulamalarda kullanılırlar. Bu tip camlar, düşük fiyat yüksek korozyon dayanımı ve iyi mekanik özelliklere sahip olduğundan yapısal takviyelerde de tercih edilirler. S tipi ve S-2 tipi camlar en yüksek dayanıma sahiplerdir fakat E tipine göre 3-4 kat daha pahalı olduklarından, kullanım alanları kısıtlıdır. Diğer cam lif tipleri ve uygulama alanları ise; C tipi; korozyon dayanımı gerektiren uygulamalarda, D tipi; elektrik akımına karşı direncin yüksek olması nedeniyle seramik sigorta gibi elektriğe dirençli malzemelerin üretilmesinde, A tipi ve AR tipi; yüksek alkalin dayanımı gerektiren uygulamalarda kullanılabilirler [25].

Cam liflerin özellikle E tipi, beton ve çimento gibi alkalin içeren ortamlarda kullanılması zamanla korozyona neden olabilir, bu yüzden cam liflerin bu uygulamalarda kullanılması istenmez. Bununla birlikte 1971 yılında İngiltere’de Pilkington firmasının, Yapı Araştırma Kurumu (BRE) ve Britanya Teknoloji Grubu’nun birlikte Cem-fil diye adlandırılmış olan, alkali etkisine dirençli nitelikteki cam liflerini üretmesi, cam lifi donatı alanında bir dönüm noktası oluşturmuştur. Bundan sonra, beton ve harçların

donatılmasında, bu özel cam lifleri kullanılmaya başlamıştır. Bazı önemli cam liflerin tipik özellikleri Tablo 1.5’de verilmiştir.

Tablo 1.5. Bazı cam liflerin tipik özellikleri [16].

Cam lifi tipi	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (GPa)	Elastisite Modülü (GPa)
E	2,54	1,7-3,5	69-72
S	2,48	2,0-4,5	85
C	2,48	1,7-2,8	70
CEM-FİL	2,70	---	80

Cam lifleri, genelde çimento hamuruna veya harç karışımlarına katılır, kaba agregalı betona pek katılmaz. Bu şekilde üretilen çimento esaslı kompozitler Cam Lif Takviyeli Kompozitler (CLTK) olarak bilinir. Bunlar kompleks ve büyük boyutlu kaplama panellerden, prekast betonların üretimine kadar çeşitli alanlarda kullanılabilmektedir [20].

Günümüzde lifler çok çeşitli yapısal uygulamalarda kullanılmaktadır. Tablo 1.6 çeşitli lif tiplerinin, lif takviyeli kompozitlerde kullanım alanlarını göstermektedir.

Tablo 1.6. Lif takviyeli kompozitlere katılan lifler ve uygulama alanları

Lif Tipi	Uygulamalar
Cam	Prekast paneller, giydirme cephe kaplamaları, kanalizasyon boruları, İnce beton çatılar ve beton blokların sıvasında.
Çelik	Çatı uygulamalarında kullanılan gözenekli betonlar, kaldırımlar, köprü döşemeleri, ateşe dayanıklı elemanlar, beton borular, havalimanları, rüzgâra dayanıklı yapılar, tünel kaplamaları, gemi omurgaları.
Polipropilen, naylon	Temel kazığı, öngerilmeli kazıklar, kaplama panelleri, yürüyüş yolları, marinaların iskele elemanları, yol yamaları, büyük çaplı sualtı boruları kaplamaları.
Asbest	Saç, boru levhalar, yangına dayanıklı malzemeler ve yalıtım malzemeleri, kanalizasyon boruları, oluklu ve düz çatı levhaları, duvar kaplamaları.
Karbon	Dalgali şekilli çatı kaplama elemanları, tek veya çift kat ince membran yapılar, tekne omurgaları, yapı iskelesi tahtaları.
Mika	Çimento esaslı levhalarda kısmen asbestin yerine, beton borular, tamirat malzemeleri.

1.1.2. Taze Betonun İşlenebilirliğine Lif Etkisi

Çelik lifler agrega ile çok zor karışırlar, özellikle yüksek oranda lif içeren düşük işlenebilirliğe sahip betonlarda, lifler birbirine kenetlenerek üniform olmayan bir karışıma neden olurlar. Liflerin demet olmasına ‘topaklanma’ denir. Eğer beton yüksek işlenebilirliğe sahip ise topaklanma riski daha düşük olur. Yüksek işlenebilirlik genellikle karışıma süper akışkanlaştırıcılar eklenmesiyle elde edilir. Karışımda ince taneli malzeme yüzdesi fazla ise lif dağılımı daha kolay olur. Çimentonun yerine konulabilecek uçucu kül ve diğer puzolanlar veya silis dumanı ile ince taneli malzeme oranı artırılabilir. Lifler genellikle karışıma beton veya harç karıştırıldıktan sonra eklenmektedir, ancak genel kabul görmüş, etkili bir çelik lifli beton karıştırma şekli yoktur. Fakat çelik lifli betonların üretiminde çok aşamalı yöntemler kullanıldığı da bilinmektedir. Bu yöntemlerden biri ilk önce betonun “matris” kısmını karıştırmaya dayanır. Burada amaç 50-100 mm çökme değerine sahip orta kıvamda bir karışım hazırlamaktır. Süper akışkanlaştırıcı eklenir ve beton tekrar karıştırılır. Karıştırma, çökme değerini 130-160 mm. civarına düşürür. 130 mm’ den 160 mm’ ye kadar olan çökme değerleri genellikle, tamamıyla sıkıştırılabilir ve kolaylıkla yerleştirilebilir iyi kıvamda bir lifli karışımı gösterir. Agreganın içindeki ince tane yüzdesi taze karışımın işlenebilirliğini etkiler. Modern beton tesisleri, lifleri taze karışım içerisine eleyerek katan veya püskürten özel lif dağıtıcı ekipmanlarla donatılmışlardır. Kullanılan lifin çeşidine göre, bu tesisler yaklaşık %4 çelik lif içeren beton üretebilirler. Normal çelik liflere göre daha rijit ve genellikle daha kısa olan haddelenip çekilmiş lifler ile demetler halinde satılan kancalı liflerin yüksek işlenebilirlikli taze betonlarda üniform bir şekilde sıkıştırılması için özel ekipmanlara gerek yoktur. Çelik lifler beton karışımlarına püskürtülerek de eklenebilir. Bu şekilde kullanılan lifler genellikle daha kısa, yaklaşık 12 mm uzunluğundadır. Haddelenip çekilmiş lifler gibi sağlam lifler karışıma püskürtme ağızlığıyla dâhil edilirler. Lifler, önceden suyu ilave edilip karıştırılmış beton karışımına katılmasına veya kuru olarak karışıma püskürtme ağızlığıyla ilave edilmesine göre farklı şekillerde katılabilirler [20].

1.1.2.1. Lif Geometrisinin Etkisi

Günümüzde artık, geleneksel düz yuvarlak kesitli, çekme liflerden kesilmiş lifler yerine çok çeşitli tiplerde lifler üretilmektedir. Özellikle çelik lifler pek çok değişik şekillerde üretilmektedir. Çelik liflerin farklı geometrilerde üretilmesindeki amaç matris ve lif arasındaki mekanik bağı kuvvetlendirerek liflerin etkinliğini artırmaktır. Taze beton karışımında liflerin topaklanması ve liflerin varlığından dolayı işlenebilirliğin azalması,

özellikle yüksek oranda lif içeren karışımlarda sorun yaratır. Bu sorunun üstesinden gelmek için, suda eriyebilen ya da mekanik etkiler ile kopabilen bir yapıştırıcı ile 10-30 adet lifin birbirine yapıştırılması yoluna gidilmiştir. Böylece işlenebilirlik artar ve liflerin topaklanması önlenir. Bu yöntem sayesinde taze beton karışımının işlenebilirliği çok az düşer. Daha sonra da karıştırma sırasında yapıştırıcının çözülmesi ile her bir lif karışım içinde dağılır [26].

1.1.2.2. Lif Boyunun Etkisi

Kompozitin özelliklerini geliştirmekte lifin şekli kadar boyu da önemlidir. Çimento esaslı kompozitlerde uygulanan, lif yüzdesi sabit tutularak ve lif boyu uzun seçilerek yapılan deneylerde çekme dayanımında sağlanan artışın fazla olamadığı gözlenmiştir. Bunun sebebi büyük olasılıkla, mikro çatlak bölgesindeki matris kırılmasının önlenemediği olgusuna dayanmaktadır. Uzun lifler mikro çatlaklar bölgesinden uzakta iseler oluşan mikro çatlakları önleyemezler; ancak mikro çatlaklar makro çatlaklara dönüşürse uzun lifler işlev görmeye başlar ve kompozitin tokluğunu artırır. Buna karşılık kısa lifler mikro çatlaklar arasında köprü görevi görürler; bunlar aynı hacimsel yüzdede kullanıldıkları durumlarda dahi birbirine daha yakın mesafede olacaktırlar. Kısa lifler çekme dayanımını çok artırır [27]. Buna karşılık aynı narinlik oranında kısa liflerin sıyrılması, makro çatlaklar oluşmaya başladıktan sonra kolaylaşır ve böylece σ - ϵ eğrisinde maksimum σ değerinden sonraki davranışı süneklik göstermez [6].

1.1.2.3. Lif Narinlik Oranı ve Lif Yüzdesinin Etkileri

Lif narinlik oranı ve karışıma katılan lif miktarı betonun işlenebilirliğini dolayısıyla da mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Narinlik oranı, lifleri tanımlayan en önemli parametrelerden biridir. Lif uzunluğunun yuvarlak kesitli lifler için l/d , yuvarlak olmayanlar içinse eşdeğer l/d_c bölünmesiyle bulunur. Bu oran 40 ila 1.000 arasında değişir ama genelde 300'den daha düşüktür [28].

Soroushian ve Bayasi [26] yaptıkları çalışmada karışıma eklenen liflerin narinlik oranlarının büyük olması durumunda taze betonun işlenebilirliğini azalttığını belirtmişlerdir.

Üretimde kullanılan lif içeriği de optimum bir değer üzerine çıkmamalıdır. Lif içeriğinin yüksek olması durumunda karıştırma ve yerleştirme problemleri ortaya çıkar ve lifler karışım içerisinde topaklanır. Bu topaklanmalar matris içerisinde zayıf bölgelerin oluşmasına neden olur. Karışımda iri taneli agrega kullanılmaması, lif narinlik oranının

optimum bir değerde olması, liflerin karışıma kuru katılması ve süper akışkanlaştırıcı kullanılması ile liflerin matris içerisinde homojen dağılması sağlanabilir [22].

Lifler teorik olarak betona ne kadar çok katılabilirse kompozitin özelliklerini de o kadar çok artırabilirler, çünkü daha fazla lif çatlakların büyümesine karşı daha fazla direnç demektir. Lifler sayesinde tek çatlağın yayılması yerine düzensiz çoklu çatlaklar oluşur. Bu da kompozitin basınç ve eğilme dayanımı ile tokluğunun artırılmasında etkili olur. Uygulamalarda ise yerleştirme problemlerinden dolayı kompozite hacimce %3' ten daha fazla oranda lif katılmasına pek rastlanmaz, genelde de bu oran %1-2 civarında tutulur. Fakat son yıllarda yeni yöntemlerle bu oranın yükseltilebilmesi mümkün olmuştur. Örneğin ekstrüzyon yöntemi adı verilen yöntemle %7-8 civarında lif katılması mümkünken SIFCON üretiminde bu oran %4 ila 20 arasında mümkün olabilmektedir. Zollo [28] lifli betonları lif miktarına göre su şekilde değerlendirmiştir:

- %0.1-%1** : Düşük lif yüzdeli
- %1 - %3** : Normal lif yüzdeli
- %3-%12** : Yüksek lif yüzdeli

1.1.3. Liflerin Betonun Tokluğuna Etkileri:

Lifler beton tokluğunu, eğilme dayanımını veya her ikisini birden arttırabilirler. Tablo 1.7' de bazı lif takviyeli çimento esaslı malzemelerin tokluk değerlerinin, lifsiz beton ile kıyaslanması verilmiştir [29].

Tablo 1.7. Lif takviyeli betonların tokluk değerlerinin, lifsiz betonla karşılaştırılması

Takviye lif türü	Hacimsel lif yüzdesi	Görelî tokluk
Çelik	0.5	2.5-4.0
Çelik	1.0	4.0-5.5
Çelik	1.5	10.25
Cam	1.0	1.7-2.0
Polipropilen	0.5	1.5-2.0
Polipropilen	1.0	2.0-3.5
Polipropilen	1.5	3.5-15.0

1.1.4. Liflerin Betonun Basınç Dayanımına Etkileri:

Yapılan çalışmalarda, liflerle güçlendirilmiş betonların basınç dayanımlarında %25 gibi bir artış gözlemlendiği gibi bazen de bu düzeyde bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bu

durumun sebebi beton içerisinde gelişi güzel dağılan liflerin yönelimi ile doğrudan ilgilidir. Beton içerisinde bulunan liflerin yükleme düzlemine dik olarak yönelen lifler beton basınç dayanımında herhangi bir işlev yüklenmezler. Ancak yükleme düzlemine paralel yönelen lifler basınç dayanımının artmasında görev alırlar [30].

1.1.5. Liflerin Betonun Eğilme Dayanımına Etkileri:

Lif takviyeli betonların eğilme dayanımları normal betonlara kıyasla daha fazladır. Çimento hamurunun çatlamasından sonra liflerin yükleri taşıması ve dağıtması sebebiyle maksimum eğilme yükü artar. Tablo 1.8’ de bazı lif takviyeli çimento esaslı malzemelerin eğilme dayanımının, lifsiz beton ile kıyaslanması verilmiştir [30].

Tablo 1.8. Lif takviyeli betonların eğilme dayanımının, lifsiz betonla karşılaştırılması

Takviye lif türü	Hacimsel lif yüzdesi	Görelî tokluk
Çelik	1-2	2.0
Cam	1-2	2.5-3.5
Polipropilen	1-2	1.0
Mika	2-4	2-2.5
Asbest	3-10	2.0-4.0

1.1.6. Liflerin Betonun Çekme Davranışına Etkileri:

Liflerin betonların yarmada çekme dayanımlarını genel olarak iyileştirdiği bilinmektedir. Lif takviyeli betonun çekme dayanımını etkileyen en önemli etkenler lif miktarı, narinlik oranı ve lif-matris arasındaki aderanstır [30].

1.1.7. Lif Takviyeli Betonların Kullanım Alanları

Lif takviyeli betonlar, geniş uygulama alanına sahip malzemelerdir. Kullanım alanları betonun içerisinde kullanılan lif türüne göre değişiklik göstermektedir. Lif takviyeli betonların kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır [7].

1. Çelik lif takviyeli betonların kullanım alanları: Büyük hangarlarda ağır yük etkisinde kalan döşemelerde, su yapılarında, benzin istasyonlarında, fabrika zeminlerinde, soğuk hava depolarında, liman ve hava alanlarında, temel döşemelerinde, tünel iç kaplamalarında, yol ve otoyol kaplama betonlarında, prefabrik beton elemanlarda, beton borularda kullanılmaktadır.

2. Polimer lif takviyeli betonların kullanım alanları: Hafif beton uygulamalarında, şap betonlarında, saha betonlarında, tavan panellerinde, bina cephelerinde, su kanalı elemanlarında, beton borularda, bariyerlerde kullanılmaktadır.

3. Cam lif takviyeli betonların kullanım alanları: Ön cephe kaplamalarında, ateşe dayanıklı yapılarda, estetik mimari istenen yapılarda, ani darbelere maruz kalan sistemlerde, saha betonlarında, beton borularda, dekoratif panellerde, prefabrik beton malzemelerde kullanılmaktadır.

1.2. Mermer

Bilimsel anlamda mermer, kalker (CaCO_3) ve dolomitik kalkerlerin ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) sıcaklık ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak kristalleşmesi ile oluşan metamorfik bir kayadır. Kimyasal bileşimlerinde büyük oranda kalsiyum karbonat, daha düşük oranda da magnezyum karbonat olan bu gerçek mermerler kalsit kristallerinden oluşmuştur. Kalsiyum karbonat billurlardan oluşarlarda genellikle % 95 kalsit bulunur. Fazla olarak az miktarda silis, silikat, feldspat, demir oksit, mangan oksit, pirit, mika, flüorin ve organik maddeler de bulunabilir [31].

Ticari anlamda mermer; blok verebilen, kesilip cilalandığında parlayabilen, dayanıklı ve güzel görünümlü her türden kayaların (magmatik, sedimanter, metamorfik) bütünü için kullanılabilen bir terimdir [32].

Petrografik olarak mermerler; masif, kabaca tekdüze irilikte (geçirdiği metamorfizma şekline göre) kalsit kristallerinin arasında boşluk bırakmaksızın dizildiği bir mozayiktir [33].

Maden Kanununda ise mermer, II. Grup madenler (Mermer, dekoratif taşlar, traverten, kalker, dolomit, kalsit, granit, siyenit, andezit, bazalt ve benzeri taşlar) içerisinde yer almaktadır [34].

1.2.1. Mermerlerin Sınıflandırılması

Mermerler, oluşum esnasındaki şartlara bağlı olarak farklı mineralojik, kimyasal ve yapısal özelliklere sahip olmaktadır. Buna bağlı olarak, mermerler aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır.

1.2.1.1. Mineral Bileşim ve Oranlarına Göre Sınıflandırma

a) **Mermer:** %95 kalsit (CaCO_3) içerir. Masif yapıda ve taneli dokuya sahiptir. Kuvars ve mika gibi diğer mineralleri içerebilir.

b) **Kalksist:** %60-70 kalsit içerir. Şisti yapıda ve yönlü dokuya sahiptir. Klorit, epidot, mika ve lepidolit gibi diğer mineralleri içerebilir.

c) **Spolen:** %80 kalsit içerir. Şisti yapıda ve yönlü dokuya sahiptir. Flogopit, tremolit, diopsit, plajioklas ve grana gibi diğer mineralleri içerebilir.

d) **Mermer-Skarn:** %80-90 kalsit içerir. Masif yapıda ve taneli dokuya sahiptir. Epidot, diopsit, grana, olivin ve plajioklas gibi diğer mineralleri içerebilir [36].

1.2.1.2. Kristal Boyutlarına Göre Mermer Sınıflandırması

Tablo 1.9. Kristal boyutlarına göre mermerlerin sınıflandırılması [36].

Kayaç Cinsi	Kristal Boyutu
İnce kristalli mermer	< 1mm
Orta kristalli mermer	1 mm – 5 mm
İri kristalli mermer	5 mm – 20 mm

1.2.1.3. Yapı ve Dokularına Göre Sınıflandırma

a) Masif mermer; kompakt görünümlü, ince ve iri tanelidir.

b) Laminar mermer; renkli şeritli görünümde, ince taneli şeritler farklı mineral veya elementler içerirler.

c) Şisti mermer; yapraklı yapıda ve önemli miktarda mika içermektedir.

d) Breşik mermer; tekrar kırılmış ikincil minerallerle dolgulanmıştır. Ana dolgular farklı renk ve mineral içerikli olabilirler [35].

1.2.1.4. Kökenlerine (Oluşumlarına) Göre Sınıflandırma

a) Magmatik kayalar (Granit, diyabaz, siyenit vb.)

b) Metamorfik kayalar (Hakiki mermerler vb.)

c) Sedimanter kayalar (Travertenler, oniks mermerler, kireçtaşları vb.) [37].

1.2.2. Mermerlerin Özellikleri

Mermerlerde en önemli özellikler, renk, desen, doku, sertlik, parlatma, cilaya karşı duyarlılık ve blok elde edilebilme oranıdır.

Kaplama ve döşeme amaçlı üretimlerde ise blokların;

- Sağlam olabildiğince çatlaksız, taşı oluşturan minerallerin ayrışmaya, oksidasyona ve güneş ışığında renk değiştirmeye karşı dayanıklı,
- Yapı, doku, renk ve desen dağılımı yönünden homojen,
- Fiziksel ve mekanik özelliklerinin yapı ve kaplama taşı standartlarında öngörülen kullanılabilirlik sınır değerlerinin üzerinde,
- Kesilebilir, şekillendirilebilir, parlatılabilir veya yüzeyi işletilebilir olması istenmektedir [38].

1.2.2.1. Fiziksel Özellikler:

1. Sertlik:

Mermerlerin sertliği cinsine göre değişir. Yapısında silikat minerallerinin çoğalması sertliği arttırmaktadır. Mermerin sertliğinin, kesilme (işlenme) ve cilalanma konuları ile yakın ilgisi vardır. Sert mermerlerin üretilmesi ve kesilmesi (işlenmesi), yumuşak cinslere nazaran zordur. Buna karşın çok iyi cila kabul ederler. Ancak cilalanmaları da oldukça işçilik ve zaman ister. Sert mermerler bu zorluklara rağmen kolay yıpranmadığı için en çok arzu edilen mermer cinsidir. Binalarda daha çok dış cephe kaplamada, kapı eşiklerinde ve taban döşemelerinde kullanılırlar [37].

2. Birim Hacim Ağırlığı:

Mermer türüne göre birim hacim ağırlıkları $2200\text{--}3200\text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir [37]. Ticarete birim hacim ağırlığı ortalama olarak 2700 kg/m^3 olarak kabul edilmektedir. Birim hacim ağırlığı nakliyecilik açısından ve özellikle mermer taşımada halat ve vinç

çekme kuvveti hesaplamalarında oldukça önemlidir. Buna göre bazı mermer cinslerinin birim hacim ağırlıkları aşağıda verilmektedir [39].

- Traverten 2200 – 2500 ton/ m³
- Dolomit 2400 – 2900 ton/ m³
- Kristalize kalker 2400 – 2700 ton/ m³
- Serpantin 2500 – 2750 ton/ m³
- Siyenit 2700 – 3000 ton/ m³
- Bazalt 2750 – 3200 ton/ m³
- Granit 2650 – 2850 ton/ m³

3. Çözülme Özelliği:

Mermerin çözülmesi özellikle inşaatların dış kısımlarında dış cephe kaplamada kullanılanlar için önemli bir husustur. Çünkü bütün taşlar atmosferle temas ettikleri zaman yavaşta olsa kimyasal ve fiziksel etkiler altında kalarak değişmeye uğrarlar. Yağmur suları, bileşimlerinde bulunan gazlar içinde özellikle CO₂ mermerlere etki ederler. Çözülmenin şiddeti her mermerde aynı olmayıp mermerin kimyasal bileşimine, fiziksel özelliklerine, bünyesine ve su absorbe etme özelliğine bağlıdır. En az su absorbe eden mermer binaların dış kaplamaları için en ideal olan mermerdir [37].

4. Renk:

İşlenecek olan mermerin rengi çok önemlidir. Eğer mermer beyaz renkli ise içinde sarı, gri damar veya yığılımlar istenmeyen özelliklerdir. Renkli mermerde ise renklerin soluk, karışmış ve belirsiz olduğu bölgeler istenmeyen kısımlardır. Gerekli pazarı bulunduktan sonra her renk mermer çalıştırılabilir.

Mermere renk veren maddeler:

Koyu gri ve siyah: Bitüm (organik maddeler), fazla miktarda MnO, Grafit (C) ve kükürt.

Siyah damarlar: MnO'nun kayaç içindeki damarlara bol olarak yerleşimi.

Kırmızı: FeO veya az oranda Cr₂O₃

Yeşil: Klorit, aktinolit, tremolit, mineral inklüzyonları ve yüksek oranda Cr_2O_3

Mavi: Mineraller içinde CI veya Na'un çokluğu veya kalsitin az miktarda cıva içermesi, silikat minerallerinden Disten'in varlığı.

Sarı: Kükürt varlığı veya limonit oluşturan FeO.

Mor veya leylak: Az oranda, kayaç içine dağılmış Manganez (Mn) [39].

5. Saydamlık:

Mermerin ışık geçirebilme kapasiteleridir. İnce kristalli yağımsı bir yapı gösteren mermerler saydamdır. Bu özellikleri yüksek olan (ışığın nüfuz edebileceği derinlik 1 – 3.5 cm' ye kadar olan) mermerler süs eşyası yapımında ve heykeltıraşlıkta kullanılmaktadır [37].

6. Cila Tutma:

Her türlü mermer cilalanabilir. Ancak bunların cilalama kapasiteleri değişiktir. İyi cilalanan türlerin tercih oranı diğerlerine göre daha yüksek olmaktadır. Sert mermerler iyi cila tutar fakat bu yüksek işçilik ve zaman gerektirir.

7. Porozite:

Kayacın gözenekliliğini tanımlayan porozite, kayaçtaki boşluk hacminin toplam hacme oranının yüzde olarak ifadesidir [39]. Porozite ne kadar büyürse mermerin ekonomikliğı o derece azalır. Çünkü atmosfer etkilerine mukavemet özelliğı olan dayanıklılığı porozitenin artmasıyla azalmaktadır. Bu durum ise tercih edilmez. İyi kaliteli mermerin porozitesi %0,0002 - %0,5 arasındadır. Ancak travertenlerde porozite miktarı %18'lere kadar çıkabilir ve bu durum olumsuzluk olarak değerlendirilemez.

8. Direnç:

Kristal durumuna, poroziteye, CaCO_3 miktarına ve yabancı madde içeriğıne göre farklı olup, genellikle tek eksenli basınç dirençleri 500 – 1500 kg / cm^2 arasında değişir. Tabakalı olanlarda direnç tabakalaşmaya dik yönlerdeki yüklemelerde paralel yöne göre daha büyüktür.

9. atlaklık Yapısı:

Mermer yatağındaki kırık ve çatlaklar mermer bloklarının en kolay ayrılabilirleri, süreksizlikler anlamına gelmektedir. Bu kırıklar sayesinde mermer blokları daha kolay ve çabuk parçalanır. Bu kırıklar ocak işletmeciliğini kolaylaştırmasına rağmen aşırı miktarda olması mermeri kullanılamayacak duruma getirir.

10. Yabancı Maddeler:

Mermer içerisinde bulunan yabancı maddelerin özelliğine göre etkileri farklı olmaktadır. Bu yabancı maddeler demir-sülfürler, silisli ve silikatlı mineraller olabilmektedir. Demir- sülfürlerden en fazla rastlanan pirittir. Pirit cilalandığında güzel görünür, fakat işlenmesi zordur. Silis ve silikat mineralleri bandlar veya budaklar şeklinde bulunabilirler. Bu mineraller mermer yatağının ekonomikliğini düşürür [37].

1.2.2.2. Kimyasal Özellikler:

Kimyasal bileşim, kayaçların içindeki elementlerin oksit değerlerinin toplamıdır. Mermerler karbonat kökenli oldukları için çözünme ve asite karşı duyarlıdırlar. Genellikle açık renkli olan mermerlerde, demir oksit ve karbonatlarının bulunması halinde (markazit, magnetit, pirit v.b) oluşan kimyasal reaksiyon sonucu paslanmalar görülebilir.

1.2.2.3. Mekanik Özellikler:

Mermerlerde; aşınma, eğilme ve basınç dayanımı değerleri TS standartlarına uygun olmalıdır. Bu değerler diğer tüm kayaçlarda olduğu gibi mermerlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile yakından ilgilidir. Tablo 1.10'da endüstriyel anlamda mermer olarak tanımlanan kayaçların kullanılabilirlik değerleri verilmiştir.

Tablo 1.10. Fiziko-Mekanik analiz sonuçlarına göre mermerlerin kullanılabilirlik sınırları [40].

ÖZELLİKLER	DEĞERLER
Sertlik	>2.5
Gözeneklilik %	< 2
Su Emme %	<1.8
Darbe Dayanımı	> 6 kgf/cm ²
Dona Karşı Dayanım	<%5
Basınç Değeri	> 500kg/cm ²
Sürtünmeden Dolaylı Aşınma	<15cm ² - 50cm ²
Paslanma	Olmamalı

1.2.3. Mermerlerde Üretim Kayıpları

Mermer işleme yönteminde fire oranı ocak işletmeciliğinde %50, fabrika işletmeciliğinde %30'lara ulaşmaktadır. Firenin bu kadar yüksek olmasının nedenleri; işletmecilerin bu konuda yeterli bilgiye sahip olmaması, kalifiye eleman yetersizliği, gelişen teknolojiyi izleyememe ve bunların sonucunda ocaklarda ilkel metotların (patlayıcı madde, kompresör vs. kullanımı) uygulanması olarak sıralanabilir. Elbette ki bu tip uygulamalar blok mermerde iç gerilmelere ve beraberinde de mevcut çatlakların ilerlemesine veya çatlak sayısının artmasına neden olmaktadır. Bu da fabrika işletmeciliği esnasındaki firenin yüksek olması anlamına gelmektedir. Oysaki bu sektörde bugün için en büyük söz sahibi ülke olan İtalya'da her iki işletme esnasındaki toplam fire miktarı %4 ü geçmemektedir. Her iki işletme yönteminde bu işin bilinçli kişilerce yapılması ve ileri teknoloji ürünlerinin kullanılması fire miktarının düşük olmasının nedenleridir [41]. Ayrıca fire oranının daha düşük seviyeye çekilmesi için kullanılan yöntemlerden bir diğeri de kullanılan blok içerisinde lazerle çatlak tayini ve bunun ışığı altında da bloğun uygun şekillerde işlenmesidir.

Ülkemizde işletme yöntemleri esnasında meydana gelen fire oranlarını düşürebilmek ancak kalifiye eleman ve ileri teknoloji ürünleri kullanmakla mümkün olabilecektir. Ancak, bugün için önemli olan mermer parçacıkları ve tozlarını değerlendirme şekilleri olup bunların ekonomiye kazandırılmasıdır. Mermer, günümüzde özellikle mermer tozu olarak çeşitli sanayi dallarında katkı veya dolgu maddesi ya da ana hammadde olarak kullanılmaktadır [42].

1.2.3.1. Mermer Üretim Tesislerinde Atıkların Oluşumu

Mermercilik sektörünün en önemli sorunlarından birisi mermerin kesilmesi sırasında kesme işlemini gerçekleştiren kesicilerin mermer bloğunun plâkaları kesmesi esnasında oluşan küçük boyutlu mermer tozu atıklarıdır. Bu atıklar, testerelerin soğutulması ve oluşan bu tozların ıslatılması amacıyla verilen suya karışarak, su ile birlikte çöktürme kanallarından geçerek çöktürme havuzlarına taşınmaktadır. Oluşan bu mermer taneciklerini su çöktürme ve dinlendirme havuzlarında veya bazı modern tesislerde bulunan atık su tesislerinde de kek olarak alınmaktadır. Alınan bu atıklar boş arazilerde rastgele depolanmaktadır. Kesme işlemi yapılan makine cinsine göre bu mermer tozları çeşitli boyutlarda olabilmektedir [43].

Mermer atıkları parça boyutu olarak işleme tesisinden iki farklı ürün olarak çıkabilmektedir. Birinci ürün, iri boyutlu parça mermer atıkları, ikinci ürün ise koloidal yapıda büyük miktarı 150 mikronun altında olan maksimum parça boyutu 2 mm'ye ulaşabilen kesim toz atığı olmaktadır. Bunların değerlendirme alanları farklılık göstermektedir. Gri boyutlu parça atıklar, inşaat sektöründe yapı elemanı olarak kullanılabilirken, toz atıklar ise doğrudan farklı endüstri dallarında kullanılabilme imkânı bulmaktadır. [44]. Son yıllarda mermer atıklarının betonda ince malzeme olarak da kullanıldığı görülmüştür. [13]. Her iki tür atığın değerlendirilebildiği alanlar:

Parça mermer atıklar;

- Beton agregası,
- Döşeme plağı agregası,
- Sıkıştırılmış yol zemini,
- Baraj ve İnşaatlarda dolgu malzemesi,
- Demir yolu zemin malzemesi,
- Paledyen-yer döşeme malzemesi,
- Diğerleri.

Toz mermer atıklar;

- Zirai kireçtaşı-Zirai toprak ve zemin ayarlayıcı,
- Yem ve mineralli besinler,
- Sıva katkı malzemesi,
- Çimento üretimi,
- Kireç üretimi,
- Kalsine dolomit üretimi,
- Cüruf yapıcı malzeme,
- Refrakter malzeme,
- Asit nötrleştirmede,
- Cam üretiminde,
- Kâğıt üretiminde,
- Şeker rafinasyonunda,
- Baca gazından kükürdün gideriminde,
- Diğerleri [45].

1.3. Mermer Tozu:

En küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerine blokların ve plâkaların kesilmesi esnasında açığa çıkan ve büyük çoğunluğu 1mm.'nin altındaki mermer taneleridir. Kesme işleminin su ile yapılması sebebiyle bu atıklar direkt olarak suya karışır ve şlam halinde çöktürme havuzlarında arıtma tesislerinden alınır [46].

Mermer bloklar testere takımıyla kesilirken, su bir soğutucu olarak kullanılır. Testerelelerin bıçak kalınlığı yaklaşık 5mm olup bloklar normal olarak 20 mm. kalınlıkta levhalar halinde kesilir. Böylece mermer bloğun kesim yapılan yüzey alanına göre her 25 mm. kalınlıkta 5mm.'si toz haline dönüşür. Bu toz mermer, çamur olarak su ile birlikte akar. Böylece toplam işlenmiş mermer ağırlığının %20'ye yakını mermer çamuru olarak

ortaya çıkar. Açığa çıkan mermer çamuru yaklaşık olarak %35–45 arasında su muhtevasına sahiptir [47].

1.3.1. Mermer Atık Tozlarının Çevresel Etkileri

Mermer atıklarının ekosisteme ciddi zararları vardır. Bu atıklar çevreye ait fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlere önemli ölçüde etki eder.

1. Karada toprağın porozitesini ve su emmesini azalttığı için ürün verimini düşürür. Bu alanlarda bitkisel yaşam yok olur.
2. Küçük parçalar havada uçuşur ve hava kirliliğine sebep olur. İnsan sağlığını etkiler ve nehirlerde, kanallarda yoldan akan su içinde hem suyun kalitesini bozar hem de suyun depolanma kapasitesini düşürür.
3. Karada uzun süre kaldıklarında suyun akış rejimini engeller ve yer altı su havzaları üzerinde olumsuz etki yapar. Ayrıca yolların yapısını bozmakla beraber araçların ilerleyişini engeller.
4. Etrafa dağılan atık yığınları görsel açıdan çevreyi çirkinleştirir. Yerleşim alanının turizm ve endüstriyel potansiyeli üzerinde olumsuz etki yapar [48].

Mermer işleme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerdeki mermer atık sahaları kamuoyu gözünde çevre ve doğal güzele zarar verdiği gerekçesiyle tepkilere neden olmaktadır.

1.3.2. Mermer Atıklarının Değerlendirildiği Yerler

Mermer toz atıklarının değişik alanlarda kullanılabilme imkânını belirleyen en önemli özellikler, kimyasal bileşim, tane boyutu ve renktir. Mermer tozlarının kimyasal bileşimindeki CaCO_3 oranının büyüklüğü, kullanım alanını genişletmekte ve endüstride oldukça fazla ihtiyaç duyulan kalsitin yerine kullanılabilme imkânı oluşturmaktadır. Zira özellikle İtalya'da Carrara mermerlerinin atıkları ve blok alınamayan ocaklardaki mermer oluşumları kalsit olarak üretilip endüstrinin kullanımına sunulmaktadır [49]. Ancak burada kalsitin yerine kullanılabilme kriteri, yüksek CaCO_3 yüzdesi ve beyazlıktır. Tane boyutu ise kullanılan sektöre göre 1-2 μ 'dan 50-100 μ 'a kadar küçük boyutlarda istenmektedir [50].

1. İnşaat Sanayi

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

Karo imalatçıları; kullandıkları mermer parçalarını ve mermer tozunu hazır olarak diğer imalatçılardan aldığı gibi, bazı imalatçılar da kendi özel ocaklarında delme patlatma metoduyla mermer tozlarını üreterek kendi kırma ve öğütme tesislerinde boyut küçültme işlemine tabi tutmaktadırlar. Böylece istenilen boyuta getirilen mermer tozlarını karo imalatında kullanmaktadırlar.

Mermer toz atıklarının derz dolgu malzemesi (fuga) üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla yapılan çalışmada bu atıklarda bulunması gereken özellikler olan, tane boyut dağılımı, kimyasal bileşiminin uygunluğu (yüksek kalker (CaCO_3) oranı), beyazlık (yabancı madde içermeme) ve nem oranı değerlendirilmiştir. Çıkan sonuçlara göre mermer fabrikası toz atıkları, kurutma, zenginleştirme, öğütme ve boyuta göre sınıflandırma işlemlerini takiben bu sektörde kullanım alanı bulabilir [51].

2. Çimento İmalat Sanayi

Çimento; CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve eser halde MgO ihtiva eder, esas itibariyle kalker ve kil karışımı olan, klinkerleşme sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra, gerektiğinde alçı, vb. katkı maddeleri karıştırılıp öğütülerek toz halinde elde edilen bir malzemedir. En önemli özelliği %11-15 su ile karıştırıldığı zaman belli bir süre sonra sertleşerek karışımdaki diğer malzemelerin birbirine bağlanmasını sağlar. Çimento sanayinde her ne kadar çok miktarda CaCO_3 bileşimli hammaddeler kullanılırsa da, mermer sadece Beyaz Portland çimentosu yapımında kullanılmaktadır. Normal portland çimentosu bileşimindeki kalker yerine hammadde olarak mermer, kil yerine de kaolen kullanılmasıyla beyaz portland çimentosu elde edilmiş olur [46].

3. Kâğıt Endüstrisi

Mermer tozlarının, kâğıt üretiminde, dolgu ve kaplama malzemesi olarak kullanılma imkânı vardır. Burada kullanılan mermer tozlarının 2μ altında bir boyutta ve % 30-98 arasında CaCO_3 içermesi istenmektedir. Dolgu amaçlı kullanımda CaCO_3 oranı, % 40-80 arasında değişebilirken ilk veya mat kaplamalarda bu oran % 60 civarındadır. Tek kat veya üst kat kaplamalarda ise 2μ altı ve % 98 CaCO_3 oranı istenmektedir [50].

4. Plastik Sanayi

Plastik malzemelere, kalınlık ve tokluk vermesi amacıyla çeşitli dolgu maddeleri katılmaktadır. Bu dolgu maddeleri; mermer tozu, odun tozu ve asbest tozudur [52]. Plastik üretiminde, dolgu malzemesi olarak % 45 oranında CaCO_3 kullanılabilir. Ancak, bu malzemenin polimerlerde yaşlanmaya sebep olan ağır metalleri içermemesi ve yüksek kimyasal saflığa sahip olması gerekmektedir. Mermer toz atıklarının plastik üretiminde kullanılabilmesi için min. % 97 oranında CaCO_3 içermesi gerekmektedir. Kaplanmış CaCO_3 'ın plastiğe getirdiği avantajlar şu şekilde sıralanabilir [43]:

1. Hidrofobik yapı,
2. Düşük yüzey enerjisi,
3. Kolay disperse olması,
4. Yüksek homojenizasyon sağlaması,
5. Bazı mukavemetleri yükseltmesi,
6. Daha parlak ve düzgün yüzey oluşumu sağlaması
7. Makine aşınmalarının azalması.

5. Demiryolu Zemin Malzemesi

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

6. Seramik Sektörü

Seramik üretiminde %5–6 oranında mermer kullanılmaktadır. Seramik bünye ve sırlarında CaO olarak bünyeye alınan hammadde kaynakları genel olarak kalsit, dolomit ve mermerdir. Karışık ve kalsitli akçini çamurlarının mineralojik biçiminde %5–20 arasında CaCO_3 kullanılır. Bu CaCO_3 çok ince öğütülmüş mermer halinde bileşime katılır. İri taneli ve iyi dağılmamış kalsit çamur içinde hatalara yol açar. Özsüz seramik hammaddesi olan kalsit türleri, seramik çamurlarında artan sıcaklık ile birlikte gözenekliliği azaltır.

CaO sırdaki SiO_2 ile reaksiyona girerek bir ara tabaka oluşturur. Bu ara tabaka seramik teknolojisinde çok önemlidir. CaO sır içindeki diğer oksitlerle birleşerek cam oluşumuna yardımcı olur.

7. Tarım ve Gübre Sanayi

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

8. Yem Sanayi

Özellikle yumurta yemlerinde CaO veya CaCO_3 olarak boyutu 2 mm.'nin altında olan toz katılmaktadır. Bu oran %10–12 arasındadır. Düşük kalsiyum oranlı yemler tavuklarda yumurta verimini önemli ölçüde etkilemektedir. Türk Standartları Enstitüsünün TS60 standartlarına göre mermer tozu hayvan yemi olarak kabul edilmektedir. Buna göre bileşiminde en az %92 CaCO_3 bulunan mermerler bu amaç için kullanılırlar.

Sabah ve Çelik [53] İncehisar (Afyon) mermer artıklarının hayvan yemi katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmış ve ortaya çıkan sonuçları hayvan yemi katkı maddesi olarak kullanılan mermer tozu için TSE standardı TS 8606'ya [54] göre değerlendirerek, bu atık tozların yem katkı maddesi olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

9. Cam Sanayi

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

- CaCO_3 %98,5
- FeO %0,2
- Organik madde %0,3
- Bakiye silikat %1,0

10. Boya Sanayi

Boya sanayiinde bağlayıcı olarak reçine kullanılmaktadır. Boyacılar boya içindeki çözünmeyen pigmentlerin homojen ve sürekli bir film şeridi oluşturmasını, sürüldüğü yüzeye iyice yapışmasını ve parlaklık vermesini sağlar. Boya imalatında katkı maddesi olarak kullanılan kalsit (CaCO_3), özellikle sulu boyalar için önemlidir. Bunun için 10 mikronun altında ve çok saf kalsit kullanılmaktadır. Kalsitin içindeki demir oksit oranının %0,03'de az olması istenir.

11. Kimya Sanayi

Karpit yapımında kullanılır. Karpit, elektrik fırınlarında kireçtaşı ve kok kömürlerinin şarjı sonucu elde edilir. Kok ile kireçtaşı % 40–60 arasındadır. Bu işlem için kullanılacak kireçtaşı saf ve yüksek kalsiyumlu olmalıdır [46].

12. Diğer Kullanım Alanları

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

- Yeraltı işletmeleri,
- Cüruf yapıcı,
- Flotasyon ve

- Kalsine dolomit üretiminde kullanılır.

Farklı kullanım alanları ile ilgili yapılan bir çalışmada, traverten fabrika artıklarının dolgu işlemlerinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Traverten örnekleri üzerinde, çimento dolgu olarak nitelendirilen dolgunun karakteristik malzemeleri kalsit, portland çimentosu, kaolen gibi malzemeler ile hem mermer farika atıklarının değerlendirilmesi hem de dolgu maliyetinin düşürülebilmesi için dolgu karışımında kayacın kendi toz artığının (kek) farklı yüzde oranlarında kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, tasarlanan dolgu karışımlarının uygulandığı traverten malzemelerde fiziksel ve mekaniksel değişim ve gelişmeler değerlendirilmiştir [55].

1.4. Çalışmanın Literatürdeki Yeri

Rocco, G.V. ve arkadaşları [56] lifli numunelerle yaptıkları bir kırılma mekaniği çalışmasında lif miktarının artması ile beton bünyesinde bulunan boşluk miktarının arttığını ve numunelerin porozite değerinin yükseldiğini bildirmektedirler.

Demirel, B. ve Keleştemur, O., yaptıkları çalışmada [57] betonun görünür boşluk miktarının, ultra ses geçiş hızını etkilediği, boşluk miktarının artması ile ultra ses geçiş hızının azaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Subaşı S. [58], betonun görünür boşluk miktarı, ultrases geçiş hızını etkilediğini ve boşluk miktarının artması ile ultrases geçiş hızının azalmakta olduğunu belirtmiştir.

Erdoğan, T.Y., [3] ultrasonik test yöntemiyle herhangi bir betonun basınç dayanımını yeterince hassas olarak bulabilmenin zor olduğunu belirtmekle birlikte, herhangi bir beton içerisinde geçen ses üstü dalganın hızı, o betonun içerdiği boşluk miktarı ile yakından ilgili olduğu için, elde edilen ses üstü hız ile betonun kalitesi hakkında genel bir ilişki kurulabilmek mümkündür demektedir. Bir başka deyişle, betonun içerisindeki boşluk miktarı azaldıkça, ses üstü dalga hızının daha da arttığını ifade etmektedir.

Bölükbaş Y. [59] cam liflerle yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında özellikle yüksek cam lif içeriğine sahip numunelerde meydana gelen basınç dayanımındaki düşüşün, cam liflerin topaklanmaya sebep olmasından kaynaklandığını ifade ederek SEM analiz resimlerini paylaşmıştır.

Yaprak, H. ve diğerkleri [5]'ne göre, cam lifler beton içerisinde dağılıp erken dönem çatlaklarının oluşumunu engelleyerek betonun tokluğunu arttırmakta ve daha sünek bir özellik kazandırdığını söylemektedirler.

Bahadır, B. [7]'nin lifli betonlar üzerine yaptığı yüksek lisans tezinde, beton içerisinde kullanılan cam liflerin özellikle malzeme tokluğuna etki ederek betonun daha fazla deformasyon yapmasını sağladığını bildirmektedir.

Ünal ve Uygunoğlu [60] atık mermer tozu katkılı betonların donma – çözülme etkisinde mekanik özelliklerinin araştırıldıkları çalışmalarında, mermerlerin fabrikada işlenmesi sırasında açığa çıkan mermer tozunun betona % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında, karışımdaki ince malzeme ile hacimce yer değiştirmek suretiyle ilave etmişlerdir. Su /çimento oranlarını 0,65 ve çimento dozajını 300 ve 350 olarak belirleyerek üretilen tüm numuneleri kalıp alındıktan 28 gün sonunda 1 hafta ile donma – çözülme deneyine tabi tutmuşlardır. Numuneler üzerinde yaptıkları su emme, ultra ses hızı ve basınç dayanımı deneyleri sonucunda, mermer tozunun betona %5 – 15 oranında ince malzeme olarak ilave edilmesiyle ve çimento dozajının 350 seçilmesiyle betonun dayanımını olumlu bir şekilde arttırdığını gözlemişlerdir.

S.K. Agarwal ve arkadaşlarının [61] yaptığı bir çalışmada çimentonun yerine, sıkıştırma direnci üzerinde aşırı yumşatılmış 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.

Terzi ve arkadaşları [62] 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.

Khristova ve arkadaşları [63] 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.

Garcia ve arkadaşları [64] mermer artıklarının kimyasal analizlerini gerçekleştirmişler ve yapıda %99 oranında karbonat içeren taneciklerin varlığını tespit etmişlerdir. Buradan yola çıkarak seramik ürünlerin elde edilmesinde 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.

Demirel B. ve Yazıcıoğlu S. [65] yaptıkları çalışmada serilerdeki mermer tozunun miktarı arttıkça, basınç dayanımlarının da arttığını gözlemişlerdir. Bu durumun kalker esaslı bir malzeme olan mermer tozunun hem boşluk doldurucu etki yapmasından hem de hidrolik açıdan bağlayıcılık özelliği sergilemesinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Bunu da çimento miktarının her seride sabit tutulmasına rağmen basınç dayanımının artması, mermer tozunun da hidrasyon olayına katkıda bulunduğunu göstermektedir şeklinde açıklamışlardır. Sonuç olarak mermer tozunun, geleneksel betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirecek bir malzeme olduğunu belirtmişlerdir. Mermer tozunun alternatif bir ince malzeme olarak kullanılması, çevresel kirlilik potansiyeli yüksek olan bu atığının değerlendirilmesine ve böylece sürdürülebilir bir çevreye katkı sağlayacağı üzerine bir kanaate varmışlardır.

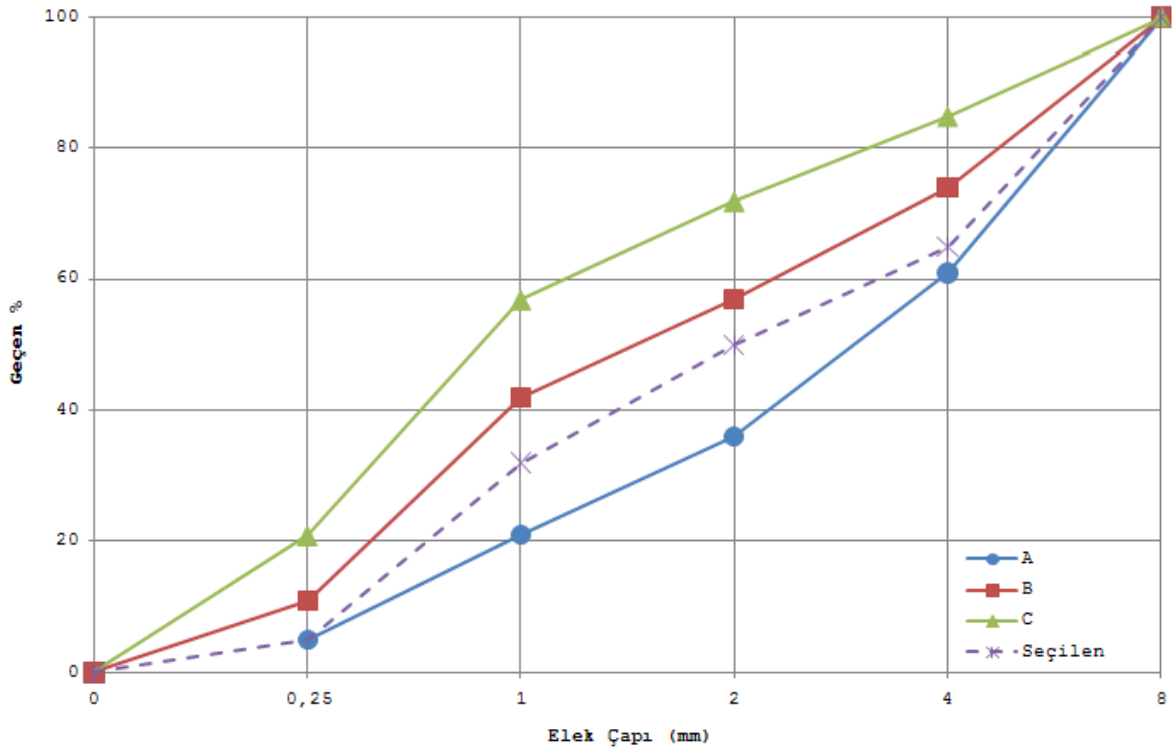
Yapılan literatür taramalarında cam lifin beton üzerine etkilerinin geniş kapsamlı olarak araştırıldığını ancak mermer tozunun beton üzerine etkileri ile ilgili yeteri kadar çalışma yapılmadığı görülmüştür. Bu çalışmada cam lifin betonun mekanik özelliklerine olumsuz yönde yaptığı etkilerin atık mermer tozu kullanılarak giderilebileceği düşünülmüştür. Yapılan literatür taramalarında böyle bir çalışmaya rastlanılmamış ve bu konunun araştırılmaya açık, özgün bir konu olduğu görülmüştür.

2. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, karışım oranları ve deney metotları hakkında genel bilgiler verilmektedir.

2.1. Numunelerin Hazırlanmasında Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalar için hazırlanan numunelerde kullanılacak agrega, Elazığ Palu yöresine ait yıkanmış dere agregasıdır. Deneylerde kullanılacak agreganın maksimum tane boyutu 8 mm seçilmiştir ve agregaya ait granülometri eğrisi Şekil 2.1’ de verilmiştir.



Şekil 2.1. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan agregaya ait granülometri eğrisi

Numunelerin hazırlanmasında çimento olarak Çimentaş Elazığ Çimento Fabrikasında üretilen CEM I 42,5 N Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 2.1’ de verilmiştir.

Tablo 2.1. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan çimentoya ait özellikler [66].

Kimyasal Kompozisyon (%)		Fiziksel Özellikler	
SO ₃	2,69	Özgül Ağırlık (mg/m ³)	3,12
MgO	2,1	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3.749
CI	0,005	Priz Başlangıcı (Dakika)	161
Serbest Kireç	0,5	Priz Sonu (Saat)	04,20
Çözünmeyen Kalıntı	0,26	Su İhtiyacı (Vicat Suyu) (%)	29,6
Kızdırma Kaybı	1,58	Hacim Sabitliği (mm)	0,4
Eşdeğer Alkali (Na ₂ O+0,658K ₂ O)	----	2Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	22,4
		7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	39,4
		28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	51

Atık mermer tozu katkılı beton numunelerin mekanik özellikleri üzerine lif katkısının etkisini belirleyebilmek amacıyla yapılan bu çalışmada lif katkısı olarak, Cam Elyaf Sanayii A.Ş. tarafından üretilen EMAT(1) cam lif keçeleri kullanılmıştır. Kullanılan cam life ait özellikler Tablo 2.2’ de verilmiştir.

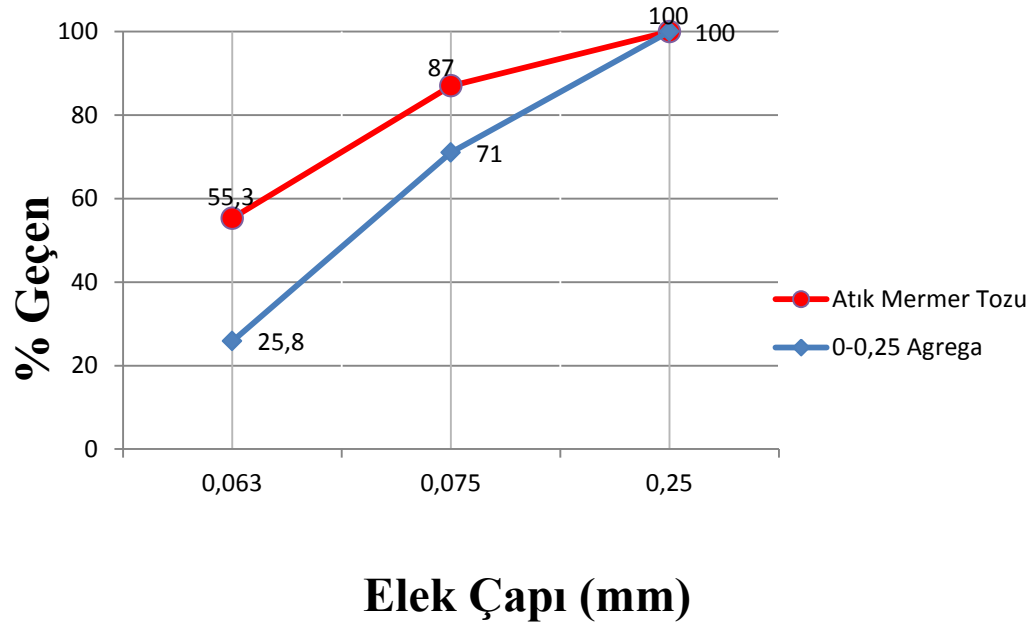
Tablo 2.2 Numunelerin hazırlanmasında kullanılan cam life ait özellikler [67].

Lif boyu (mm)	Lif çapı (µm)	Özgül ağırlık (mg/m ³)	Elastisite modülü (MPa)	Çekme mukavemeti (MPa)
12	14	2,68	72.000	1.700

Çalışmada kullanılacak mermer tozunu elde etmek için öncelikle Elazığ Alacakaya Mermer ve Maden İşletmesi San. ve Tic. A.Ş. tarafından çıkarılan ve işlenen iki ayrı mermer türünün (Elazığ vişne, Hazar bej) işlenmeleri sırasında açığa çıkan sulu atıkları (Şekil 2.2) temin edilmiştir. Bu atık malzeme önce hava kurusu haline getirilmiş ve ardından değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar etüvde kurutulmuştur. Tamamen kurutulan malzeme öğütülerek toz haline getirilmiş ve ardından 0,25 mm (No.60) elekten elenerek, Şekil 2.3’de verilen granülometri eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 2.2 Elazığ Alacakaya Mermer ve Maden İşletmesi San. ve Tic. A.Ş. tarafından üretilen iki ayrı mermer türünün (Elazığ vişne, Hazar bej) üretimleri sırasında açığa çıkan sulu atıkları



Şekil 2.3. Mermer tozu ve ince agreganın granülometri eğrisi

Atık mermer tozu olarak kullanılacak ürünün elde edildiği mermer malzemelerin fiziksel özellikleri ve kimyasal özellikleri sırasıyla Tablo 2.3 ve Tablo 2.4’ de verilmiştir.

Tablo 2.3 Mermerin fiziksel özellikleri [68].

Fiziksel Özellikler	Elazığ Vişne Mermeri	Hazar Bej Mermeri
Mohs Sertliği	3,5-4	3-4
Shore Sertliği	53	55
Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	2,69	2,69
Ağırlıkça Su Emme (%)	0,7	0,14
Görünür Gözeneklilik (%)	1,86	0,36
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	94,5	61,4
Çekme Dayanımı (MPa)	8,54	5,65
Eğilme Dayanımı (MPa)	13,50	14
Darbe Dayanımı (MPa)	1,2	2,0

Tablo 2.4 Mermerin kimyasal özellikleri (%) [4].

Kimyasal Özellikler	Elazığ Vişne Mermeri	Beyaz Mermer
SiO ₂	28,35	0,94
Fe ₂ O ₃	9,70	0,46
CaCO ₃	60,48	97,35

Beton numunelerin üretimi esnasında, artan su ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla, Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. tarafından üretilen, Sikament 98R ürün kodlu süper akışkanlaştırıcı ve priz geciktirici katkı maddesi kullanılmıştır. Deneylerde 7,5cm’lik slump değeri esas alındığından süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi bu çökme miktarını sağlayacak şekilde çimento ağırlığının %1’i ile %3’ü aralığındaki uygun oranlarda kullanılmıştır. Kontrol numunelerinde süper akışkanlaştırıcı kullanılmamıştır.

2.2. Numunelerin Hazırlanması ve Karışım Oranları

Deneylerde kullanılan 100 mm' lik küp beton numuneler, TS 802' de belirtilen beton karışım esaslarına göre hazırlanmıştır [69]. Çalışmada çimento dozajı, mermer tozu oranı ve cam lif içeriği değiştirilerek 50 farklı beton numunesi üretilmiştir. Numuneler cam lif içeriği 0, 5, 10, 15 ve 20 kg/m³, çimento dozajı 300, 350 ve mermer tozu ise ince malzeme ile hacimce %0, %25, %50, %75 ve %100 yer değiştirilerek hazırlanmıştır. Karışımın Su/Çimento oranı 0,63 alınmış ve bu oran tüm serilerde sabit tutulmuştur. Numune kodlarının belirlenmesinde değişkenler esas alınmıştır. Örnek olarak 300 çimento dozlu, 5 kg/m³ lif ve %100 mermer tozu içeren numune D300-CE5-MT100 olarak isimlendirilmiştir. Hazırlanan numunelere ait karışım oranları Tablo 2.5' de verilmiştir.

Tablo 2.5. Numunelere ait karışım oranları (kg/m³)

Numune	Çimento	Su	(0-0,25) Agrega	(0,25-4) Agrega	(4-8) Agrega	Cam Lif Miktarı	Mermer Tozu Miktarı
D300-K	300	190	85	1025	598	0	0
D300-CE0-MT25	300	190	64	1025	598	0	21
D300-CE0-MT50	300	190	43	1025	598	0	43
D300-CE0-MT75	300	190	21	1025	598	0	64
D300-CE0-MT100	300	190	0	1025	598	0	85
D300-CE5-MT0	300	190	85	1025	598	5	0
D300-CE5-MT25	300	190	64	1025	598	5	21
D300-CE5-MT50	300	190	43	1025	598	5	43
D300-CE5-MT75	300	190	21	1025	598	5	64
D300-CE5-MT100	300	190	0	1025	598	5	85
D300-CE10-MT0	300	190	85	1025	598	10	0
D300-CE10-MT25	300	190	64	1025	598	10	21
D300-CE10-MT50	300	190	43	1025	598	10	43
D300-CE10-MT75	300	190	21	1025	598	10	64
D300-CE10-MT100	300	190	0	1025	598	10	85
D300-CE15-MT0	300	190	85	1025	598	15	0
D300-CE15-MT25	300	190	64	1025	598	15	21
D300-CE15-MT50	300	190	43	1025	598	15	43
D300-CE15-MT75	300	190	21	1025	598	15	64
D300-CE15-MT100	300	190	0	1025	598	15	85
D300-CE20-MT0	300	190	85	1025	598	20	0
D300-CE20-MT25	300	190	64	1025	598	20	21
D300-CE20-MT50	300	190	43	1025	598	20	43
D300-CE20-MT75	300	190	21	1025	598	20	64
D300-CE20-MT100	300	190	0	1025	598	20	85

Tablo 2.5.'in devamı

D350-K	350	220	79	953	556	0	0
D350-CE0-MT25	350	220	60	953	556	0	20
D350-CE0-MT50	350	220	40	953	556	0	40
D350-CE0-MT75	350	220	20	953	556	0	60
D350-CE0-MT100	350	220	0	953	556	0	79
D350-CE5-MT0	350	220	79	953	556	5	0
D350-CE5-MT25	350	220	60	953	556	5	20
D350-CE5-MT50	350	220	40	953	556	5	40
D350-CE5-MT75	350	220	20	953	556	5	60
D350-CE5-MT100	350	220	0	953	556	5	79
D350-CE10-MT0	350	220	79	953	556	10	0
D350-CE10-MT25	350	220	60	953	556	10	20
D350-CE10-MT50	350	220	40	953	556	10	40
D350-CE10-MT75	350	220	20	953	556	10	60
D350-CE10-MT100	350	220	0	953	556	10	79
D350-CE15-MT0	350	220	79	953	556	15	0
D350-CE15-MT25	350	220	60	953	556	15	20
D350-CE15-MT50	350	220	40	953	556	15	40
D350-CE15-MT75	350	220	20	953	556	15	60
D350-CE15-MT100	350	220	0	953	556	15	79
D350-CE20-MT0	350	220	79	953	556	20	0
D350-CE20-MT25	350	220	60	953	556	20	20
D350-CE20-MT50	350	220	40	953	556	20	40
D350-CE20-MT75	350	220	20	953	556	20	60
D350-CE20-MT100	350	220	0	953	556	20	79

Hazırlanan numuneler 24 saat kalıplarda tutulduktan sonra kalıplardan çıkarılarak 28 gün boyunca 22 ± 2 °C sıcaklıktaki kirece doymun suda kür edilmiştir.

2.2.1. Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler

Farklı oranlardaki cam lif katkısının ve mermer tozu ilavesinin betonun mekanik davranışları üzerindeki etkilerini belirleyebilmek amacıyla basınç dayanımı tayini ve yarmada çekme dayanımı tayini yapılmıştır. Mekanik davranışları açıklamada yardımcı olması için ise numunelerin fiziksel özellikleri porozite tayini ve ultrases geçiş hızı tayini deneyleri ile tespit edilmiştir.

2.2.1.1. Porozite Tayini

28 gün kirece doymun su içerisinde kür işlemine tabi tutulan numuneler, kür havuzundan çıkarılarak TS EN 772-4'e uygun olarak porozite tayini [70] deneyi yapılmıştır. Numuneler hassas terazide doymun yüzey kuru ağırlığı (W_{dyk}), sualtındaki ağırlığı (W_{su}) ve etüvde kurutulan numunenin kuru ağırlığı (W_{kuru}) tartılmıştır. Elde edilen bu ağırlıklar ile aşağıdaki formül kullanılarak porozite değeri elde edilmiştir.

$$P = \frac{(W_{dyk} - W_{kuru})}{(W_{dyk} - W_{su})} \times 100 \quad (2.1)$$

Burada;

P = Porozite (%),

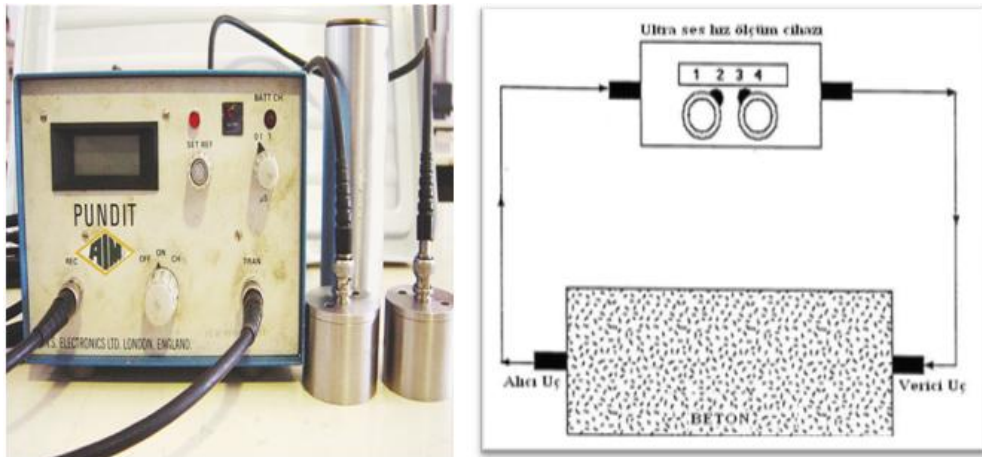
W_{dyk} = Numunelerin doymun yüzey kuru ağırlığı (kg),

W_{kuru} = Numunelerin etüv kurusu ağırlığı (kg),

W_{su} = Numunelerin su altındaki ağırlığı (kg),

2.2.1.2. Ultrases Geçiş Hızı Tayini

ASTM C597-02' ye uygun olarak, numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı tayini [71] yapılmıştır. Yapılan deneye ait deney düzeneği ve ölçüm cihazı Şekil 2.4' de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Ultrases geçiş hızı deney düzeneği ve ölçüm cihazı

Beton numunenin bir yüzeyinden gönderilen ses üstü dalganın diğer yüzeyine ne kadar zamanda geçtiği ölçüldükten sonra, dalga hızı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [71]:

$$V = \frac{S}{t} \times 10^3 \quad (2.2)$$

Burada;

V = Ses üstü dalga hızı (km/sn),

S = Numunenin ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (metre),

t = Ses üstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı diğer yüzeye kadar geçen zaman (mikro saniye).

2.2.1.3. Basınç Dayanımı Tayini

Hazırlanan küp numuneler üzerinde, TS EN 12390-3' e uygun olarak basınç dayanımı tayini deneyi [72] yapılmıştır. ELE Autotest 3000 test cihazında (Şekil 2.5) basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deney esnasında uygulanan yükleme hızı 3 KN/sn olacak şekilde sabit tutulmuştur.

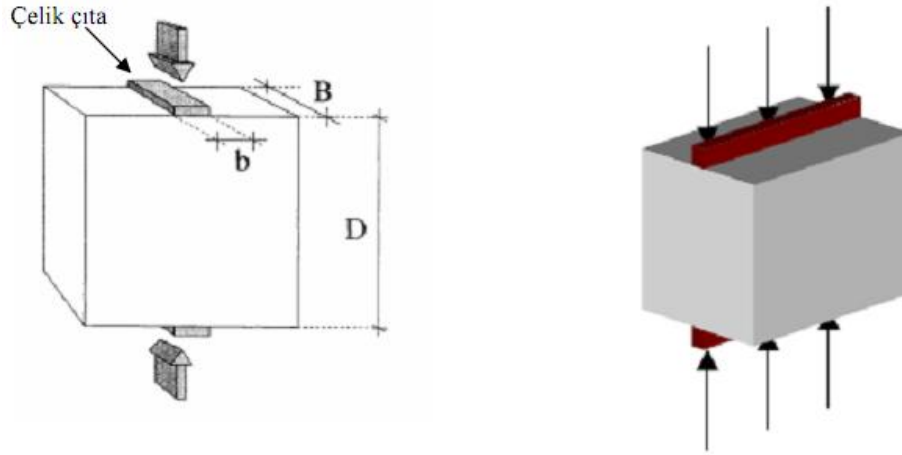


Şekil 2. 5. Beton basınç dayanımı test cihazı

2.2.1.4. Yarmada-Çekme Dayanımı Tayini

Hazırlanan küp numuneler üzerinde, TS EN 12390-6' ya uygun olarak yarmada çekme dayanımı tayini deneyi [73] yapılmıştır. Deney esnasında uygulanan yükleme hızı 0,47 KN/sn olacak şekilde sabit tutulmuştur.

Hazırlanan küp numunelerde yarmada çekme dayanımı tayini deneyi Şekil 2.6' de gösterilen deney düzeneğine uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. 6. Yarmada çekme dayanımı deney düzeneği [56].

Yarmada çekme dayanımında aşağıda verilen eşitlik (2.3) kullanılmıştır.

$$f_{ct} = \frac{2.F}{\pi.L.d} \quad (2.3)$$

Burada;

f_{ct} = Yarmada çekme dayanımı (MPa)

F = Kırılma yükü (N)

L = Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu(mm)

d = Numunenin en kesit boyutu (mm) ifade etmektedir.

3. BULGULAR

Çalışmalar sırasında hazırlanan beton numuneleri üzerinde yapılan porozite tayini, ultra ses geçiş hızı tayini, basınç dayanımı tayini ve yarmada çekme dayanımı tayini deneylerinde elde edilen veriler bu bölümde verilmiştir.

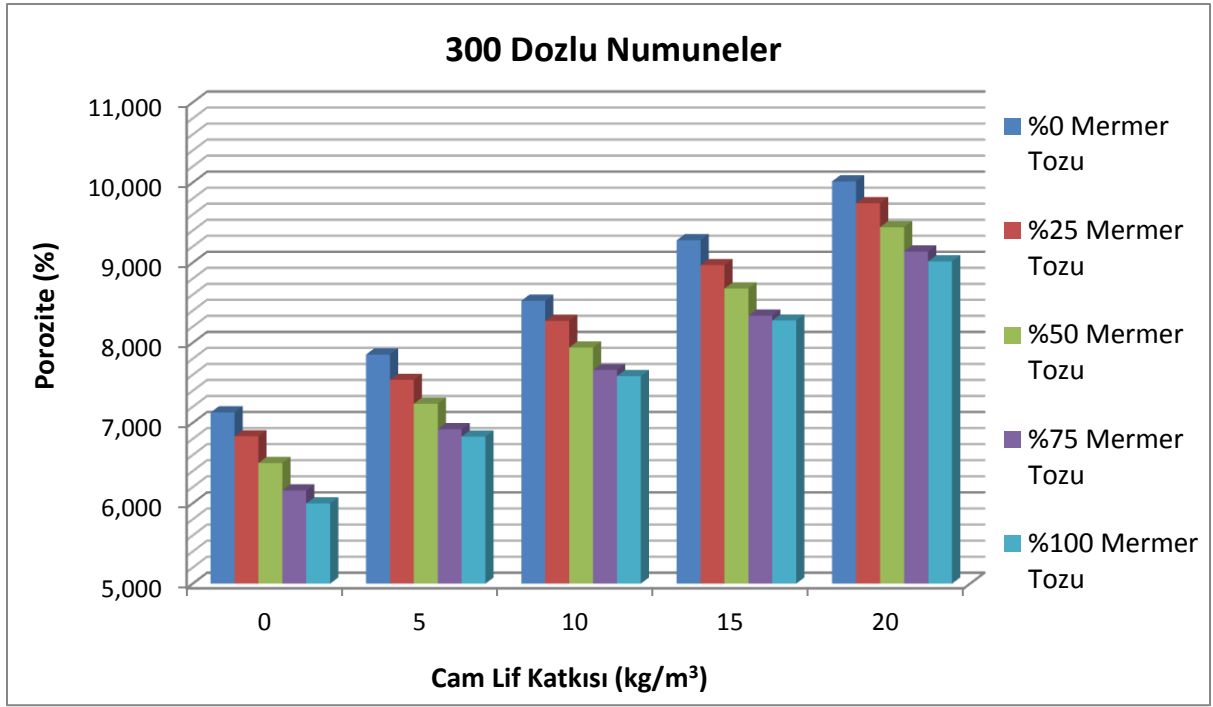
3.1. Porozite Tayini Deney Sonuçları

Deneyisel çalışmalarda elde edilen beton numunelere ait porozite değerleri Tablo 3.1' de verilmiştir.

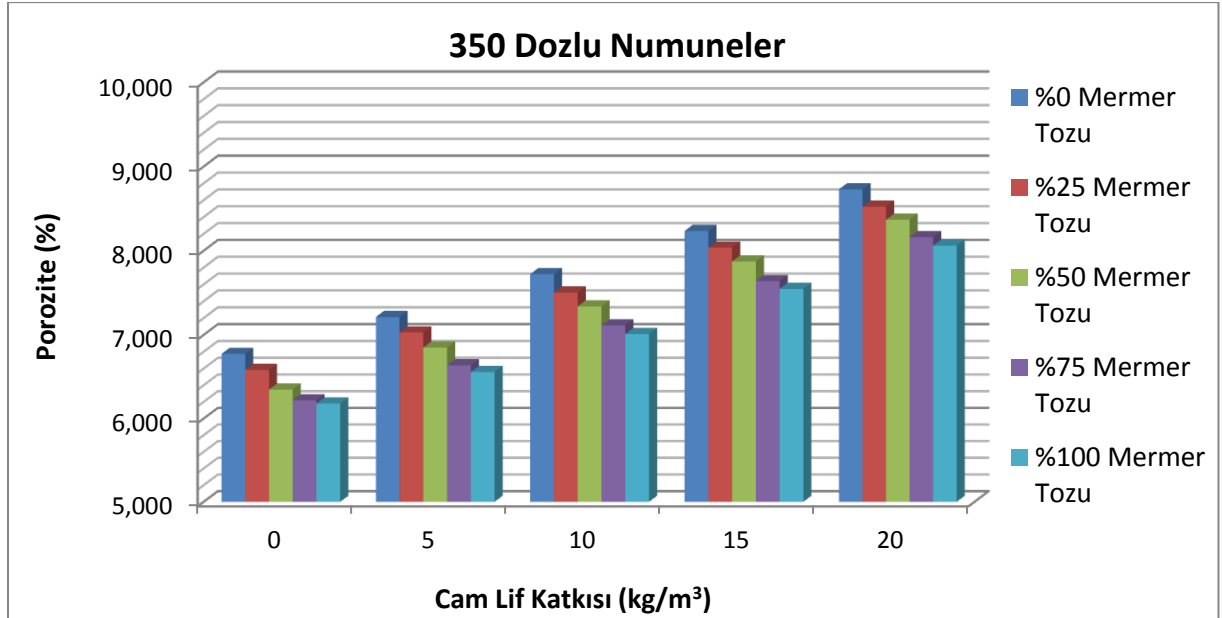
Tablo 3.1. Numunelerin porozite değerleri (%)

Numune	Porozite	Numune	Porozite
D300-K	7,130	D350-K	6,774
D300-CE0-MT25	6,832	D350-CE0-MT25	6,584
D300-CE0-MT50	6,500	D350-CE0-MT50	6,348
D300-CE0-MT75	6,158	D350-CE0-MT75	6,218
D300-CE0-MT100	5,998	D350-CE0-MT100	6,180
D300-CE5-MT0	7,852	D350-CE5-MT0	7,213
D300-CE5-MT25	7,536	D350-CE5-MT25	7,028
D300-CE5-MT50	7,239	D350-CE5-MT50	6,850
D300-CE5-MT75	6,920	D350-CE5-MT75	6,638
D300-CE5-MT100	6,828	D350-CE5-MT100	6,558
D300-CE10-MT0	8,523	D350-CE10-MT0	7,722
D300-CE10-MT25	8,273	D350-CE10-MT25	7,504
D300-CE10-MT50	7,939	D350-CE10-MT50	7,339
D300-CE10-MT75	7,659	D350-CE10-MT75	7,113
D300-CE10-MT100	7,583	D350-CE10-MT100	7,009
D300-CE15-MT0	9,279	D350-CE15-MT0	8,234
D300-CE15-MT25	8,968	D350-CE15-MT25	8,036
D300-CE15-MT50	8,676	D350-CE15-MT50	7,873
D300-CE15-MT75	8,337	D350-CE15-MT75	7,639
D300-CE15-MT100	8,276	D350-CE15-MT100	7,547
D300-CE20-MT0	10,014	D350-CE20-MT0	8,729
D300-CE20-MT25	9,740	D350-CE20-MT25	8,523
D300-CE20-MT50	9,441	D350-CE20-MT50	8,368
D300-CE20-MT75	9,137	D350-CE20-MT75	8,161
D300-CE20-MT100	9,014	D350-CE20-MT100	8,060

Numunelerden elde edilen porozite değerlerinin, lif oranlarına, çimento dozajına ve mermer tozu oranına göre değişim grafikleri Şekil 3.1 ve Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Numunelerden elde edilen porozite değerleri değişimi (300 Çimento dozajı için)

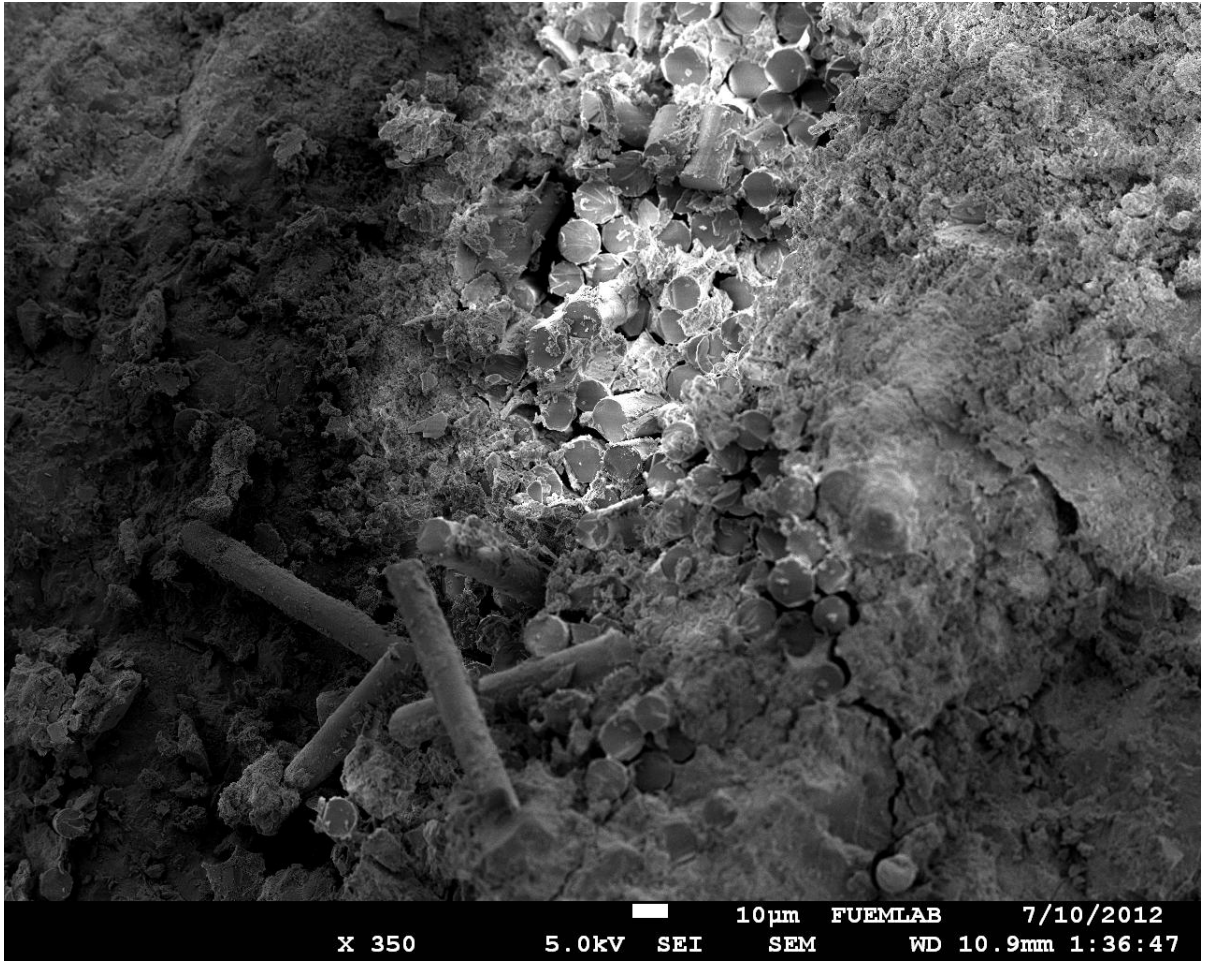


Şekil 3.2 Numunelerden elde edilen porozite değerleri değişimi (350 Çimento dozajı için)

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen porozite değerlerinin numunelerin dozajının ve mermer tozu oranının artmasıyla azaldığı görülmüştür. Bunun sebebi karışımdaki

ince malzeme oranının artması ve buna bağı olarak bu ince malzemelerin boşlukları doldurmasıdır.

Cam lif içeriğinin artması ile porozitede büyük artışlar meydana gelmiştir. Cam lifin poroziteyi arttırmasının sebepleri; beton ile lif arasında yeteri kadar aderansın olmamasından dolayı oluşan boşluklar ve lif miktarının artmasına bağı olarak meydana gelen topaklanmadır. Bu durum Şekil 3.3.'de SEM (Scanning Electron Microscope) ile çekilmiş fotoğrafta net bir şekilde görölmektedir.



Şekil 3.3. Topaklanmayı ve beton ile lif arasındaki aderansın yeterli olmamasından dolayı oluşan boşlukları gösteren SEM görüntüsü (X350)

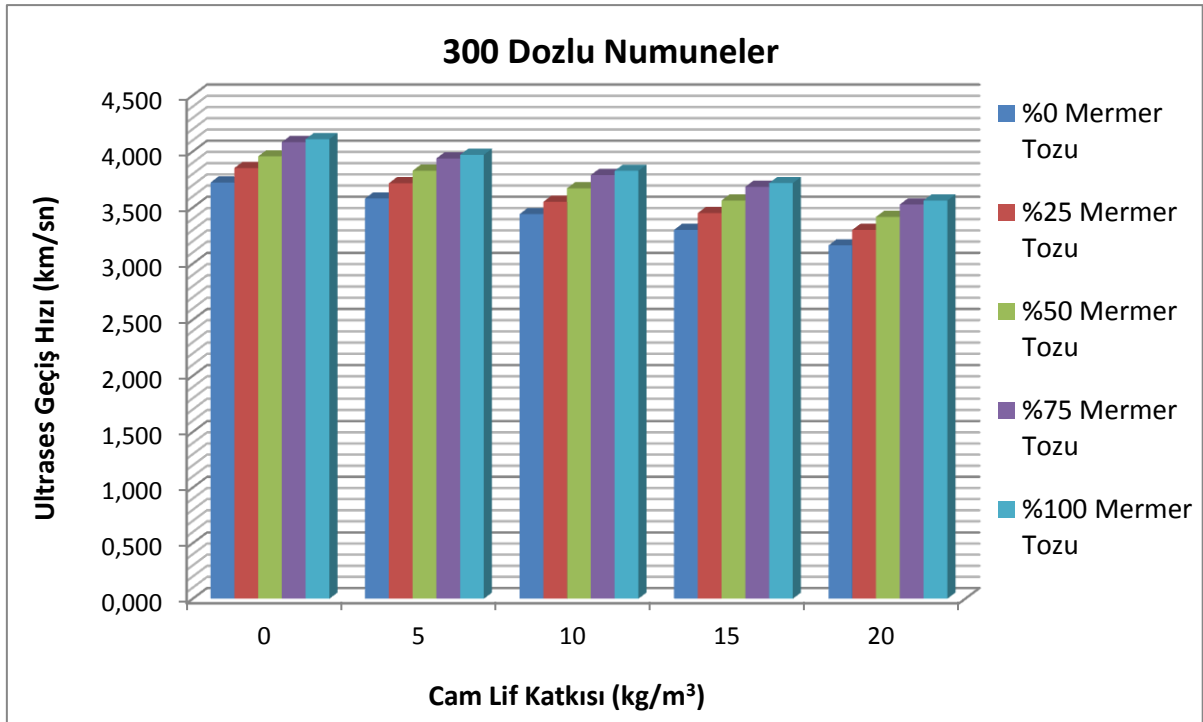
3.2. Ultra Ses Geçiş Hızı Tayini Sonuçları

Deneysel çalışmalarda elde edilen beton numunelere ait ultra ses geçiş hızı değerleri Tablo 3.2' de verilmiştir.

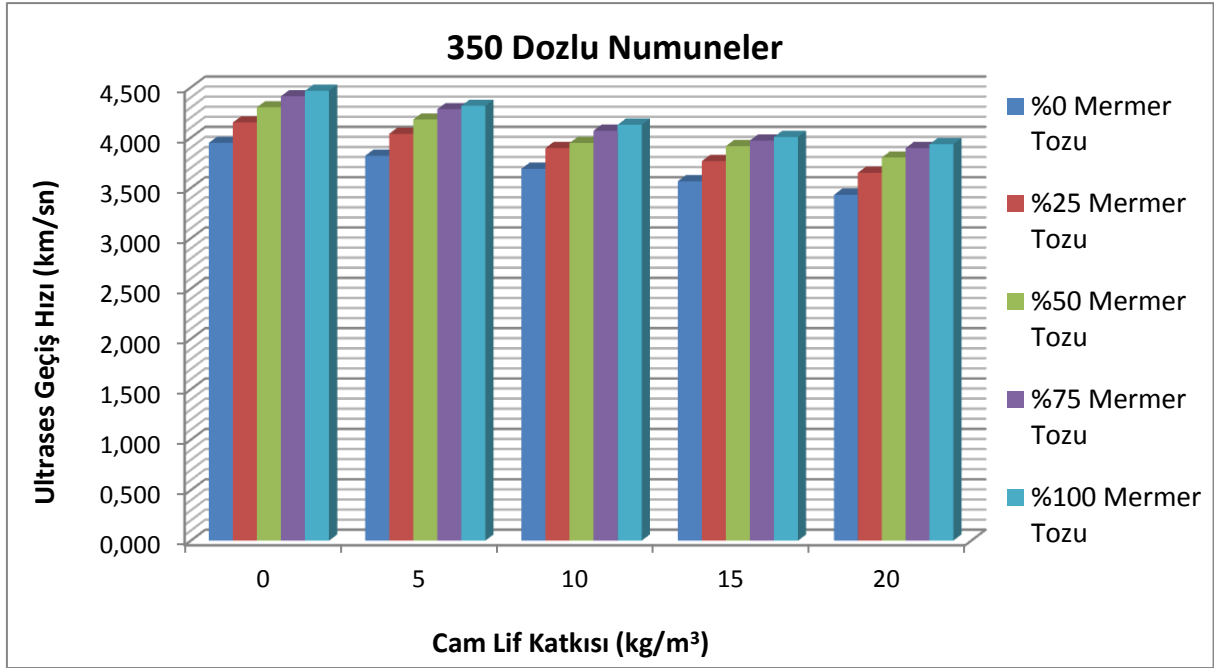
Tablo 3.2. Numunelere ait ultra ses geçiş hızı değerleri

Numune	Ultrases geçiş hızı (km/sn)	Numune	Ultrases geçiş hızı (km/sn)
D300-K	3,949	D350-K	3,724
D300-CE0-MT25	4,152	D350-CE0-MT25	3,852
D300-CE0-MT50	4,302	D350-CE0-MT50	3,956
D300-CE0-MT75	4,412	D350-CE0-MT75	4,084
D300-CE0-MT100	4,465	D350-CE0-MT100	4,110
D300-CE5-MT0	3,820	D350-CE5-MT0	3,581
D300-CE5-MT25	4,039	D350-CE5-MT25	3,717
D300-CE5-MT50	4,180	D350-CE5-MT50	3,828
D300-CE5-MT75	4,283	D350-CE5-MT75	3,938
D300-CE5-MT100	4,317	D350-CE5-MT100	3,970
D300-CE10-MT0	3,692	D350-CE10-MT0	3,442
D300-CE10-MT25	3,898	D350-CE10-MT25	3,551
D300-CE10-MT50	3,947	D350-CE10-MT50	3,672
D300-CE10-MT75	4,070	D350-CE10-MT75	3,790
D300-CE10-MT100	4,129	D350-CE10-MT100	3,827
D300-CE15-MT0	3,567	D350-CE15-MT0	3,301
D300-CE15-MT25	3,767	D350-CE15-MT25	3,452
D300-CE15-MT50	3,917	D350-CE15-MT50	3,563
D300-CE15-MT75	3,972	D350-CE15-MT75	3,685
D300-CE15-MT100	4,007	D350-CE15-MT100	3,718
D300-CE20-MT0	3,433	D350-CE20-MT0	3,163
D300-CE20-MT25	3,651	D350-CE20-MT25	3,301
D300-CE20-MT50	3,803	D350-CE20-MT50	3,417
D300-CE20-MT75	3,897	D350-CE20-MT75	3,528
D300-CE20-MT100	3,935	D350-CE20-MT100	3,563

Beton numunelerin ultra ses geçiş hızlarının, lif oranlarına, imento dozajına ve mermer tozu oranına göre değişim grafikleri şekil 3.4 ve şekil 3.5’ de verilmiştir.



şekil 3.4. Numunelerden elde edilen ultra ses hızarı değişimi (300 imento dozajı için)



Şekil 3.5. Numunelerden elde edilen ultra ses hızı değişimi (350 Çimento dozajı için)

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, numunelerin ultra ses geçiş hızları, çimento dozaj değerinin artmasıyla artmıştır; benzer şekilde mermer tozu oranının artması da numunelerin ultra ses geçiş hızlarını artmıştır. Ancak numunelerdeki cam lif içeriğinin artması ile ultra ses geçiş hızlarında azalma meydana gelmiştir. Porozite ile ultra ses geçiş hızları arasında bir ilişki vardır. Porozitenin azalmasıyla ultrases geçiş hızı değerleri artmış; porozitenin artmasıyla da ultra ses geçiş hızı değerleri azalmıştır. Bu durum ultrases dalgalarının beton içerisinde daha az boşluğa rastladığından daha hızlı ilerlediği anlamına gelmektedir. Çalışmada elde edilen ultrases geçiş hızı değişimleri literatürle uyumluluk göstermektedir.

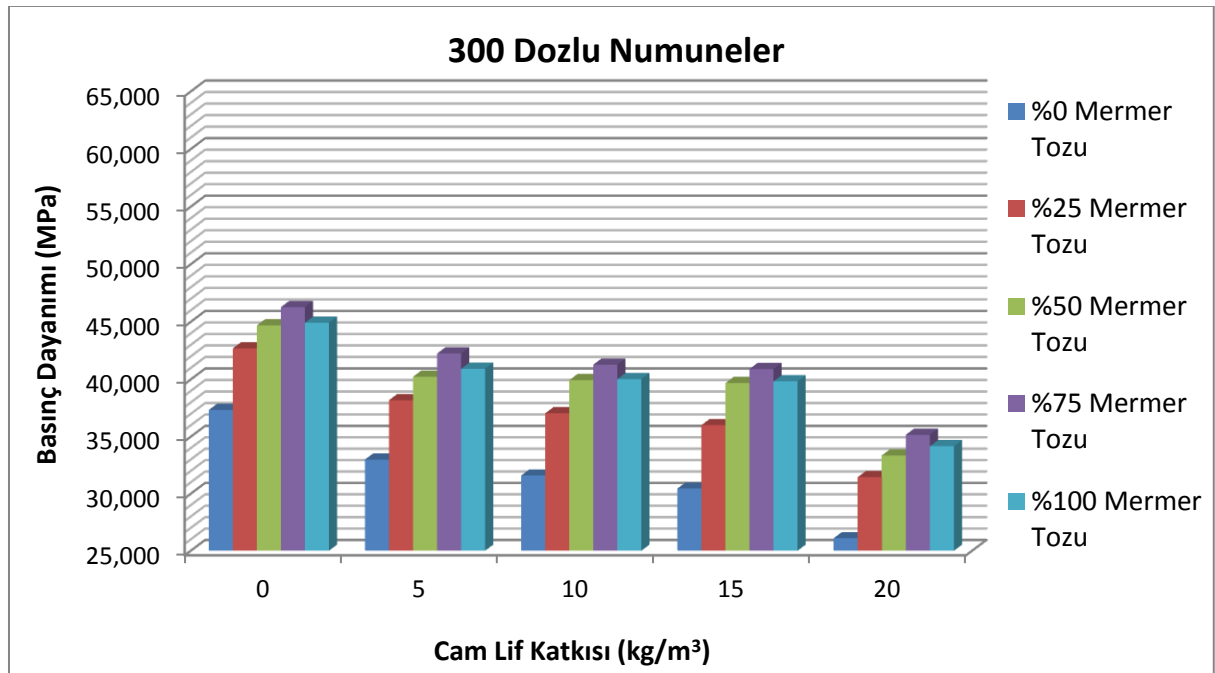
3.3. Basınç Dayanımı Tayini Sonuçları

Deneysel çalışmalarda elde edilen beton numunelere ait basınç dayanımı değerleri Tablo 3.3' de verilmiştir.

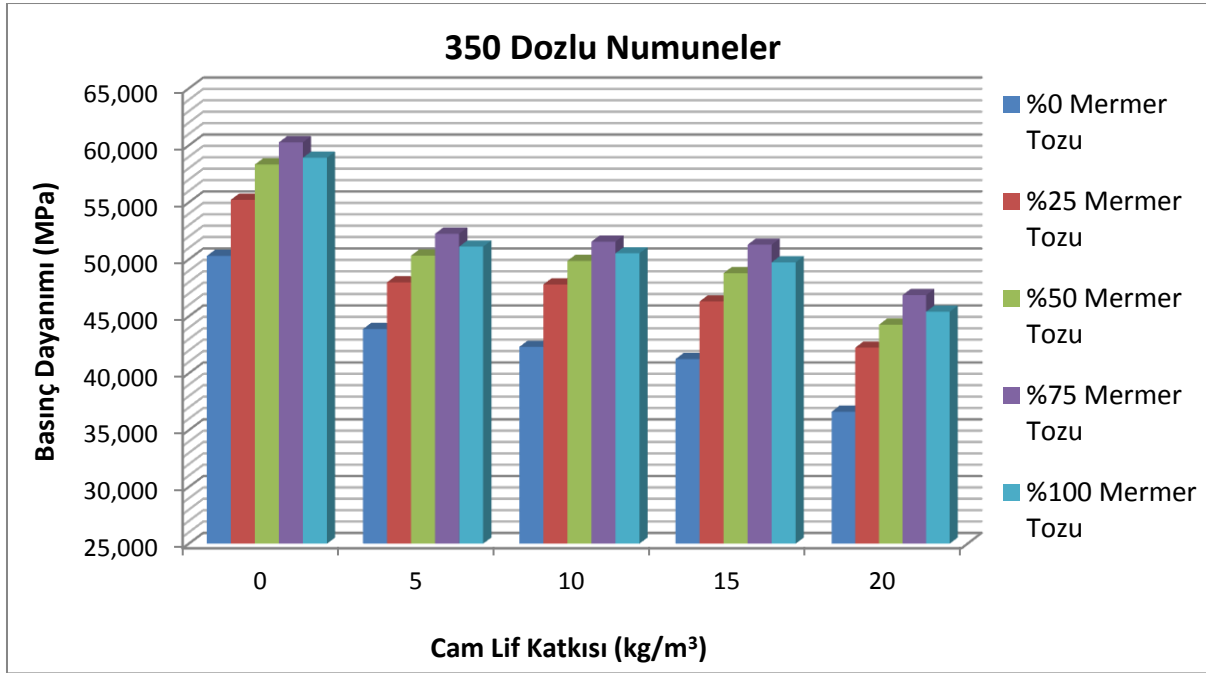
Tablo 3.3. Numunelere ait basınç dayanımı değerleri (Mpa)

Numune	Basınç Dayanımı	Numune	Basınç Dayanımı
D300-K	37,343	D350-K	50,300
D300-CE0-MT25	42,697	D350-CE0-MT25	55,230
D300-CE0-MT50	44,693	D350-CE0-MT50	58,325
D300-CE0-MT75	46,273	D350-CE0-MT75	60,273
D300-CE0-MT100	44,920	D350-CE0-MT100	58,920
D300-CE5-MT0	32,993	D350-CE5-MT0	43,890
D300-CE5-MT25	38,197	D350-CE5-MT25	47,990
D300-CE5-MT50	40,233	D350-CE5-MT50	50,333
D300-CE5-MT75	42,247	D350-CE5-MT75	52,253
D300-CE5-MT100	40,920	D350-CE5-MT100	51,117
D300-CE10-MT0	31,590	D350-CE10-MT0	42,317
D300-CE10-MT25	37,047	D350-CE10-MT25	47,797
D300-CE10-MT50	39,933	D350-CE10-MT50	49,867
D300-CE10-MT75	41,277	D350-CE10-MT75	51,550
D300-CE10-MT100	40,021	D350-CE10-MT100	50,527
D300-CE15-MT0	30,453	D350-CE15-MT0	41,250
D300-CE15-MT25	36,013	D350-CE15-MT25	46,303
D300-CE15-MT50	39,680	D350-CE15-MT50	48,787
D300-CE15-MT75	40,900	D350-CE15-MT75	51,287
D300-CE15-MT100	39,827	D350-CE15-MT100	49,737
D300-CE20-MT0	26,093	D350-CE20-MT0	36,627
D300-CE20-MT25	31,447	D350-CE20-MT25	42,253
D300-CE20-MT50	33,347	D350-CE20-MT50	44,260
D300-CE20-MT75	35,163	D350-CE20-MT75	46,860
D300-CE20-MT100	34,163	D350-CE20-MT100	45,400

Beton numunelerin basınç dayanımı değerlerinin, lif oranlarına, çimento dozajına ve mermer tozu oranına göre değişim grafikleri Şekil 3.5 ve Şekil 3.7’ de verilmiştir.



Şekil 3.6. Numunelerden elde edilen basınç dayanımı değişimi (300 Çimento dozajı için)



Şekil 3.7. Numunelerden elde edilen basınç dayanımı değişimi (350 Çimento dozajı için)

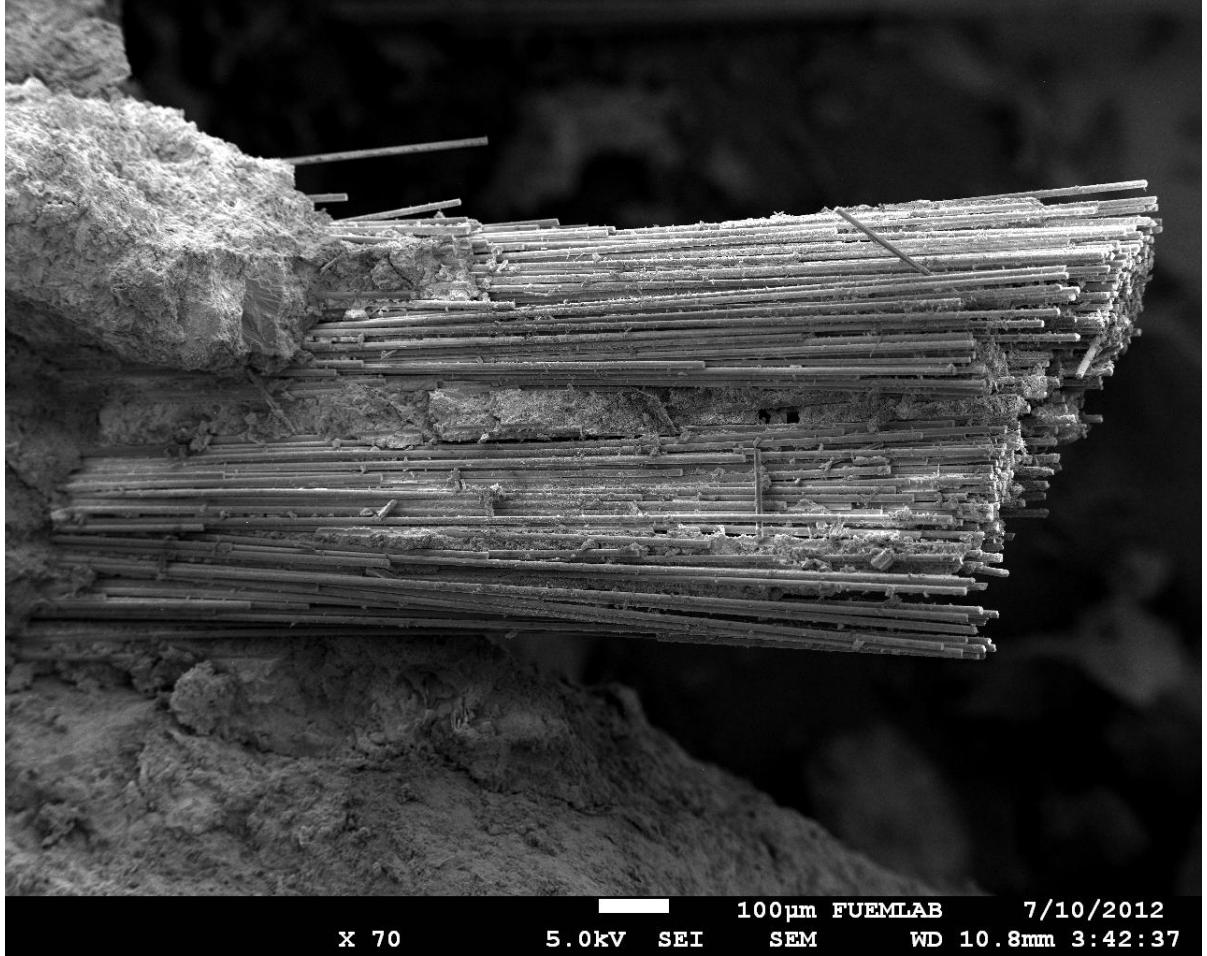
Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda numunelerin basınç dayanımlarının, çimento dozaj değerinin artmasıyla arttığı görülmüştür. Mermer tozu oranının %75'e kadar artmasıyla da numunelerin basınç dayanımları sürekli artmıştır, her grupta en büyük basınç dayanımı %75 oranında mermer tozu ilaveli betonlarda gözlemlenmiştir. Mermer tozu oranının %100'e çıkarılmasıyla basınç dayanımının düştüğü görülmüştür. Ancak bu azalmaya rağmen tüm serilerde en yüksek ikinci basınç dayanımı değerleri %100 oranındaki mermer tozu ilaveli beton numunelere aittir.

Mermer bilindiği üzere kalker (CaCO_3) esaslı bir madendir. Mermer tozunun basınç dayanımı değerlerini belirli bir orana kadar arttırması kalker esaslı bir malzeme olan mermer tozunun hem boşluk doldurucu etki yaptığı hem de hidrolik açıdan bağlayıcılık özelliği sergilediği şeklinde açıklanabilir. Çünkü çimento miktarı her seride sabit iken basınç dayanımının artması, mermer tozunun da hidratasyon olayına katkısının olduğu anlamına gelir.

Cam lif içeriğinin numunelerin basınç dayanımları üzerindeki pozitif yönde bir etkisi gözlemlenmemiştir. Aksine basınç dayanımlarında azalmalar meydana getirmiştir. Cam lif ile beton arasında yeterli aderans sağlanamadığından dolayı beton içerisinde boşluklar oluşmaktadır. Bu durumdan porozite tayini sonuçları yorumlanırken de bahsedilmiştir ve

beton numunesinde lifin meydana getirdiği boşluklu yapıyı gösteren SEM resmi Şekil 3.3’de verilmişti.

Ayrıca beton içerisindeki cam lif oranının artmasıyla liflerin topaklanması söz konusu olmaktadır. Topaklanmanın sonucunda beton içerisinde daha büyük boşluklar oluşmaktadır. İşte bu boşluklar nedeniyle betonun basınç dayanımı düşmektedir. Topaklanma Şekil 3.8’de verilen SEM resminde daha açık bir şekilde görölmektedir.



Şekil 3.8. 350 çimento dozlu, 20 kg/m³ cam lif içeren beton numunesine ait SEM görüntüsü (X70)

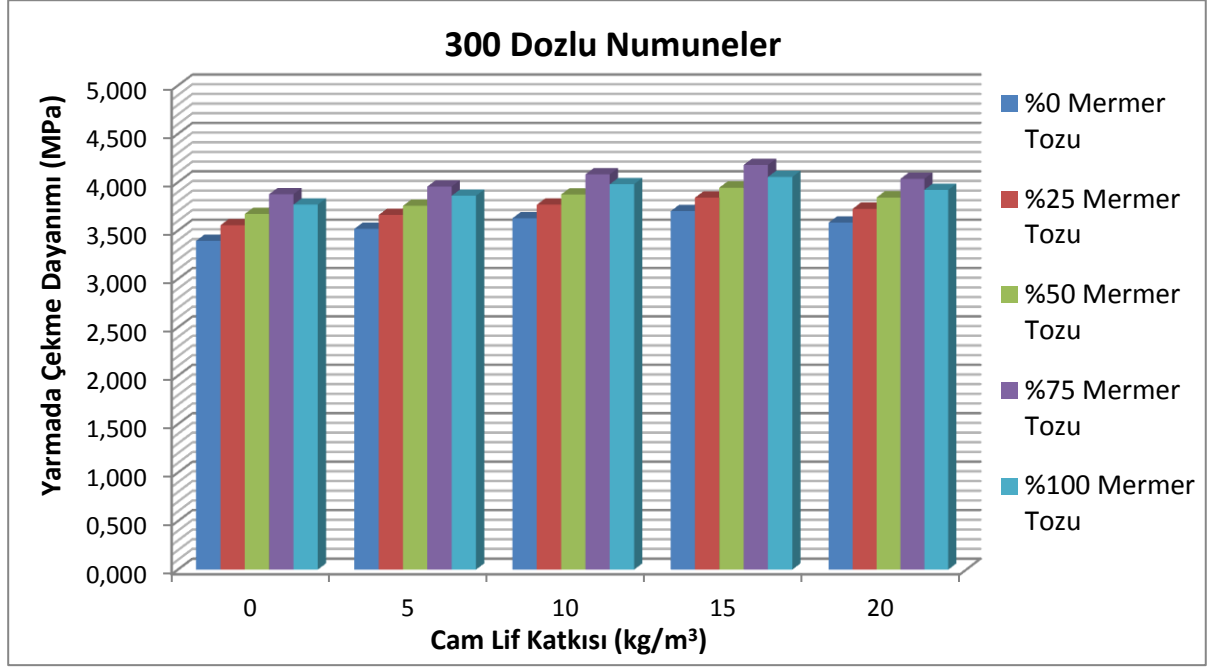
3.4. Yarmada Çekme Dayanımı Tayini Sonuçları

Deneysel çalışmalarda elde edilen beton numunelere ait yarmada çekme dayanımı değerleri Tablo 3.4’ de verilmiştir.

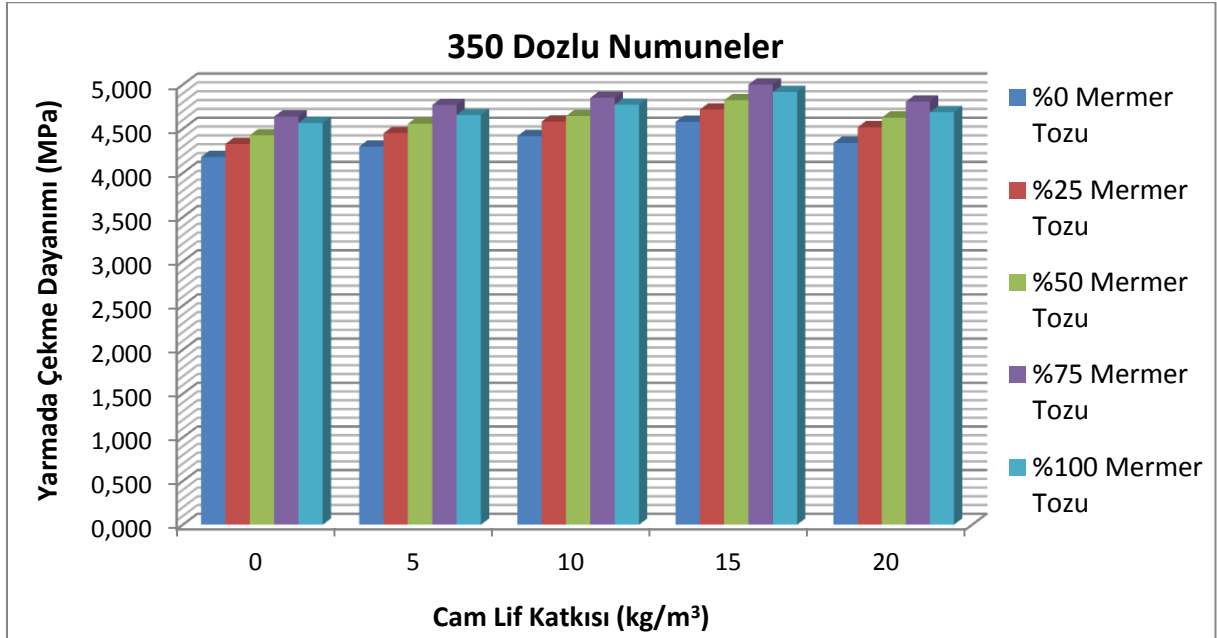
Tablo 3.4. Numunelere ait yarmada çekme dayanımı değerleri (MPa)

Numune	Yarmada Çekme Dayanımı	Numune	Yarmada Çekme Dayanımı
D300-K	3,395	D350-K	4,181
D300-CE0-MT25	3,556	D350-CE0-MT25	4,328
D300-CE0-MT50	3,673	D350-CE0-MT50	4,426
D300-CE0-MT75	3,877	D350-CE0-MT75	4,638
D300-CE0-MT100	3,769	D350-CE0-MT100	4,566
D300-CE5-MT0	3,518	D350-CE5-MT0	4,298
D300-CE5-MT25	3,662	D350-CE5-MT25	4,450
D300-CE5-MT50	3,757	D350-CE5-MT50	4,558
D300-CE5-MT75	3,956	D350-CE5-MT75	4,769
D300-CE5-MT100	3,860	D350-CE5-MT100	4,655
D300-CE10-MT0	3,628	D350-CE10-MT0	4,417
D300-CE10-MT25	3,768	D350-CE10-MT25	4,582
D300-CE10-MT50	3,874	D350-CE10-MT50	4,644
D300-CE10-MT75	4,082	D350-CE10-MT75	4,850
D300-CE10-MT100	3,980	D350-CE10-MT100	4,773
D300-CE15-MT0	3,701	D350-CE15-MT0	4,578
D300-CE15-MT25	3,841	D350-CE15-MT25	4,717
D300-CE15-MT50	3,944	D350-CE15-MT50	4,823
D300-CE15-MT75	4,179	D350-CE15-MT75	5,028
D300-CE15-MT100	4,055	D350-CE15-MT100	4,916
D300-CE20-MT0	3,583	D350-CE20-MT0	4,340
D300-CE20-MT25	3,726	D350-CE20-MT25	4,517
D300-CE20-MT50	3,842	D350-CE20-MT50	4,626
D300-CE20-MT75	4,036	D350-CE20-MT75	4,807
D300-CE20-MT100	3,921	D350-CE20-MT100	4,687

Beton numunelerin yarmada çekme dayanımı değerlerinin, lif oranlarına, çimento dozajına mermer tozu oranına göre değişim grafikleri Şekil 3.9 ve Şekil 3.10’ da verilmiştir.



Şekil 3.9. Numunelerden elde edilen yarmada çekme dayanımı değişimi (300 Çimento dozajı için)



Şekil 3.10. Numunelerden elde edilen yarmada çekme dayanımı değişimi (350 Çimento dozajı için)

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda numunelerin yarmada çekme dayanımlarının, çimento dozaj değerlerinin artması ile arttığı görülmüştür. Beton içerisinde, mermer tozu

oranının artışı ile tıpkı basınç dayanımındaki gibi bir davranış sergilenmiş ve %75 mermer tozu oranında en yüksek yarmada çekme dayanımları saptanmıştır. Mermer tozu oranı %100'e çıkarılınca basınç dayanımında olduğu gibi yarmada çekme dayanımında da düşüş gözlemlenmiştir. Basınç dayanımındaki davranışının aksine cam lif içeriği genel olarak yarmada çekme dayanımlarını olumlu etkilemiş, özellikle 15 kg/m³ cam lif içeren numunelerde yarmada çekme dayanımlarında en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar literatürle uyumludur.

3.5. Deney Bulgularının Değerlendirilmesi

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen porozite değerleri, numunelerin dozaj değişimleri ile çok fazla bir değişim göstermemektedir. Ancak numunelerin mermer tozu oranlarının artması ile porozite değerinde azalma meydana gelmiş, cam lif içeriğinin artması ile de porozite değerinde artış meydana gelmiştir. Bu iki unsur kendi arasında kıyaslandığında lif miktarının değişiminin porozite üzerinde mermer tozu oranının değişimine göre daha belirgin bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Numunelerin ultra ses geçiş hızları, çimento dozaj değerinin artmasıyla artmıştır benzer şekilde mermer tozu oranının artması da numunelerin ultra ses geçiş hızlarını arttırmıştır. Ancak numunelerdeki cam lif içeriğinin artması ile ultra ses geçiş hızlarında azalma meydana gelmiştir.

Çimento dozaj değerinin artması numunelerin basınç dayanımlarını arttırmıştır. Mermer tozu oranının %75'e kadar artmasıyla da numunelerin basınç dayanımları sürekli artmıştır ve bu %75'lik mermer tozu ikame oranı her grupta en büyük basınç dayanımını sağlamıştır. Ancak mermer tozu oranı %100'e çıkarıldığında basınç dayanımının düştüğü görülmüştür. Bu basınç dayanımı değeri yine de kontrol numunesinin basınç değerinden daha yüksektir.

Cam lif içeriğinin numunelerin basınç dayanımları üzerindeki pozitif yönde bir etkisi gözlemlenmemiştir. Aksine basınç dayanımlarında azalmalar meydana getirmiştir.

Numunelerin yarmada çekme dayanımları, çimento dozaj değerlerinin artması ile artmıştır. Numune, mermer tozu oranının artışı ile tıpkı basınç dayanımındaki gibi bir davranış sergilemiştir ve %75 mermer tozu oranında en yüksek yarmada çekme dayanımları saptanmıştır. Mermer tozu oranı %100'e çıkarılınca basınç dayanımında olduğu gibi yarmada

çekme dayanımında da düşüş gözlemlenmiştir. Basınç dayanımındaki davranışının aksine cam lif içeriği genel olarak yarmada çekme dayanımlarını olumlu etkilemiş, özellikle 15 kg/m³ cam lif içeren numunelerde yarmada çekme dayanımlarında en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Yapılan literatür taramalarında cam lifin beton üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri araştırılmıştır. Lifin, beton içerisinde meydana getirdiği boşlukların, olumsuz etkilerin temelini oluşturduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle lif kullanıldığında beton içerisinde meydana gelecek olan boşlukları azaltmak ve olumsuz etkileri minimize etmek için ince malzemeye (0-0,25mm.) hacimce yer değiştirilmek suretiyle mermer tozu kullanılmasına karar verilmiştir.

Yapılan bütün çalışmaların sonuçları aşağıda değerlendirilmiştir.

- Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen porozite değerleri, numunelerin dozaj değişimleri ve mermer tozu ilavesi ile yaklaşık olarak %5,5 oranında azalırken; cam lif içeriğinin artması ile de yaklaşık olarak %10'luk bir artış olmuştur. Mermer tozu ilavesi veya dozaj arttırılarak cam lifin sebep olduğu boşluklar tam olarak doldurulamasa da liflerin sebep olduğu boşluk oranı yarı yarıya azaltılmıştır.

En düşük porozite değeri 300 çimento dozlu, cam elyaf bulunmayan ve %100 oranında mermer tozu ilaveli numuneye (D300-CE0-MT100) aittir. En büyük porozite değeri ise 300 çimento dozlu, 20 kg/m³ cam lif oranına sahip ve mermer tozu oranı %0 olan numuneye (D300-CE20-MT0) aittir.

- Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, numunelerin ultra-ses geçiş hızları, çimento dozaj değerinin artmasıyla artmıştır; benzer şekilde mermer tozu oranının artması da numunelerin ultra-ses geçiş hızlarını artmıştır. Ancak numunelerdeki cam lif içeriğinin artması ile ultra ses geçiş hızlarında azalma meydana gelmiştir.

En düşük ultra ses geçiş hızı 300 çimento dozlu, cam lif katkısı 20 kg/m³ ve mermer tozu oranı %0 olan numuneye (D300-CE20-MT0) aittir. En yüksek ultra ses geçiş hızı ise 350 çimento dozlu, içerisinde cam lif bulunmayan ve mermer tozu oranı %100 olan numuneye (D350-CE0-MT100) aittir.

- Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda numunelerin basınç dayanımlarının, çimento dozaj değerinin artmasıyla arttığı görülmüştür. Mermer tozu oranının %75'e kadar artmasıyla da numunelerin basınç dayanımları artmıştır, her grupta en büyük basınç dayanımı bu oranda mermer tozu ilaveli betonlarda gözlemlenmiştir. Ancak mermer tozu

oranı %100'e çıkarıldığında basınç dayanımının düştüğü görülmüştür. Cam lif içeriğinin numunelerin basınç dayanımları üzerindeki pozitif yönde bir etkisi gözlemlenmemiştir. Aksine basınç dayanımlarında azalmalar meydana getirmiştir.

En düşük basınç dayanımı 300 çimento dozlu, cam lif içeriği 20 kg/m^3 olan ve mermer tozu oranı %0 olan numuneye (D300-CE20-MT0) aittir. En yüksek basınç dayanımı 350 çimento dozlu, içerisinde cam lif bulunmayan ve mermer tozu oranı %75 olan numuneye (D350-CE0-MT75) aittir. %75 oranında mermer tozu ilaveli betonlarda ortalama %21,87'lik bir basınç dayanımı artışı görülmüştür.

•Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda numunelerin yarmada çekme dayanımlarının, çimento dozaj değerlerinin artması ile arttığı görülmüştür. Numune, mermer tozu oranının artışı ile tıpkı basınç dayanımındaki gibi bir davranış sergilemiştir ve %75 mermer tozu oranında en yüksek yarmada çekme dayanımları saptanmıştır. Mermer tozu oranı %100'e çıkarılınca basınç dayanımında olduğu gibi yarmada çekme dayanımında da düşüş gözlemlenmiştir. Basınç dayanımındaki davranışının aksine cam lif içeriği genel olarak yarmada çekme dayanımlarını olumlu etkilemiş, özellikle 15 kg/m^3 cam lif içeren numunelerde yarmada çekme dayanımlarında en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

En düşük yarmada çekme dayanımı 300 çimento dozlu, kontrol numunesine (D300-K) aittir. En yüksek yarmada çekme dayanımı ise 350 çimento dozlu, içerisinde 15 kg/m^3 cam lif bulunan ve mermer tozu oranı %75 olan numuneye (D350-CE15-MT75) aittir.

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, cam lifin betonun porozite, ultra ses geçiş hızı ve basınç dayanımı üzerindeki olumsuz etkilerini karışırda mermer tozunun kullanılmasının iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

İlaveten, cam lif kullanıldığına betonun yarmada çekme dayanımı üzerinde meydana getirdiği pozitif etkinin ise 15 kg/m^3 cam lif ile birlikte %75 oranında mermer tozu kullanımıyla ortalama %11,69 daha kuvvetlendiği de gözlemlenmiştir.

Mermer tozunun hidrolik bağlayıcı özelliğinin bulunmasından dolayı betonun basınç ve yarmada çekme dayanımlarını arttırdığı kanaatine varılmıştır.

Tüm bu literatür taramaları, deneysel çalışmalar ve bulgular ışığında atık mermer tozu ve cam elyaf katkısının birlikte kullanımının betonun mekanik özelliklerini iyileştirdiği söylenilebilir. Optimum çözüm olarak da 350 çimento dozlu, ince agregayla yer değiştirilmek suretiyle %75 oranında mermer tozu ikameli ve 15kg/m^3 cam lif ilave edilmiş betonların kullanılması önerilmektedir.

5. ÖNERİLER

Beton içerisinde takviye elemanı olarak kullanılan cam lifin betonun porozite değerini yükseltmesi, ultra ses geçiş hızını azaltması ve de basınç dayanımına negatif katkısının bulunmasından dolayı geçirimsiz ve yüksek basınç dayanımı istenen ve nemli bölgelerde kullanılmaması gerektiği düşünülmektedir. Ancak cam lif katkısının yarmada çekme dayanımında artış sağlaması sebebiyle çekme kuvvetlerine maruz kalacak yerlerde kullanılması doğru bir uygulama olacaktır.

Deneyisel çalışmalar sırasında, özellikle yüksek cam elyaf ilaveli numunelerin hazırlanmasında topaklanma sorunları meydana gelmiştir. Çelik lifli karışımlarda topaklanmanın önüne geçmek için yapılan çalışmalar literatürde bulunmaktadır, cam lif katkılı beton üzerine yapılacak çalışmalarda da topaklanma olayının yaşanmaması için daha homojen karışım elde etme metotları araştırılmalıdır.

Atık mermer tozu, mermer fabrikalarının üretim sahasından kendi imkânlarıyla uzaklaştırdıkları bir atık malzemesidir. Bu nedenle temini tamamen ücretsizdir. İnce malzeme yerine hacimce %75 oranında mermer tozu kullanımının betonun basınç dayanımını ortalama %21,87 arttırması da azımsanamaz. Bu nedenlerle mermer tozuna erişimin ucuz ve kolay olduğu durumlarda beton içerisinde mermer tozu kullanımının doğru bir tercih olacağı bilinmelidir.

Mermer tozunun ilavesinin betonun maruz kalacağı donma-çözülme, yüksek sıcaklık, korozyon, aşınma, karbonatlaşma gibi diğer etkenlerin altındaki davranışlarının da araştırılmasının gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Karakule F, Akakın T.**, 2005. Hazır Beton Sektörü'nün Gelişimi, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 23-25 Mart, s. 845-856.
- [2] **Gönen T., Onat O., Cemalgil S., Yilmazer B., Altuncu Y.T.**, 2012. Beton Teknolojisi İçin Yeni Atık Malzemeler Üzerine Bir İnceleme, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **8(1)**, 36-43
- [3] **Erdoğan, T.Y.**, 2003. Beton, O.D.T.Ü Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara.
- [4] **Alyamaç, K.E.**, 2008. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Lineer Olmayan Kırılma Mekanik Prensipleriyle İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [5] **Yaprak, H., Şimşek, O. ve Öneş, A.**, 2004. Cam ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Etkisi, *Politeknik Dergisi*, **7**, 353-358.
- [6] **Kurt, G.**, 2006. Lif İçeriğini ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **Bahadır, B.**, 2007. Liflerin Beton Kırılma Tokluğuna Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [8] **Postacıoğlu, B.**, 1987. Beton, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- [9] **Şimşek, O.**, 1999. Beton Teknolojisi Ders Notu, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [10] **Gürer, C.**, 2005. Atık Mermer Parçalarının Bitümlü Yol Kaplamalarında Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- [11] **Ünal, O., Demir, İ., Ergün, A.**, 2003. Mermer Atıklarının (Havuz Çökeltisi) Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması, *Proje*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri komisyonu, Afyonkarahisar.
- [12] **Albayrak, H.F.**, 1985. Beton ve Deneyleri El Kitabı, D.S.İ., Ankara.
- [13] **Yıldız, Ö., Eskikaya, Ş.**, 1995. Afyon Yöresi Toz Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi, *Türkiye I. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Mayıs, 45-52.
- [14] **Köse, H.M., Diker, M.**, 1999. Maden ve Madencilğe Dayalı Sanayilerin Türkiye Ekonomisine Katkısı, *3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İzmir, 14-15 Ekim, 1-5.
- [13] **Ünal, O., Kibici, Y.**, 2001., Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem 2001) Bildiriler Kitabı*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 3-5 Mayıs, 317-326.
- [14] **Acun S.**, 2000. Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **Ersoy, H. Y.**, 2001. Kompozit malzeme, Literatür Yayınları: **66**, İstanbul.
- [16] **Chawla K.K.**, 1998. Fibrous Materials, Cambridge University Pres, Cambridge.
- [17] **Bunsell, A.R.**, 1988. Fiber Reinforcement for Composite Materials, Composite Materials Series, *Elsevier Science*, **2**, The Netherlands.
- [18] **Biber, S.A.**, 2001. Karmaşık Çelik Tel Takviyeli Betonların Mekanik Davranışı, *Bitirme Ödevi*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.

- [19] **Aran, A.**, 1990. Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler, İ.T.Ü. Yayını, İstanbul.
- [20] **Bartos, P.**, 1992. French Concrete-Properties and Tests, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- [21] **ASTM A 820**, 1996. Standart Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete, The American Society for Testing and Materials, U.S.A.
- [22] **Özyurt, N.**, 2000. Ultra Yüksek Dayanımlı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] **TS 10513**, 1992. Beton Takviyesinde Kullanılan Çelik Teller, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [24] **Vural, T.**, 1998. Fiberli Betonun Basınç Dayanımına Etkisi, *Bitirme Ödevi*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [25] **Barbero, E.J.**, 1999. Introduction to Composite Materials Design, Edwards Brothers, Ann Arbor, MI, U.S.A.
- [26] **Soroshian, P. And Bayasi, Z.**, 1991. Fiber-Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete, *ACI Materials Journal*, V.88, No.2, March-April.
- [27] **Betterman, L.R., Quyang C., and Shah S.P.**, 1995. Fiber-Matrix Interaction in Microfiber-Reinforced Mortar, *Adv. Cem. Bas.*, 2, 53-61.
- [28] **Zollo, R. F.**, 1997. Fiber-Reinforced Concrete: An Overview after 30 years of Development, *Cement and Concrete Composites*, 19, 107-122.
- [29] **Wong, C.M.**, 2004. Use of Short Fibres in Structural Concrete to Enhance Mechanical Properties, Araştırma Projesi, University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying, Australia.
- [30] **Gül, R. and Düzgün, O.A.**, 2005. Betonlarda Çelik Lif Kullanılmasının Etkisi, D.S.İ. Teknik Bülten, 100, 9-18.
- [31] **Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ. ve Saruşık, A.**, 1995. Mermer Teknolojisi, SDÜ Yayını, Isparta, 5-57.
- [32] **Sarıtaş A.**, 2006. Burdur Mermer Sektörünün Kurumsal ve Ekonomik Yapısı, *Yüksek Lisans Tezi*, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- [33] **Nasuf, E.**, Mermer Nedir. <http://www.insaatci.com/content/mermer-nedir>, 19 Mayıs 2010.
- [34] T.C. Resmi Gazete, Maden Kanunu, 05.06.2004, 25483.
- [35] **Köktürk, U.**, 2002. Endüstriyel Hammaddeler, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayını, İzmir.
- [36] T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı., Mermer ve Granit Sektör Araştırması, s:7, Ankara, 1995.
- [37] **Onargan T., Köse H., Deliormanlı H.**, 2006. Mermer, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- [38] **Tur Ş.**, 2007, Afyonkarahisar' da Mermer Artıklarının Depolanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- [39] **Kun N.**, 2000. Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi, İzmir Mermerciler Odası, İzmir.
- [40] **Öztank N., Bacakoğlu F.**, 2001., Kireçtaşı ve Konglomeraların Yapılarda Kullanımını Denetleyen Parametreler, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem 2001) Bildiriler Kitabı*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 3-5 Mayıs, 123-131.

- [41] **Bilgin, M. ve Çakır, E.**,1998, Mermer Araştırması, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.
- [42] **Yavuz, S.**, 2000. Demireller Mermer Fabrikası Etüdü, *Lisans tezi*, D.P.Ü., Kütahya.
- [43] **Bilensoy M.**, 2010. Mermer Fabrikaları Toz Atıklarının Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [44] **Ersay, B.**, 2005. Afyon Bölgesinde Bulunan Mermer İşleme Tesisi Atık Sularının Flokülasyon Yöntemiyle Arıtılması, *Proje*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu, Afyonkarahisar.
- [45] http://tr.wikipedia.org/wiki/mermer_atiklarinin_degerlendirilmesi, Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi, 31 Ağustos 2012.
- [46] **Çelik, M. Y.**, 1996. Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- [47] **Yıldız, A.H.**, 2008. Mermer Toz Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi, *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [48] **Vijayalakshmi, V., Singh, S. and Bhatnagar, D.**, 2001. Marble Slurry-A New Perspective, *Technology Information, Forecasting and Assesment Council*, New Delhi, India. 2001 Golden Jubile Year, M.B.M. Engineering College National Seminar on Small Scale Mining Jodhpur, Rajasthan.
- [49] D.P.T., Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çalışma Grubu Raporu, Cilt 2, Yayın No: DPT: 2421- Ö.İ.K.: 480, II 1-130, Ankara 1996.
- [50] **Ceylan H.**, 2000. Mermer Fabrikalarındaki Mermer Toz Atıklarının Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [51] **Ceylan, H., Saraç, S., Özkahraman, H. T.**, 2001. Mermer Toz Atıklarının Derz Dolgu Malzemesi (Fuga) Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem 2001) Bildiriler Kitabı*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 3-5 Mayıs, 297 – 307.
- [52] **Özata G.**, 2009. Mermer ve Polietilentreftalat (pet) Atıklarının Yapı Malzemesi Olarak Geri Dönüşümü, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- [53] **Sabah, E., ve Çelik, M Y.**, 2001. Mermer Atıklarının Hayvan Yemi Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem 2001) Bildiriler Kitabı*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 3-5 Mayıs, 309 - 316.
- [54] **TS-8606**, 1990. Hayvan Yemleri- Kalsiyum Karbonat Bileşikleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [55] **Kun M., Onargan T., Yüksel S.**, 2006. Traverten Fabrika Artıklarının Dolgu İşlemlerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Türkiye V. Mermer Sempozyumu (Mersem 2006) Bildiriler Kitabı*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2-3 Mart, 373 - 381.
- [56] **Rocco, G.V., Planas, J. and Elices, M.**, 2000, Review Of The Splitting-Test Standards From A Fracture Mechanics Point of View, *Cement and Concrete Research*, **31**, 73-82

- [57] **Demirel, B. ve Keleştemur, O.**, 2010. Doğal Pomza Katılarak Üretilen Betonun Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışı, *International Sustainable Buildings Symposium*, 118-121, Ankara.
- [58] **Subaşı S.**, 2009. Genleştirilmiş Kil Agregası ile Taşıyıcı Hafif Beton Üretimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **24**, 559-567.
- [59] **Bölükbaş, Y.**, 2011. Cam Elyaf Katkılı Beton Numunelerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi ve Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [60] **Ünal, O., Uygunoğlu, T.**, 2003, Atık Mermer Tozu Katkılı Betonların Donma-Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem 2003) Bildiriler Kitabı*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 147-157.
- [61] **Agarwal, S.K., Gulati, D.**, 2006. Utilization of industrial wastes and unprocessed micro-fillers for making cost effective mortars, *Construction and Building Materials*, **20**, 999-1004.
- [62] **Terzi, S., Karaşahin, M.**, 2003. Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonunda Filler Olarak Kullanımının Araştırılması, *Teknik Dergi*, **193**, 2903-2922.
- [63] **Khristova, Y., Aniskevich, K.**, 1994. Prediction of creep of the epoxy resin filled with marble inclusions, *Mechanic Composite Material*, **30**, 590-599.
- [64] **Garcia, J., Mallol, C., Bou, E., Silva, G., Fernandez, J., Molina, A., Romera, J.**, 2003. Recycling Marble working wastes in manufacturing ceramic products, *CFI Ceramic Forum International*, **80**, 84-90.
- [65] **Demirel B., ve Yazıcıoğlu S.**, 2010. İnce Malzeme Olarak Kullanılan Atık Mermer Tozunun Betonun Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, *International Sustainable Buildings Symposium*, 26 -28 Mayıs, 173-176, Ankara.
- [66] Elazığ Çimento, TİP I 42,5 N çimento özellikleri. [http://www.cimentas.com.tr/42,5 N](http://www.cimentas.com.tr/42,5_N) 25 Temmuz 2011.
- [67] Cam Elyaf Sanayii A.Ş., <http://www.camelyaf.com.tr/urunlerimiz>, 25 Temmuz 2011.
- [68] Alacakaya Mermer ve Maden İşletmesi San. ve Tic. A.Ş. <http://www.alacakaya.com.tr/>, 25 Temmuz 2011.
- [69] **TS 802**, 1985. Beton Karışımı Hesap Esasları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [70] **TS EN 772-4**, 2000. Tabii Taş Kagir Birimlerin Toplam ve Görünen Porozitesi ile Boşluksuz ve Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [71] **ASTM C597-02**, 2009. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, *American Society for Testing And Materials*, Philadelphia.
- [72] **TS EN 12390-3**, 2010. Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [73] **TS EN 12390-6**, 2010. Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinde Yarmada Çekme Dayanımı Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Bingöl’de dünyaya gelmişim. İlk ve orta tahsilimi Malatya İlinde çeşitli okullarda tamamladıktan sonra (1992) önce Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Elektrik Programında ön lisans (1994), daha sonra Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümünde lisans eğitimi aldım (2008). Yüksek Lisansımı da Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi ABD’de devam ettirmekteyim. Ayrıca halen Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde son sınıf öğrencisi olarak ikinci lisans programına devam etmekteyim.

Evliyim ve dünya tatlısı üç çocuğun babasıyım.

Turan YILDIZ