

**SAZ ( KAMIŞ) BİTKİSİNİN ELYAF TAKVİYELİ ÇİMENTO LEVHA  
ÜRETİMİNDE KATKI OLARAK KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Eren FİLİZFİDAN**

**Danışman**

**Prof. Dr. İsmail DEMİR**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Temmuz 2023**

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SAZ ( KAMIŞ ) BİTKİSİNİN ELYAF TAKVİYELİ ÇİMENTO  
LEVHA ÜRETİMİNDE KATKI OLARAK KULLANILMASININ  
ARAŞTIRILMASI**

**Eren FİLİZFİDAN**

**Danışman**

**Prof. Dr. İsmail DEMİR**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Temmuz 2023**

## TEZ ONAY SAYFASI

Eren FİLİZFİDAN tarafından hazırlanan “Saz (Kamış) Bitkisinin Elyaf Takviyeli Çimento Levha Üretiminde Katkı Olarak Kullanılmasının Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 11 / 07 / 2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. İsmail DEMİR

**Başkan** : Prof. Dr. Mustafa Serhat BAŞPINAR  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,

**Üye** : Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK  
Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,

**Üye** : Prof. Dr. İsmail DEMİR  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
..... / / tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. İbrahim EROL  
Enstitü Müdürü

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**11 / 07 / 2023**

**Eren FİLİZFİDAN**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SAZ ( KAMIŞ ) BİTKİSİNİN ELYAF TAKVİYELİ ÇİMENTO LEVHA ÜRETİMİNDE KATKI OLARAK KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI

Eren FİLİZFİDAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. İsmail DEMİR

Elyaf takviyeli çimento levhalar (ETÇL) yapılarda iç cephe, dış cephe ve çatı kaplama malzemesi olarak kullanılan, otoklavda sertleştirilmiş, lifli çimento esaslı levhalardır. Elyaf takviyeli çimentolu malzemelerin sağladığı temel mühendislik özellikleri uzun ve sorunsuz hizmet ömrü sağlayan özellikleri ile yaşam kalitesini artırmaya yönelik yapılar için kullanılmaya devam etmektedir. ETÇL üretiminde bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine katkısı nedeniyle selüloz kullanılmakta olup üretim maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Kullanılan selüloz yerli kaynaklarla üretilmeyip ithal edilmekte ve döviz kaybına yol açmaktadır.

Bu çalışmada ETÇL üretiminde ithal ürün olan ham selüloz yerine Eber (Afyon) ve Akşehir (Konya) göllerinde yıllık olarak yetişen saz kamışı lifleri selüloz kaynağı olarak ETÇL üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elyaf takviyeli çimento levhaların üretimi için ana hammadde olarak çimento, silis kumu, keten ve kamış lifi kullanılmıştır. Doğal bir kaynak olan ve yapısında selüloz içeren saz kamışı tatlı su göllerinden temin edilerek kırma ve öğütme işlemlerden sonra kullanıma hazır hale getirilmiştir. Böylece selüloz kaynağının yerel ve doğal kaynaklardan sağlanması ile çevreci ve daha ekonomik şartlarda EÇTL üretilmesi sağlanmıştır. Öğütülen saz kamışı, kuru karışıma (çimento, silis kumu, keten) ilave edilerek çimento hamuru elde edilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde fiziksel, mekanik testler ve mikro yapı incelemeleri yürütülerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmada selüloz kaynağı saz kamışı kullanılarak yeterli mekanik

özellikleri sağlayan ve daha ekonomik olan elyaf takviyeli imento levhaların üretilebileceği belirlenmiştir.

**2023, xi + 56 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Elyaf takviyeli imento levha, Saz kamışı, Selüloz, Üretim prosesi, Sürdürülebilirlik.



## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **INVESTIGATION OF THE USE OF THATCH (REED) PLANT AS AN ADDITIVE IN FIBER REINFORCED CEMENT BOARD PRODUCTION.**

Eren FİLİZFİDAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

**Supervisor:** Prof. İsmail DEMİR

Fiber-reinforced cement sheets are hardpressed, fibrous cement-based plates in autoclave, used as interior facade, exterior facade and roofing material in structures. The basic engineering features provided by fiber-reinforced cement materials continue to be used for structures that improve quality of life with long, trouble-free service life. Nowadays, cellulose is still used in the production of fiber reinforced cement sheets and is a significant part of the production cost. The cellulose used is not produced and imported with domestic resources and leads to a loss of foreign currency.

In this study, the production of fiber reinforced cement sheets was investigated for the production of Fiber reinforced cement board as a source of cellulose saz straw fibers that grow annually in Eber and Aksehir lakes instead of raw cellulose, which is imported from raw cellulose. Cement, silica sand and cellulose are used as the main resin for the production of fiber reinforced cement sheets. Reed cane, which is a natural resource and contains cellulose in its structure, was obtained from freshwater lakes and made ready for use after crushing and grinding processes. This ensures that the source of cellulose is provided from local and natural sources, and that fiber-reinforced cement sheets are produced in environmental and more economic conditions. The ground reed straw is added to the dry mixture (cement, silica sand, linen) and cement dough is obtained. According to the physical and mechanical test results on the samples produced, it was determined that the fiber reinforced cement plates, which provide sufficient mechanical properties using the cellulose welding reed, and are more economical, can be produced.

**2023, xi + 56 pages**

**Keywords:** Thatch (reed), Cellulose, Fiber reinforced cement board, Production process, Sustainability.



## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. İsmail DEMİR, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Mustafa Serhat BAŞPINAR ve Sayın Muhammed ELMALI' ya her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Eren FİLİZFİDAN  
Afyonkarahisar 2023

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	4
2.1 Elyaf Takviyeli Çimento Levha.....	4
2.1.1 Elyaf Takviyeli Çimento Levhaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	5
2.2 Elyaf Takviyeli Çimento Levha Üretimi .....	7
2.3 Elyaf Takviyeli Çimento Levha Kullanım Alanları .....	9
2.4 Elyaf Takviyeli Çimento Levha Avantajları .....	12
2.5 Elyaf Takviyeli Çimento Levhalarla İlgili Bilimsel Çalışmalar.....	14
3. MATERYAL ve METOT .....	18
3.1 Malzeme Bileşenleri .....	18
3.1.1 Çimento.....	18
3.1.2 Silis Kumu .....	19
3.1.3 Keten ve Kamış Lifleri .....	20
3.1.4 Su.....	25
3.2. Metot .....	26
3.3 Elyaf Takviyeli Çimento Levhası Üzerinde Yapılan Testler ve Analizler .....	31
3.3.1 Birim Ağırlık Deneyi.....	31
3.3.2 Su Emme Oranı Tayini .....	32
3.3.3 Porozite Oranı Tayini .....	32
3.3.4 Üç Noktalı Eğilme Deneyi.....	33
3.4 Numunelerin Ölçüm Değerleri .....	35

4. BULGULAR .....	37
4.1 Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları.....	37
4.2 Su Emme Deneyi Sonuçları.....	38
4.3 Porozite Tayini Sonuçları .....	40
4.4 Üç Noktalı Eğilme Deneyi Sonuçları .....	41
4.5 Mikroyapı İncelemeleri .....	44
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	46
6. KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	56



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

C <sub>2</sub> S	Dikalsiyum silikat
Gpa	Gigapaskal
g	Gram
CSH	Kalsiyum silika hidrat
kgf	Kilogramkuvvet
kcal	Kilokalori
Mpa	Megapaskal
mm	Milimetre
N	Newton
C	Santigrad
C <sub>3</sub> S	Trikalsiyum silikat

---

### Kısaltmalar

---

ASTM	American Society Testing for Materials
BHA	Birim hacim ağırlık
EDX	Enerji dağılım X ışını spektrometresi
EN	Avrupa Normları
ETÇL	Elyaf takviyeli çimento levha
K	Katı ( Çimento + Kum )
Ka	Kamış lifi
Ke	Keten lifi
S/K	Su / Katı oranı
SEM	Taramalı elektron mikroskop
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
XRD	X ışını difraktogramı

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Hatschek işlemi .....	8
Şekil 3.1 Silis kumunun tane boyutu dağılım grafiği.....	20
Şekil 4.1 Birim ağırlık deneyi sonuçları.....	37
Şekil 4.2 Su emme deneyi sonuçları .....	39
Şekil 4.3 Örneklerin porozite değerleri .....	40
Şekil 4.4 Eğilme dayanımı ve Birim ağırlık değerleri.....	41
Şekil 4.5 3 no'lu. numenin XRD analizi. ....	44
Şekil 4.6 3 no'lu numuneden alınan SEM görüntüleri (üstte)ve EDX analizi (altta). ...	45



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> ETÇL üretiminde malzeme karışım oranları.....	9
<b>Çizelge 3.1</b> CEM I 42,5 R Tipi Portland çimentosunun fiziksel özellikleri .....	18
<b>Çizelge 3.2</b> CEM I 42,5 R Tipi Portland çimentosunun kimyasal özellikleri.....	19
<b>Çizelge 3.3</b> Bazı selüloz kaynağı olarak kullanılan bitkilere ait özellikler .....	25
<b>Çizelge 4.1</b> Yapılan 10 serideki karışım oranları. ....	30
<b>Çizelge 4.2</b> Formülde kullanılacak değerler.....	34
<b>Çizelge 4.3</b> Numune değerleri.....	36
<b>Çizelge 4.4</b> Üretilen deney numunelerinin fiziksel ve mekanik değerleri .....	43



## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 2.1</b> Elyaf takviyeli çimento levha dış cephe kaplama örneği.....	5
<b>Resim 2.2</b> Fibercement dış cephe kaplama örneği.....	11
<b>Resim 2.3</b> Tavan kaplaması elyaf takviyeli çimento levha örneği.....	11
<b>Resim 2.4</b> Söve olarak kullanılan elyaf takviyeli çimento levha örneği.....	12
<b>Resim 2.5</b> Tasarımda kullanılacak kolon kaplaması örneği.....	13
<b>Resim 2.6</b> Elyaf takviyeli çimento levhanın bakımının kolay olması.....	13
<b>Resim 2.7</b> Elyaf takviyeli çimento levhanın ahşap görünümü.....	14
<b>Resim 3.1</b> Keten bitkisi.....	21
<b>Resim 3.2</b> Kurutulmaya bırakılan keten bitkisi.....	21
<b>Resim 3.3</b> Keten lifi.....	22
<b>Resim 3.4</b> Kamış bitkisi.....	23
<b>Resim 3.5</b> Saz kamışı.....	23
<b>Resim 3.6</b> Öğütmek için hazırlanan kamış.....	24
<b>Resim 3.7</b> Öğütülen kamış lifleri ve öğütülmüş keten lifleri.....	26
<b>Resim 3.8</b> Çalışmada kullanılan mikser.....	27
<b>Resim 3.9</b> Çalışmada kullanılan çelik kalıp ve pres makinesi.....	27
<b>Resim 3.10</b> Üretilen numuneler ...	28
<b>Resim 3.11</b> Çalışmada kullanılan otoklav ve etüv.....	28
<b>Resim 3.12</b> 24 saat su içerisinde bekletilen numuneler....	29
<b>Resim 3.13</b> Numunelerin doymuş kuru yüzey ağırlığı.....	31
<b>Resim 3.14</b> Üç noktalı eğilme deneyi cihazı.....	34
<b>Resim 3.15</b> Numuneye uygulanan kuvvetin değeri .....	35
<b>Resim 3.16</b> Numunenin kırılma anı .....	35

## 1. GİRİŞ

Günümüzde fibercement levha olarak olarak bilinen elyaf takviyeli çimento levhalar (ETÇL), yapısında bağlayıcı malzeme olarak çimento, ilave olarak da organik veya inorganik bir lif bulundurulması ile elde edilir.

İlk kez Çek mühendis Ludwik Hatschek tarafından bu alanda yapılan çalışmalar, 19. yy'ın başlarında adını "eternit" olarak verdiği, dayanımı iyi, sert, hafif ve yanmaz malzeme olan asbest takviyeli çimento levhaların üretimi için bir metot geliştirmesiyle başladı (Euronit 2018, Cembrit 2018).

Eternit hafif oluşu, kiremit çatı kaplaması yapımının mümkün olmadığı sert iklimlerde kullanılabilir olması ve su geçişine karşı direncinin yüksek olmasından dolayı 1990 yılına kadar oldukça popüler bir çatı kaplama malzemesi olarak kullanıldı (Cembrit 2018).

Çevresel sorunların artması ve ortaya çıkan eleştirel tartışmalar, yenilenebilir hammaddelere odaklanılarak doğal malzemelere olan ilgiyi artırmıştır (Wittig 1994). Yapılmış olan araştırmalar ve çalışmalar asbestin sağlığa verdiği zararları ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle asbest içermeyen elyaf takviyeli çimento levhaların gelişiminde, selüloz takviyeli elyaflar günümüzde önemli bir ilgi görmektedir (Coutts ve Campbell 1979, Soroushian ve Marikunte 1990, Soroushian ve Marikunte 1992, Soroushian vd. 1995, Vicar vd. 1999, Soydan vd. 2018). Selülozik liflerin, doğa ve insan hayatı için tehlikeyi önlemesi, biyolojik bozunabilirlik, yenilenebilir olması, geri dönüştürülebilirlik ve maliyeti düşürmesi ile asbestli life kıyasla basit üretim süreçleri gibi avantajları vardır (Coutts ve Campbell 1979, Coutts 1983, Coutts 1986, Soroushian vd 1994, Soydan vd. 2018).

İçeriğinde selüloz bulunan lifler, bükülme mukavemetleri, tokluk ve darbe dirençlerinin önemli ölçüde artırılması için çimento esaslı malzemelere yeterli sertlik, dayanım ve yapışma kapasitesi sağlar (Tolêdo vd. 1989, Savastano vd. 2003). Selülozik liflerin serbest plastik büzülme (Tolêdo vd. 2005), ısı iletkenliği (0.217 - 0.430 W/mK) azalttığı, (Bentchikou vd. 2012), sesin emilimini ve kompozit malzemelerin yoğunluğunu

önemli ölçüde artırarak akustik performansı artırdığı gözlemlenmiştir. (Neithalath vd. 2004).

Bu alanda yapılan çalışmalar, elyaf takviyeli çimento levha üretiminde doğal liflerin kullanılmasının sentetik liflere oranla bir çok önemli avantaja sahip olduğunu göstermektedir (Castro ve Naaman 1981, Pakatiprapha vd. 1983; Morrissey ve Coutts 1985, Swamy 1988, Sera vd. 1990, Balaguru ve Shah 1992, Aggarwal 1995, Do ve Lien 1995, Toledo Filho vd. 2003, Bilba vd. 2003). Sağladığı avantajlar arasında; eğilme dayanımının artması, çatlak sonrasında yük taşıma kapasitesinin artması, artan darbe tokluğu ve gelişmiş eğilme mukavemeti vardır (Brandt 1995, Semple ve Evans 1999). Sentetik liflere oranla doğal elyaf kullanılmasının en büyük avantajı, işleme kolaylığı sayesinde ortaya çıkan maliyeti büyük oranda azaltmasıdır (Swift 1979, Aziz 1987). Yapılan çalışmalar; kâğıt hamuru, güçlü ağaç lifleri, kenevir, pamuk gibi kolaylıkla bulunabilen ve doğal lif olduğu için çevreye zararı olmayan, elyaf takviyeli çimento levhaların üretiminde asbestin yerine kullanılabileceğini ortaya çıkarmıştır.

Uzun yıllardır inşaat malzemesi olarak kullanılan elyaf takviyeli çimento levhalar, çeşitli mineral ya da organik fiber malzemelerin çimento ile belirli oranlarda ilave edilmesi ile oluklu ya da düz şekilde üretilebilirler. Elyaf takviyeli çimento levhalar, çoğu zaman dış cephe kaplaması olarak kullanılabilir ayrıca iç bölge duvarı ve zemin malzeme elemanı olarak da kullanılabilmektedir (Khorami and Ganjian 2011). Elyaf takviyeli çimento levhaların üretim aşamasında kum olarak silis kumu kullanılması uygun olur. Üretim esnasında kullanılan malzemelerin belirli oranda ya da tamamının atık veya doğal malzemelerle yeniden kullanımı üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Ünal ve Kibici 2001).

Bu çalışmanın temel amacı, elyaf takviyeli çimento levhanın ana bileşenlerinden olan selülozun elyafının kaynağı olarak ithal edilen ham selüloz yerine kolayca ulaşılabilen, doğal selüloz kaynağı olarak göller çevresinde sazlık alanlarda bulunan saz kamışı kullanılarak üretilen levhaların bileşim özelliklerine, dizayn şekline, üretim yöntemlerine ve dış etmenlere bağlı olarak elyaf takviyeli çimento levhaların durabilitesinin incelenmesi amaçlanmıştır. Elyaf takviyeli çimento levhalar yapılarında; kum, bağlayıcı

olarak çimento ve organik veya inorganik selüloz lifler tercih edilerek üretilir. Çalışmada Akşehir-Eber Gölleri çevresindeki sazlık alanda bulunan doğal selüloz kaynağı olan saz kamışı bitkisi kullanılarak elyaf takviyeli çimento levha örnekleri üretimi yapılmıştır. Saz kamışı bitkisi öğütüldükten sonra farklı oranlarda kuru karışıma (çimento, silis kumu, keten) ilave edilerek çimento hamuru elde edilmiştir. Elde edilen çimento hamuru basınç (10 N/mm<sup>2</sup>, 20 N/mm<sup>2</sup> - 30 N/mm<sup>2</sup>) uygulanarak kalıplanmıştır. Numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak otoklava alınmış, 8 saat süresi boyunca yüksek basınç ve yüksek sıcaklığa (185 psi - 190 °C) bırakılıp, beklenmiştir. Elyaf takviyeli çimento levha deney örnekleri üretilmiş, çalışmalar üzerinde gerekli fiziksel ve mekanik testler yapılmış ve sonuçlar literatüre atıf yapılarak yorumlanmıştır.



## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Elyaf Takviyeli Çimento Levha

Elyaf takviyeli çimento levhalar, 1900' lü yıllarda Çek mühendis Ludwik Hatschek tarafından geliştirilip aynı zamanda kendi ismi ile anılan bir yöntem kullanıp üretilme aşamasına başlanan elyaf takviyeli levhalar birçok uygulama aşamasında genel olarak tercih edilip kullanılmıştır. Günümüzde kullanılmayan, ebedi anlamına gelen ve eternit olarak adını verdiği; suyu geçirmeyen, yanmayan, sağlam ve hafif asbest içeren çimento levhaların üretim teknolojisinin gelişimini sağlamış ve bu malzemenin patentini almıştır (Euronit 2018, Cembrit 2018).

Uluslararası olarak geçerli olacak şekilde yapılan yasal düzenlemeler ve araştırmalar, 1970'li yıllarda asbest kullanımının sağlığa birçok zararı olduğunu ortaya çıkardı ve doğrudan asbest içeren maddelerin etkisinde kalan kişilerin asbestosis; pleural mesothelioma (akciğer hastalığı) ve peritoneal mesothelioma (karın rahatsızlığı) gibi ölümcül rahatsızlıklara neden olduğunu kanıtlamıştır. Asbestin zararlarının ortaya çıkmasından sonra ise asbest kullanımı yasaklanmıştır ve insan sağlığını kötü şekilde etkilemeyecek alternatif lifler araştırılmaya başlanılmıştır.

Yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen bulgulara göre, asbest yerine alternatif olarak çeşitli bitkilerden elde edilen doğal, sağlığa zararsız, yenilenebilir ürünler olan selülozik liflerin kullanılması önerisinde bulunuldu (Simatupang ve Lange 1987). Bu araştırmalar sonucunda zararı ortaya çıkan asbest lifleri yerine güvenli ve doğal selüloz lifleri tercih edilerek fibercement olarak da adlandırılan elyaf takviyeli çimento esaslı levhaların gelişimi sağlanmıştır (Chady ve Schabowicz 2018).

Elyaf takviyeli çimento levhalar; dayanıklı olmasının yanında, geniş kullanım alanına sahip olan bir yapı malzemesi çeşididir. Çatı kaplamalarında tercihen kullanılabilen, yapıların cephe kaplamalarında kullanılması mümkün olan, otoklavda sertleştirilmiş, selüloz lifi takviyeli çimento esaslı levhalardır. Fibercement levhalar lif takviyesi etkisiyle, büyük oranda sağladığı süneklik, çatlak direnci ve enerji emilimi gibi özellikleri

ile yapılarda, uzun ömürlü olacak ve sorun çıkarmayacak şekilde hizmet verme imkanı sağlar.



**Resim 2.1** Elyaf takviyeli çimento levha dış cephe kaplama örneği.

### **2.1.1 Elyaf Takviyeli Çimento Levhaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri**

Fibercement yani elyaf takviyeli çimento levhası, farklı beton bileşenlerine göre daha yüksek tokluk değeri, süneklik, eğilme kapasitesi değeri ve çatlak direnci gösteren bir yapı malzemesi elemanıdır. Bu levhalar üretilirken lif takviyesi yapılmasının en büyük avantajı, lifler, matris çatlağını (liflerin dağıldığı matris-yığın malzeme) köprülediğinden, çatlamanın başlamasından sonra kompozit malzemenin göstermiş olduğu davranıştır. Bu davranış sayesinde basınç, yüke karşı dayanım gösteren yüksek dirençli lif sistemine aktarılır. Çatlak sonrasındaki tokluk, elyaf takviyeli çimento levhaların inşaatla kullanılmasına olanak sağlar. Bu doğal lifler yapı içerisinde olması istenmeyen serbest plastik büzülme ve ısı iletkenliğini azaltabilir, ses yalıtımı performansını artırır ve yangın direncinin artmasını sağlar. Lifler, elyaf takviyeli çimento levha bileşenlerine sadece belirli bir oranda (ağırlıkça yaklaşık %10) ilave edildiğinde mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Liflerin çimentolu matris boyunca homojen şekilde dağılması önemli etkenlerden birisidir. Bu homojenliğe ulaşmak karmaşık bir prosedür gibi görünse de bu homojenliği sağlamak endüstriyel koşullar altında önemlidir (Coutts 2005).

Elyaf takviyeli çimento levhası dayanım göstermesinin yanında, biyolojik korozyon direnci, yüksek eğilme mukavemeti ve nem direnci gibi yapı malzemeleri için önemli özelliklere sahiptir. Bu özellikleri sayesinde, iç ve dış cephe kaplaması olarak kullanılabilmesinin yanı sıra taban döşemesi, iç duvar kaplaması, balkon korkuluk dolgusu, baca kaplaması, vb. farklı uygulamalarda da kullanılmaktadır.

Doğal selülozik lifler, bünyesinde içerdiği hidroksil ve karboksil grupları bulundurmasında nedeni ile verimli kovalent bağ oluştururlar. Bu nedenle olumlu ve güçlü teknik sonuçlar elde edilmesini sağlar ve bu teknik sonuçların sağladığı avantajlardan dolayı tercih edilme olasılığı en fazla olan doğal lif türüdür (Ardanuy vd. 2015). Yapılan kimyasal hamurlaştırma işlemi ile odun kısımdan ayrılabilen selüloz lifi, elastise modülü 40 GPa' ya kadar artış gösterebilir. Yapılan hidroliz yöntemi ile mikro liflere mekanik olarak ayrıştırılıp parçalanabilir ve bu işlem ile yaklaşık 70 GPa' lık bir elastise modülü elde edilebilir. Doğal selüloz liflerinin, elastisite modüllerinin teorik hesaplamalar yardımı ile 250 GPa' ya kadar değer gösterdiği olmuştur, ancak bunları mikro liflerden ayıracak bir teknoloji henüz gelişmemiştir (Michell 1989, Fink vd. 1994). Ayrıca, doğal selülozik liflerin kopma uzaması değeri %0,5 - 4, çekme mukavemeti değeri 300 - 500 MPa, ortalama lif çapı 10 - 35 mikron, uzunluk 200 - 1000 mikron özelliklerine sahip olmasından, kompozit malzemenin yüksek darbe dayanımı ve eğilme mukavemeti göstermesini sağlar. Liflerin, yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olması, çimento tanelerinin yüzeyine çökmesini ve sıkı bir şekilde tutunmasını sağlar. Selülozik lifler, bükülme mukavemetleri, tokluk değeri ve darbeye karşı gösterdiği dirençlerinin önemli ölçüde artırılması için çimento esaslı matrislere yeterli sertlik, dayanım ve yapışma özelliği sağlar (Tolêdo vd. 1989, Savastano vd. 2003). Ayrıca, bu lifler serbest plastik büzülmeyi (Tolêdo vd. 2005), ısıl iletkenliği (0.217-0.430 W/mK) azaltırken (Bentchikou vd. 2012), ses emilimini ve kompozit malzemenin özgül sönümünü ve yoğunluk değerini artırarak akustik performansı iyileşmesini sağlar (Neithalath vd. 2004).

Kökenlerine ve bileşimlerine göre, 2 sınıfa ayrılan selülozik lifler odun lifleri ve odun olmayan lifler olarak sınıflandırılır. Odun lifleri, odun olmayan liflere göre bünyesinde daha yüksek lignin içeriğine sahip oldukları için lignoselülozik lifler olarak

adlandırılırlar. Odun olmayan lifler ise, lifleri çıkarmak için bitkinin kullanılan kısmına bağlı olarak dört ana gruba ayrılabilir: hasır lifleri (kenevir, jüt, kenaf, keten vb.), yaprak lifleri (sisal, ananas, palmiye, muz vb), sap lifleri (kamış, pirinç, buğday, arpa, çim vb.) ve tohum lifleri (pamuk, hindistan cevizi vb) olarak söylenebilir (Biagiotti vd. 2004, Jawaid ve Abdulkhalil 2011).

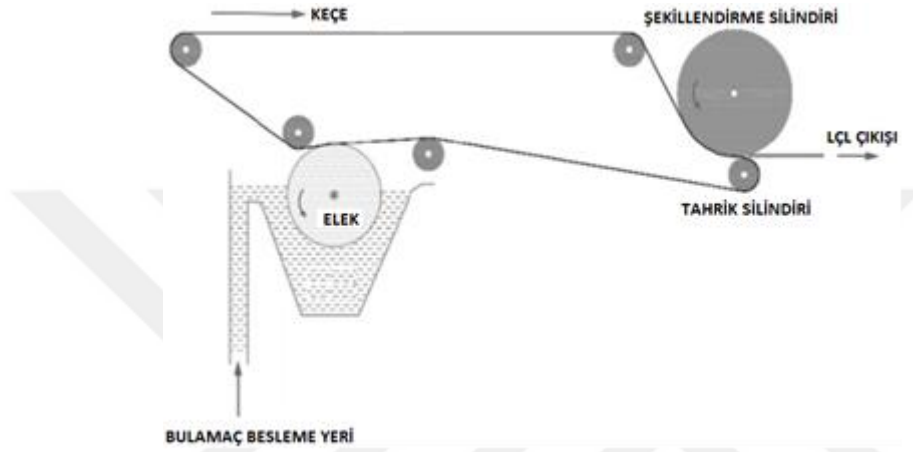
Odun lifleri ise, kökenlerine bağlı olarak, yumuşak odun lifleri (çam, köknar, vb.) ve sert odun lifleri (huş ağacı, okaliptüs, kayın vb.) şeklinde gruplandırılmıştır (Hortal 2007).

## 2.2 Elyaf Takviyeli Çimento Levha Üretimi

Selüloz elyaf takviyeli çimento levhaların üretimi için 2 çeşit selülozik lif kullanılır: Bunlardan biri çam lifleridir (ağartılmış veya ağartılmamış). Diğer tip ise yüksek performans gösteren sülfat lifleridir. Elyaf takviyeli çimento levhalar üretim aşamasında, selüloz liflerinin levha matrisinde homojen şekilde dağılımı önemli bir faktördür. Selüloz lifli çimento kompozit malzemelerinin temel özellikleri, lif ve matris bileşenlerine ve imalat aşamasındaki işlemine de bağlıdır (Ardanuy vd. 2015). Günümüzde kullanılan en yaygın elyaf takviyeli çimento levha üretme yöntemi, ağartılma olmamış selüloz elyaflarının sudan tekrardan geçirilip ardından çimento, silika ve çeşitli katkı maddeleri ile karıştırılmadan önce rafine edilmesi ile yapılan ve kendi ismi ile adlandırılan Hatschek işlemidir.

Elyaf takviyeli çimento levhala üretimi için kullanılan yöntemlerinin birçoğu, 1900' lü yıllarda L. Hatschek tarafından üretilen ve patenti alınan Hatschek işlemine (Şekil 2.1) dayanmaktadır. Bu işlem levha oluşumu, levha şekillendirme, sertleştirme olarak 3 aşamadan oluşan yarı sürekli bir işlemdir (Ardanuy vd. 2015). Selüloz lif takviyeli çimento levhaların üretimi, bireysel hammaddelerin birlikte karıştırıldığı bir hazırlık bölgesinde başlar ve lifler, yaklaşık 15 saat boyunca homojen bir şekilde dağılım sağlanana kadar bekletilir, geri dönüşüm suyu (Ph:13) ile karıştırılır. Bu sırada, selüloz liflerinin su içindeki homojen dağılımı en önemli faktörlerdendir (Bodnarova vd. 2014, Cembrit 2018). Liflerin homojen dağılımı sağlandıktan sonra katı bileşenler olarak adlandırılan çimento ve dolgu malzemeleri suya belirli oranlarda katılır (Çizelge 2.1) ve

homojen plastik hamur elde edilene kadar karıştırılır. Homojen dağılım sağlamış hamur, %50-70 oranında çimentodan, farklı türde mineral lifler (genellikle selüloz) ve filler (Kireçtaşı tozu, kaolin, perlit, kuvars kumu) malzemelerden oluşur (EN 12467 2013, Euronit 2018, Schabowicz vd. 2018).



Şekil 2.1 Hatschek işlemi (Ranachowski ve Schabowicz 2018)

Bu çalışmada, bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R Tipi çimento, mineral dolgu olarak silis kumu kullanılmıştır. Dolgu malzemelerinde incelik, saflık, puzolanik özellik vb. özellikler dikkate alınmıştır. Elyaf takviyeli çimento levha üretiminde ithal ürün olan ham selüloz yerine Akşehir ve Eber göllerinde yıllık olarak yetişen saz kamışı lifleri selüloz kaynağı olarak ETÇL üretiminde kullanılmıştır. Bu sayede ithal ürün olan ve elde edilmesi doğal selüloza göre zor olan ham selüloz yerine yerli kaynakların kullanılması ile üretim yapılması amaçlanmıştır. Karışımlara selüloz kaynağı olarak farklı oranlarda saz kamışı ilave edilerek üretilen örnekler üzerin fiziksel ve mekanik testler yapılmıştır.

**Çizelge 2.1** ETÇL üretiminde malzeme karışım oranları.

<b>Hammadde Türü</b>	<b>Karışım Oranı (%)</b>
Çimento	~ 60
Selüloz lif	~ 8
Filler	~ 30
Su/Bağlayıcı	0.30
Pva lif	~ 2

ETÇL üretiminde malzeme karışım oranları (Ranachowski ve Schabowicz 2018).

### **2.3 Elyaf Takviyeli Çimento Levha Kullanım Alanları**

Elyaf takviyeli çimento levhasının birçok kullanım alanı ve avantajları vardır. Uygulamayı yapan inşaatçıya daha kolay ve hızlı montaj süreleri, sahada daha az tesis ihtiyacı, şantiyelerin daha kolay yönetilmesi, inşaat süreçlerinin verimliliği, iyileştirilmiş kalite, daha iyi bütçe kontrolü, daha az malzeme tüketimi ve sahaya ve çevreye daha az atık gibi çeşitli avantajlar sunar (EN 12467 2013, Ardanuy vd. 2015, Schabowicz vd. 2018).

Selüloz elyaf takviyeli çimento levhası, mukavemet, dayanım ve hava koşullarına dayanıklılık, kolay işlenebilme özelliği, verimlilik ve çevre güvenliği gibi teknik özellikleri bir araya getiren kullanışlı bir yapı malzemesidir. Farklı hava koşullarında suya, dona, çürümeye, korozyona karşı dirençlidir (Cembrit 2018). ETÇL' ler, dayanıklı olmasının yanında, yüksek eğilme mukavemeti, nem direnci sağlaması ve biyolojik korozyon direnci gibi özelliklere sahiptir. Bu özellikleri sayesinde yapının farklı alanlarında kullanıma uygundur. Kullanıma uygun örnekler verilmiştir.

- Yapılarda cephe kaplama malzemesi olarak kullanılabilirler (Resim 2.2).
- Ara bölme duvar elemanı olarak kullanılabilirler.
- Tavan kaplama malzemesi olarak kullanılabilirler (Resim 2.3).
- Döşeme malzemesi olarak ön üretilmiş yapılarda kullanılabilirler.
- Çatı kaplama malzemelerinin altında destek elemanı olarak kullanılabilirler.
- Islak bölümlerde seramiğin alt malzemesi olarak kullanılabilirler.
- Döşeme malzemesi alt destek elemanı olarak kullanılabilirler.
- Dış cephelerde pencere ve kapı kenarlarında söve olarak kullanılabilirler (Resim 2.4).

- Mekânlarda tasarım ve dekoratif kaplama elemanı olarak kullanılabilirler (Resim 2.5).
- Saçak altı ve alını kaplama malzemesi olarak kullanılabilirler.
- Beton kalıp malzemesi olarak kullanılabilirler.
- Reklam panolarında zemin malzemesi olarak kullanılabilirler.
- Vitrin dizaynı için dekoratif yapı elemanı olarak kullanılabilirler.
- Muhtelif kaplama malzemeleri ile birlikte kompozit eleman olarak kullanılabilirler.
- Sandviç panel olarak muhtelif yalıtım malzemeleri ile birlikte kullanılabilirler.
- Çok katlı yapılarda kat silmesi olarak kullanılabilirler.
- Dış cephelerde süsleme malzemesi olarak kullanılabilirler (Resim 2.6).
- Prefabrik havuzlarda duvar elemanı olarak kullanılabilirler.

Elyaf takviyeli çimento levhası, sadece sürdürülebilir özellikleri nedeniyle değil ek olarak diğer kaplama için kullanılan malzemelere göre hava etkilerine, aşınma etkilerine ve böceklere karşı dayanabilen; kum, çimento ve selüloz liflerinden oluşan bir kompozit malzemedir. Mimari tasarım kısımları için büyük avantaj ve kolaylıklar sunar. Levhalar, geliştirilmiş üretim yöntemleri ile doğal görünümü birleştirmek adına estetik anlamda kullanıma yardımcı olur, çok yönlü uygulama imkanı sağlar. Tasarımlarda kullanılan alüminyum veya vinil gibi malzemelerin ahşabın görünümünü taklit edemeyeceği gibi elyaf takviyeli levhanın ahşap boyama ve mühürleme işlemi olmadan en önemli alternatiflerindedir.



**Resim 2.2** Fibercement dış cephe kaplama örneği.



**Resim 2.3** Tavan kaplaması elyaf takviyeli çimento levha örneği.



**Resim 2.4** Söve olarak kullanılan elyaf takviyeli çimento levha örneği.

## 2.4 Elyaf Takviyeli Çimento Levha Avantajları

- ETÇL, bütün olarak doğal ve zararsız malzemelerden üretilip çevre, doğa ve insan dostudur.
- Hafiftir bir malzemedir bu nedenle kolaylıkla taşınabilirler.
- Nefes alan malzeme olduğundan binanın nefes almasını sağlar.
- Yanma ve erime özelliği yoktur ( A1 sınıfı EN 13501-1' e göre yanmayan yapı malzemesi ), oluşan yangın var ise sönmeye yardımcı olur. Olası bir yangın sırasında, çevreye ve insana karşı zararlı herhangi bir gaz emisyonu bulunmaz.
- Sudan etkilenme özelliği yoktur, betonarme binalara oranla daha düşük su emme değeri gösterir.
- İçeriğindeki malzemeler otoklavlandığı için atmosfer ve kötü hava şartlarına karşı dayanım gösterir.
- Isı ve ses yalıtım özelliğine iyi derecede sahiptir.
- Yapılarda kullanılırsa ince sıva işçiliğini ortadan kaldırır dolayısıyla zaman ve işçilik masraflarını da kaldırmış olur (Resim 2.7).
- Donmalara karşı direnç gösterdiklerinden, soğuk hava iklimlerinde bile güvenle uygulanabilirler.
- Kullanılacak yapılara nefes alma imkanı sağlar.
- Çarpma ve darbelere karşı dayanıklıdır.

- Mimari tasarım olarak sınırsız bir imkânı sunar (Resim 2.5).
- Uzun süreli ömürleri vardır. Bakımları kolaydır ve az uğraş ister (Resim 2.6). Ahşap malzemeler gibi leke tutmaması sebebi ile piyasada elyaf takviyeli çimento levhaların tercih edilmesine neden olmuştur (Resim 2.7).



**Resim 2.5** Tasarımda kullanılabilir kolon kaplaması örneği.



**Resim 2.6** Elyaf takviyeli çimento levhanın bakımının kolay olması.

Kötü hava koşullarına karşı dayanım göstermesinin yanında yüksek sıcaklık ve nem dışarıda kullanılan cephe kaplamalarında hasar çıkmasında neden olabileceği düşünülür. Lakin yapısı sebebi ile elyaf takviyeli çimento levhasını boyutsal olarak dengede tutar ve bu koşullarda oluşabilecek hasarları engeller. Elyaf takviyeli çimento levhası, UV ışınlarına maruz bırakılırsa aşırı derecede aşınma ya da bozulma göstermez. Oluşabilecek çürümelere ve çarpmaya karşı dayanım gösterir; görüntüsü ahşap gibidir ancak o şekilde davranış göstermez, dokusu serttir.



**Resim 2.7** Elyaf takviyeli çimento levhanın ahşap görünümü.

## **2.5 Elyaf Takviyeli Çimento Levhalarla İlgili Bilimsel Çalışmalar**

Elyaf takviyeli çimento levhalar ile ilgili yapılan birçok çalışma vardır. Bu bölümde daha önce yapılmış olan çalışmalar ile ilgili bilgiler verilecektir. Bu çalışmalardan biri Schabowicz ve arkadaşlarının geliştirdiği yöntemlerden birisidir. Schabowicz ve arkadaşları yaptıkları çalışmalar ile elyaf takviyeli fibercement levhaların test çalışmaları için temas ve tahribat olmadan bir tarayıcı ultrason yardımı olmadan bir metodoloji geliştirmişlerdir. Oluşturulan teknik ile genel olarak lifli çimento levhanın kusurlarını tek taraflı olarak tespit etme yeteneğini üretimi aşamasında ulaşılabilir olduğu sonucuna varmıştır. Denemeler için orijinal bir test metoduyla çalışılmış olup, bulunan metod laboratuvarında yapılan gerekli testler ile onaylanmıştır. Deneyde kullanılan numuneler ve

Üretim aşamasında yapılan kontroller ile oluşturulan yöntemin lif testine uygun olduğunu elyaf levhanın güvenilirliği onaylanmıştır (Schabowicz 2016).

Baluch vd. (1978) yaptıkları çalışmada, elik elyaf takviyeli imento harcının kırılma direncini belirme için önerilene benzer bir model kullanarak, sisal elyaf takviyeli imento harcının mukavemetini belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmada, sisal elyaf takviyesinin imento harcının basınç mukavemetini geliştirdiği görülmüştür (Baluch 1987).

Yu Wen Liu ve arkadaşlarının araştırmaları, yapı bölümleri için doğal lifli imento levhaların özellikleri üzerine çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda, elyaf takviyeli imento levhaların üretimi için pirinç kabuğu, bambu lifleri, şeker kamışı, hindistan cevizi liflerini denemişlerdir. Ortaya çıkan deneysel sonuçlar doğal lifli imento levhaların yaklaşık 1430-1630 kgf/m<sup>3</sup> birim ağırlık değerine sahip olduğunu belirlemiştir. Doğal lifle üretilen imento levhaların pirinç kabuklarıyla üretildikten sonra çıkan eğilme dayanımı, geleneksel yapı malzemelerinde kullanılanların %80' i üzerindedir. Ek olarak %10 elyaf içeren, imento levhası sınıfında ise 2 ve 3. sınıf yanmazlık değerlerini yakalamıştır (Yu Wen Liu 2010).

Akhavan ve arkadaşlarının yaptıkları uygulamalar; otoklavlanmış selüloz lifi ile güçlendirilmesi yapılmış imento levhanın süneklik geliştirmesi için deneysel bir laboratuvar yöntemi kullanılarak üretilen panoları ve Hatschek sürecini uygulayarak uygulama geliştirmişlerdir. Bu uygulamada, Hatschek işlemi kullanılarak üretilmiş olan otoklavlanmış lifli imento levhaları yaygın olarak inşaat malzemeleri, dış cephe kaplaması gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu uygulamanın sağladığı birçok avantaja rağmen, üretilen numunelerde düşük süneklik değeri ve hacim kararsızlığı olmaktadır. Düşük süneklik değerini arttırmak için yaygın olarak bulunabilecek fakat pahalı bir yöntem olan elyaf içeriğini arttırmaktır. Bu çalışmada, laboratuvarda elyaf takviyeli imento levhaların panolarının üretimi için bir formül bulunmuştur. Düşük olan süneklik değerini arttırmak için alternatif ve ekonomik olacak formüller için çalışmalar yapılmıştır. Süneklik değerinin ölçümü, 3 nokta veya 4 nokta eğilme testleri uygulanarak ölçülürken, malzemelerin mikro yapıları taramalı elektron mikroskobu kullanılarak test

süreçleri yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar, elyaf takviyeli çimento levhaların panolarının sünekliği, matris çekme dayanımlarını azalttığı gözlenmiştir. Bu, numunelerin yoğunluğunu azaltarak (artan) gözenekliliği elyaf takviyeli çimento levhalarının veya kullanılan Portland çimentosunun bir kısmının uçucu kül ile değiştirilmesi ile elyaf mineralleşmesini, ortaya çıkan kırılma nedeni olarak bulunması zor olmuştur (Akhavan 2018).

Kuder ve arkadaşları fibercement üzerine araştırmalar ve çalışmalar yapmıştır. Yaptıkları deneyler yüksek performanslı elyaf takviyeli çimento esaslı kompozitleri üzerinde olmuştur. Bu tür kompozit malzemelerin performansını etkileyen bazı parametreler vardır. Bu parametreleri şu şekilde sınıflandırabiliriz; lif tipleri, matris özellikleri ve işlenmesidir. Bu parametrelerden işleme ise lif dağılımını, üretim maliyetini, performansı önemli ölçüde etkilemektedir. Yaptıkları deneyler, iki çalışmanın sonuçlarını özetlemektedir: İşlemenin Hatschek ve ekstrüzyon kaynaklı elyaf çimento levha performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Henüz geliştirilmiş ve Hatschek tarafından üretilen lif takviyeli dış baskı uygulamasının etkisiyle elyaf takviyeli çimento levhasının sistematik olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Bulunan sonuçlar soğuk ve sıcak havalarda oluşan donma ve çözülme dayanıklılığını arttırmak için, basıncın kullanılabilirliğini ortaya çıkarmıştır (Kuder 2010).

Elyaf çimento kompozitleri için çalışma yapan bilim insanı gruplarından birisi ise Mohr ve arkadaşlarıdır. Yaptıkları çalışmada yapı inşaatı için çimento ve lif kompozit malzemeleri üzerine çalışma yapmışlardır. Yapı inşasında lif ile güçlendirilmesi yapılmış çimento esaslı malzemeler, yapıda artmış olan uygulamalardan olmuştur. Bu çalışmalar esnasında, çimento ve lif kompozit ürünleri yapısal olarak büyük ölçüde bulunabildiğinden bu kompozitlerin dış cephe kaplama malzemeleri ve çatı kaplama malzemeleri olarak kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Bu tür uygulamanın avantajları ise yenilenebilir kaynaklardan yaygın olarak bulunup kullanılabilen lifler, yüksek lif çekme mukavemeti sağlar ayrıca yüksek elastikiyet modülü, maliyeti belirli oranda düşüren ve iyi oranda geliştirilmiş teknoloji elyaflarıdır. Elyaf takviyeli çimento kompozitleri kendileri için donma, çürümeye ve yangına karşı mukavemet sağlar.

Yapılarındaki boyutsal kararlılık, kullanışlı olması ve diğer özelliklerin yanında mekanik özelliklere iyi derecede sahiptir. Gözlenen lif üretim süreci, mekanik özellikleri, mukavemet ve uygulamaları kompozit malzemeler ile beraber incelenmiştir. Süreçteki, elyaf ve çimentonun kompozit dayanıklılığı ise göz önüne alınarak incelenmiştir. Sonraki süreçte yapılacak olan araştırmalar ve ortaya çıkabilecek ihtiyaçları için bu malzeme sınıfının gelecekteki uygulamaları göz önünde bulundurularak çalışmalar tamamlanmıştır (Mohr ve El-Ashkar 2002).



### 3. MATERYAL ve METOT

Selüloz lifli çimento esaslı deney numunelerinin üretim aşamasındaki kısımlar ve çalışmada kullanılan malzemeler bu bölümde verilmiştir.

#### 3.1 Malzeme Bileşenleri

Elyaf takviyeli çimento levhasının temel harç bileşenleri; bağlayıcı malzeme (çimento), kum, su, keten ve saz kamışı elyafı (selüloz kaynağı) kullanılmıştır. Deneysel araştırmalarda kullanılan çimento, silis kumu, su ve keten ve kamış lifi malzemelerinin özellikleri bu bölümde sunulmuştur.

##### 3.1.1 Çimento

Çalışmada bağlayıcı malzeme olarak Afyon Çimento Sanayi üretimi TS EN 197-1 (2012) standardına uygun CEM I 42,5 R Tipi Portland Çimentosu kullanılmıştır. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de CEM I 42,5 R tipi Portland çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 3.1** CEM I 42,5 R Tipi Portland çimentosunun fiziksel özellikleri.

Özellik	Değer
Özgül Ağırlık	3,13 g/cm <sup>3</sup>
Özgül Yüzey	3600 - 4000 cm <sup>2</sup> /g
Priz Başlangıcı	140 - 180 Dakika
Priz Sonu	210 - 270 Dakika
Kıvamlılık suyu (%)	%26 - 27
2 günlük Basınç Dayanımı	29 - 33 MPa
28 günlük Basınç Dayanımı	53 - 57 MPa

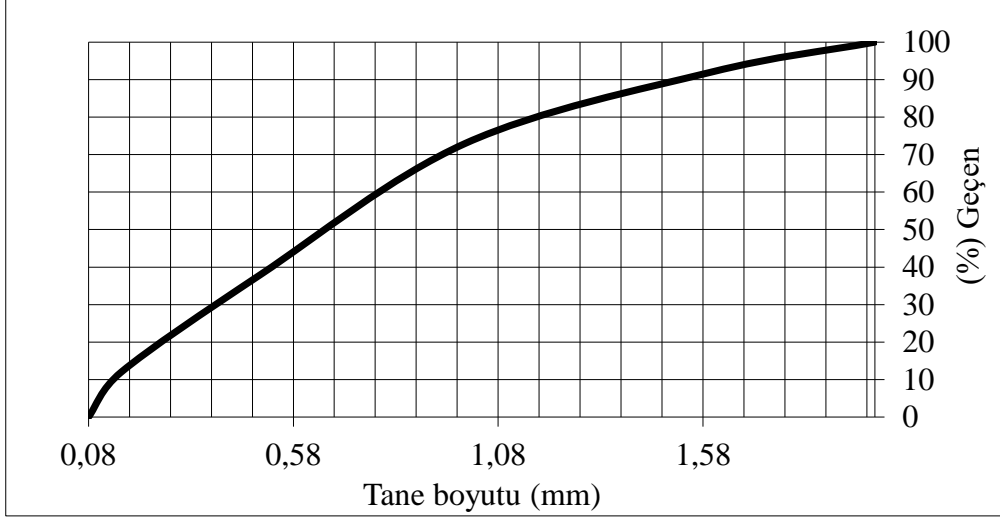
**Çizelge 3.2** CEM I 42,5 R Tipi Portland çimentosunun kimyasal özellikleri.

<b>Özellik</b>	<b>Değer</b>
SiO <sub>2</sub>	18,5 – 19,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,6 – 5,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,7 – 3,8
CaO	62,0 – 64,0
MgO	1,5 – 2,5
SO <sub>3</sub>	2,70 – 3,20
Kızdırma Kaybı	2,5 – 4,0
Na <sub>2</sub> O	0,2 – 0,3
K <sub>2</sub> O	0,8 – 1,0
Klorür (Cl)	0,02 – 0,05
Çözünmeyen Kalıntı	0,3 – 0,4

### 3.1.2 Silis Kumu

Elyaf takviyeli çimento numunelerinin üretiminde kullanılan temel kum çeşidi silis kumudur. Silis kumu, kuvars olarak zengin magmatik ve metamorfik kayaçların ayrışması sonucu oluşan 2 mm'den küçük kuvars tanecikleridir. Parçacıklı ve yuvarlak olan doğal kumlar kırma kumlara oranla daha az tıkanmaya neden olduğu için pompalanma işlemi daha basit olur. Eğer uygulama yapılırken püskürtme yöntemi tercih edilir ise, yıkanmış, temizlenmiş ve fırınlanmış, ASTM standardının C144 (Duvarcılık Harcında Kullanılan Agregat için şartnameler) şartnamesine uygun olan silis kumu kullanılması tavsiye edilir. Genel olarak tavsiye edilen silis içeriği miktarı %96-98 aralığında olmalıdır ve organik madde (kil de dahil olmak üzere) miktarı %0.5' ten yüksek olmamalıdır (P.N. ve Shah 1992).

Çalışmada maksimum tane boyutu 2 mm olan silis kumu kullanılmıştır (Şekil 3.1). Tane boyutu analizine göre göre 2mm' lik elekten %100 geçmiştir.



**Şekil 3.1** Çalışmada kullanılan silis kumunun tane boyutu dağılımı.

Bu çalışmada da önerildiği gibi kum olarak ASTM C144 şartnamesine uygun silis kumu tercih edilmiştir.

### 3.1.3 Keten ve Kamış Lifleri

Lif, doğal kaynaklardan ya da insan eliyle üretilen, uzunluğu, esnekliği, dayanıklılığı ve bükülebilme özelliği olan hammaddedir. Uygulamalarda kullanılacak doğal ve yapay olmak üzere 2 çeşit lif vardır. Doğal lifler; hayvan, bitki, mineral gibi doğal kaynaklardan elde edildiği biçimi ile doğrudan kullanılabilen hammaddelerdir. Diğer lif türü olan yapay lifler ise, istenilen özelliklere sahip olacak biçimde geliştirilen ve bu amaçla insan yapısı olarak üretilen malzemelerdir (Acun 2000).

Lifler betona mekanik özelliklerini iyileştirip, artırmak amacı ile ilave edilmektedir. Oluşabilecek çatlakların hızlı olarak yayılmasını önler. Betonun süneklik değerini artıran ve bu şekilde davranış göstermesine yardımcı olan selülozik lifler, betonun yük taşıyabilmesini oluşabilecek deformasyonlara rağmen sağlar ve enerji yutma kapasite oranını arttırmaktadır (Kurt 2006).

Bu çalışmada doğal lif olarak keten lifi ve saz kamışı lifi kullanılmıştır.

Keten bitkisi, bitki gövdesinden (sapından) elde edilen liflerin başında gelir. Başlıca tohumu ve lifi için yetiştirilir. Türkiye’de de keten ekimi yapılır (Resim 3.1). Rutubetli ve soğuk iklim, kumlu ve derin topraklardan hoşlanan keten bitkisi bir yıllık bir bitkidir. Bahar aylarında ekimi yapılır ve boyu yaklaşık olarak 1-2 m’ ye kadar uzar. İklimine göre

haziran ve ağustos aylarında olgunlaşır. Olgunluğa eriştikten sonra hasat zamanı, kesilmeden topraktan elle yolunarak veya makinelerle kesim işlemi yapılır.



**Resim 3.1** Keten bitkisi.

Kökler ve saplar ayrı olacak şekilde demetler halinde tarlada kurumaya bırakılır. Yaprakları kuruyup döküldükten sonra kendi sapları ile bağlanır ve demet oluşturulur. Kurutulan keten bitkisinden lifin elde edilmesi üç kısımda olur. Bu aşamalar; çürütme, dövme ve taraklama olarak adlandırılır (Resim 3.2).



**Resim 3.2** Kurutulmaya bırakılan keten bitkisi.

Keten bitkisinin fiziksel yapısı incelendiğinde, kabuğun altında demetler halinde, gövdeye sağlamlık veren lifler bulunduğu gözlemlenmiştir. Keten lifinin ıslakken

dayanıklılığı %20 daha fazladır ve özgül ağırlığı 1,5 g/cm<sup>3</sup> tür. Deterjandan, kaynar sudan ve güneşten etkilenmesi azdır. Keten lifi pamuğa göre daha iyi nem çekme özelliği gösterir (Resim 3.3).



**Resim 3.3** Keten lifi.

Saz kamış bitkisi olarak adlandırılan ve gövdesi ağaç gibi odunsu yapıya sahiptir (Resim 3.4). Sulak ortamları seven kamış bitkisi bulunduğu bölgede hızla çoğalır ve kısa sürede yetişkin hale gelebilirler. Suya dayanıklıdır ve ahşap gibi suda şişme yapmaz. Sıcağa, soğuğa ve aşırı neme karşı dayanıklıdır. Bu özellikleri sebebiyle inşaatta kullanıma uygundur.



**Resim 3.4** Kamış bitkisi.

Saz kamışının içeriğinde bulunan selüloz bu levhaların üretilmesinde büyük rol almaktadır. Bu çalışmada kullanılan kamışlar Akşehir-Eber Göllerinden temin edilmiştir (Resim 3.5). Ardından laboratuvarıda kırılıp, öğütülen kamış lifleri yaklaşık 5-6 mm uzunluğunda lif haline getirilmiştir (Resim 3.6).



**Resim 3.5** Saz kamışı.

Selüloz ilk olarak orman kaynaklarından, odunsu olmayan lignoselülozlar (keten, kenevir, kenaf, pamuk, jüt vb.) ile tarımsal atık olan ya da yan ürünlerinden (kamış, pirinç kabuğu vb.) elde edilir (Rahmat vd. 2015). Selüloz; ot, bitki ve ağaçların temel yapı taşıdır

ve öncelikli görevi bitkilere destek verir, dik durmasını ve sağlam olmasını sağlamaktır. Odun olan malzemenin ağırlık olarak %40, ketenin ağırlıkça %60 - %85'ini ve pamuk liflerinin yaklaşık %85 - %90 kısmını selüloz oluşturur (Kurtuluş 2010).



**Resim 3.6** Öğütmek için hazırlanan karnış.

Bitkisel lif olan hammaddelerde selülozdan sonra temel bileşenler hemiselüloz ve lignin olarak adlandırılır. Bu iki bileşen amorf yapıda iken selüloz yarı kristal bir polimer yapıya sahiptir. Bitkisel lif olarak işlev yapan hemiselüloz, lignin ve selüloz lignoselülozik yapı olarak adlandırılmaktadır ve bu yapı, hemiselüloz, lignin ve selülozun nano ölçekli alanları arasındaki benzersiz etkileşimin sonucunda meydana gelen bir biyonano-kompozit olarak değerlendirilmektedir (Hon ve Shiraishi 2001). Hemiselüloz, lignin ve selülozun lignoselülozik yapı içerisindeki yerleri türlerine göre değişim gösterebilir (Çizelge 3.3).

**Çizelge 3.3** Bazı selüloz kaynağı olarak kullanılan bitkilere ait özellikler.

<b>Materyal</b>	<b>Selüloz (%)</b>	<b>Hemiselüloz (%)</b>	<b>Lignin (%)</b>
Kamış	40 - 41.3	27 - 37.5	10 - 20
Keten	71	18.6 - 20.6	2.2
Kenevir	70.2 - 74.4	17.9 - 22.4	3.7 - 5.7
Pamuk	38.4 - 42.6	20.9 - 34.4	21.45
Pirinç kabuğu	36.2 - 47	19 - 24.5	9.9 - 24
Sisal bitkisi	67 - 78	10 - 14.2	8 - 11
Jüt	61 - 71.5	13.6 - 20.4	12 - 13

Lignoselülozik materyallerin içeriği (Bulut ve Erdoğan 2011, Adıgüzel 2013).

### **3.1.4 Su**

Beton harcı hazırlanırken karışım suyunun temel olarak iki önemli görevi vardır. İlki çimento hidrasyonunun başlamasını sağlayıp bağlayıcılık kazandırmak ikinci görevi ise betondaki işlenebilirlik özelliğini sağlamaktır. Yapılan araştırmalarda, şehirlerdeki içmeye uygun olan suların beton harcı hazırlanırken karışım suyu olarak kullanılabileceğini söylemiştir. Bu çalışmada harç hazırlanırken karışım suyu için Afyonkarahisar şebeke içme suyu kullanılmıştır.

### 3.2 Metot

Bu çalışmada, lif olarak kamış/su farklı konsantrasyonlarda, bağlayıcı eleman olarak CEM I 42,5 R Portland çimentosu, mineral dolgu olarak silis kumu kullanılmıştır. Dolgu malzemelerinde incelik, saflık, puzolanik özellik vb. özellikler dikkate alınmıştır. Deneyle 10 seri olacak şekilde üretim yapılmıştır. Her seride 8 adet numune olacak şekilde üretilmiştir.

Kamışlar testere ile kesilerek küçük parçalara ayrılmıştır ardından kamış ve keten mikserde parçalanarak öğütülmüştür (Resim 3.7).



**Resim 3.7** Öğütülen kamış lifleri (solda) ve öğütülmüş keten lifleri (sağda).

Üretim harcının hazırlanmasında Yapı Laboratuvarında mevcut olan mikser kullanılmıştır. Belirlenen oranlarda tartılarak hazırlanan harç malzemeleri ( su, çimento, silis kumu, keten, kamış lifi) sırası ile mikserde konularak homojen hale gelene kadar karıştırılmıştır. Karışımı hazırlamak için kullanılan mikser Resim 3.8’ de verilmiştir.



**Resim 3.8** Çalışmada kullanılan mikser.

Malzemeler, hamur homojen bir kıvama gelene kadar yaklaşık 5 dk karıştırılarak elde edilmiştir. Karışımlara selüloz kaynağı olarak farklı oranlarda saz kamışı ilave edilerek üretilen örnekler üzerinde fiziksel, mekanik ve mikro yapı analizleri yürütülmüştür.

Her numune için 135 g tartılan harç numunesi, 40x40x160 mm boyutundaki çelik kalıba yerleştirilmiş ve belirlenen basınç uygulanarak (10 N/mm<sup>2</sup>- 20 N/mm<sup>2</sup>- 30 N/mm<sup>2</sup>) preslenmiştir, Çelik kalıp ve pres makinesi Resim 3.9' de verilmiştir.



**Resim 3.9** Çalışmada kullanılan çelik kalıp (solda) ve pres makinesi (sağda).

Numune harçları belirlenen oranlarda tartılarak 40x40x160 mm prizma şekilli çelik kalıplara yerleştirilmiştir.

Çalışma, farklı oranlar kullanılarak toplamda 10 seri olacak şekilde ve her seri 8 adet olacak şekilde üretilmiştir (Resim 3.10).



**Resim 3.10** Üretilen numuneler.

Her seri için 8 adet olacak şekilde üretilen numuneler 24 saat laboratuvar koşullarında bekletildikten sonra 8 saat boyunca 185 psi basınç ve 190 °C sıcaklığa maruz bırakılmak üzere otoklava yerleştirilmiştir (Resim 3.11).



**Resim 3.11** Çalışmada kullanılan otoklav (solda) ve etüv (sağda).

Numunelerin, porozite, su emme, birim hacim ağırlık değerlerini hesaplamak için 24 saat su içinde beklettikten ( Resim 3.12) sonra su içinde ağırlık ve doymun kuru yüzey ağırlığı Arşimet prensibine göre hesaplanmıştır. Daha sonra 24 saat 105 °C’de etüvde bekletilerek kuru ağırlığı tespit edilen numunelerin eğilme deneyleri yapılarak sonuçlar kıyaslanmıştır.



**Resim 3.12** 24 saat su içerisinde bekletilen numuneler.

Numuneler 10 farklı seri olarak ve her seride 8 adet numune olacak şekilde üretilmiştir. Deney örneklerinin karışım reçeteleri Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

**Çizelge 4.1** Yapılan 10 serideki karışım oranları (Katı: Çimento + kum ).

Seri no	Çimento (g)	Silis kumu (g)	Kamış lifi (g) - (%)	Keten lifi (g) - (%)	Su (g)	Su / katı oranı (%)	Kalba uyg. basınç (N/mm <sup>2</sup> )
1. Seri	350	500	10(1,17)	10(1,17)	300	0,35	10
2.Seri	350	500	10(1,17)	10(1,17)	300	0,35	20
3.Seri	350	500	10(1,17)	10(1,17)	300	0,35	30
4.Seri	350	500	15(1,76)	15(1,76)	300	0,35	10
5.Seri	350	500	15(1,76)	15(1,76)	300	0,35	20
6.Seri	350	500	15(1,76)	15(1,76)	300	0,35	30
7.Seri	350	500	15(1,76)	30(3,53)	300	0,35	30
8.Seri	450	400	30(3,53)	0	250	0,29	30
9.Seri	450	400	45(5,29)	0	250	0,29	30
10.Seri	450	400	60(7,09)	0	250	0,29	30

1., 2. ve 3. seri numunelerinde harca ilave edilen kamış ve keten lifi malzemelerinin ağırlıkları aynı miktarda olup, çelik kalıplara yerleştirilen homojen karışım yapılmış harca uygulanan basınç değerleri farklıdır. S/K oranı 0,35 'dir. 4., 5. ve 6. seri numunelerinde kullanılan kamış ve keten lifi malzemelerinin ağırlıkları aynı miktarda olup, çelik kalıplara yerleştirilen homojen karışım yapılmış harca uygulanan basınç değerleri farklıdır. S/K oranı 0,35 'dir. 7. seri numunesinde harca eklenen keten lifi miktarı artırılıp deney numunesi üretilmiştir. S/K oranı 0,35 'dir.

8., 9. ve 10. seri numunelerinde harca keten lifi konulmamıştır. Bu serilerde çimento, silis kumu, su ve kamış harç malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu üç seride kamış lifi oranı artırılarak deney numuneleri üretilmiştir. S/K oranı 0,29 'dir.

### 3.3 Elyaf Takviyeli Çimento Levhası Üzerinde Yapılan Testler ve Analizler

Elyaf takviyeli çimento levhası üzerinde yapılan testler ve analizler bu bölümde sunulmuştur. Üretilen numunelerin mekanik özelliklerini öğrenmek amacıyla kür havuzunda 24 saat bekletilerek numunelerin su içindeki ağırlığı (W2), suya doymun yüzey kuru ağırlık (W3), daha sonra etüvde 24 saat 105 °C' de bekletilerek numunelerin etüv kurusu ağırlık (W1) değerleri belirlenerek numunelerin mekanik özellikleri hesaplanmıştır.

#### 3.3.1 Birim Ağırlık Deneyi

Hassas terazi kullanılarak numunelerin ağırlıkları alınmıştır (Resim 3.13). Elde edilen değerler aşağıdaki formülde yerlerine konularak numunelerin birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır.

$$\text{Birim Hacim Ağırlığı (BHA)} = \frac{W_1}{W_3 - W_2} \quad (3.1)$$

W1: Deney numunelerinin etüv kurusu ağırlığı

W2: Deney numunelerin su içindeki ağırlığı

W3: Deney suya doymun yüzey kuru ağırlığı



**Resim 3.13** Numunelerin doymun kuru yüzey ağırlığı (solda) ve su içindeki ağırlığı (sağda) verilmiştir.

### 3.3.2 Su Emme Oranı Tayini

Su emme deneyinde ise yine numuneler 24 saat boyunca kür havuzunda bekletilmiş olup ardından 24 saat 105 C° de etüvde bekletilerek her seri numunesinin ağırlıkları laboratuvarında bulunan hassas terazi yardımı ile ölçümü yapılmıştır (Resim 3.13). Elde edilen değerler formülde yerine konularak numunelerin su emme değerleri bulunmuştur.

$$\text{Su Emme (SE)} = \frac{(W_3 - W_1)}{W_1} * 100 \quad (3.2)$$

W1: Deney numunelerinin etüv kuru ağırlığı

W3: Deney suya doymuş yüzey kuru ağırlığı

### 3.3.3 Porozite Oranı Tayini

Porozite değeri, bünyede bulunan boşluk durumunu gösterir ve boşluk hacminin, tüm hacme oranı olarak tanımlanır. Birimi olmayan porozite değerinin, genellikle ondalık şeklinde bazen de yüzdeler bir sayı olarak elde ederiz. Porozite değeri daima 1'den küçük olmak zorundadır. Bünyedeki boşluk oranı ve porozite değeri birbirlerine bağlı terimlerdir. Numunelerin porozite oranı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\text{Porozite} = \frac{(W_3 - W_1)}{(W_3 - W_2)} * 100 \quad (3.3)$$

W1: Deney numunelerinin etüv kuru ağırlığı

W2: Deney numunelerin su içindeki ağırlığı

W3: Deney suya doymuş yüzey kuru ağırlığı

### 3.3.4 Üç Noktalı Eğilme Deneyi

Deneye tabi tutulacak malzeme homojen ve elastik bir kirişe ve üç noktadan eğilme deneyi yapılırsa maksimum gerilme kirişin dış yüzeyinde orta noktada oluşur. Dış yüzeyde oluşan bu gerilme yük-sehim grafiğinin herhangi bir noktası için aşağıda verilen formül ile hesaplanır.

$$\sigma = \frac{(3*P*L)}{(2*b*d^2)} \quad (3.4)$$

Burada;

$\sigma$  = Orta noktada kiriş yüzeyindeki gerilme (N/mm<sup>2</sup>)

P = Yük sehim eğrisinin herhangi bir noktasındaki kuvvet (N)

L = İki destek arası mesafe (mm)

b = Numune genişliği (mm)

d = Numune kalınlığı (mm)

V = Yükleme hızı (N/sn)

Numunelerin genişliği bütün numuneler için sabit ve 4 cm' dir. İki destek arası mesafe sabit ve 10 cm' dir. Numune kalınlıkları her bir numune için ölçülmüştür. Resim 3.14' te gösterilen makinenin uyguladığı kuvvet her numune için bulunmuştur (Çizelge 4.2). Ardından bulunan bu değerler formülde yerine konularak numunelerin eğilme dayanımları hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.2** Formülde kullanılacak değerler.

Numune	P(N)	V(N/sn)	d(mm)
1.Seri	250	30	9,24
2.Seri	242	30	9,07
3.Seri	299	30	9,05
4.Seri	203	30	9,38
5.Seri	207	30	9,1
6.Seri	241	30	9,04
7.Seri	192	30	8,9
8.Seri	158	30	9,28
9.Seri	136	30	10,3
10.Seri	55	30	11,46

Selüloz lifli çimento levha numunelerinin üç noktalı eğilme deneyi sonunda kırılma anı gözlemlenmiştir ve test cihazında uygulanan kuvvet düşünceye kadar beklenip, kırılma değeri öğrenilip deney sonlandırılmıştır (Resim 3.15).



**Resim 3.14** Üç noktalı eğilme deneyi cihazı.



**Resim 3.15** Numuneye uygulanan kuvvetin değeri resimde verilmiştir.



**Resim 3.16** Numunenin kırılma anı.

Farklı kalınlıktaki levha numuneleri üç noktalı eğilme deneyinin ardından çatlak ve kırılma oluşma durumlarına uğramıştır (Resim 3.15 ve Resim 3.16).

### **3.4 Numunelerin Ölçüm Değerleri**

Örneklerin su emme ve porozite değerleri Arşimet metoduna göre hesaplanmıştır. Buna göre Çizelge 4.3' da numunelerin su içerisindeki ağırlıkları ( $W_2$ ), suya doymun kuru yüzey ağırlıkları ( $W_3$ ), etüv kurusu ağırlıkları ( $W_1$ ) ve kalınlık değerleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlar birim ağırlık, su emme ve porozite değerlerini bulmak için kullanılmıştır.

Değerler 3.1, 3.2 ve 3.3 formüllerinde yerlerine konularak numunelerin birim ağırlık, su emme ve porozite sonuçları elde edilmiştir.

**Çizelge 4.3** Numune değerleri.

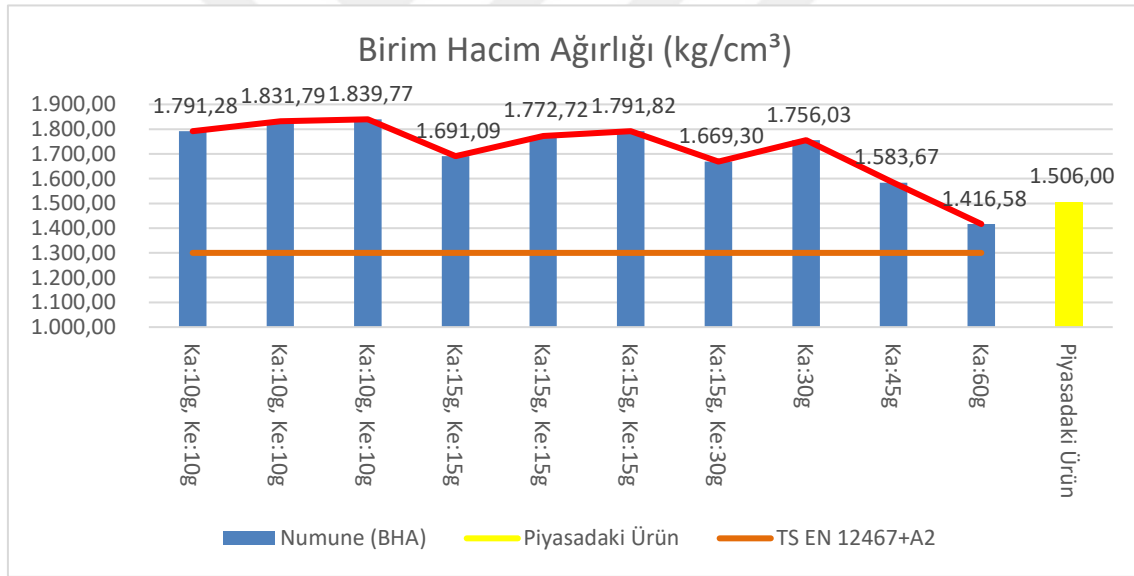
<b>Seri no</b>	<b>W2 (g)</b>	<b>W3 (g)</b>	<b>W1 (g)</b>	<b>Kalınlık (mm)</b>
1.Seri	60,97	119,14	104,25	9,24
2.Seri	60,3	116,33	102,63	9,07
3.Seri	65,53	124,85	108,55	9,05
4.Seri	58,33	118,11	101,1	9,38
5.Seri	58,83	115,8	101	9,1
6.Seri	63,18	123,5	108,08	9,04
7.Seri	56,2	115,22	98,52	8,9
8.Seri	63,33	125,88	109,84	9,28
9.Seri	61,33	129,83	108,52	10,3
10.Seri	59,37	135,9	108,4	11,46

## 4. BULGULAR

Bu çalışmanın fiziksel, mekanik ve mikroyapı çalışmalarının bulguları ve sonuçların incelemeleri bu bölümde verilmiştir.

### 4.1 Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

Elyaf takviyeli çimento levha üretiminde katkı olarak saz kamışının kullanıldığı numunelere birim ağırlık deneyi uygulanmıştır. Bu numunelere uygulanan birim ağırlık değerleri, TSE standart değerleri ve piyasadan alınan ETÇL numunesinin birim ağırlık değeri Şekil 4.1’ de verilmiştir.



Şekil 4.1 Birim ağırlık deneyi sonuçları.

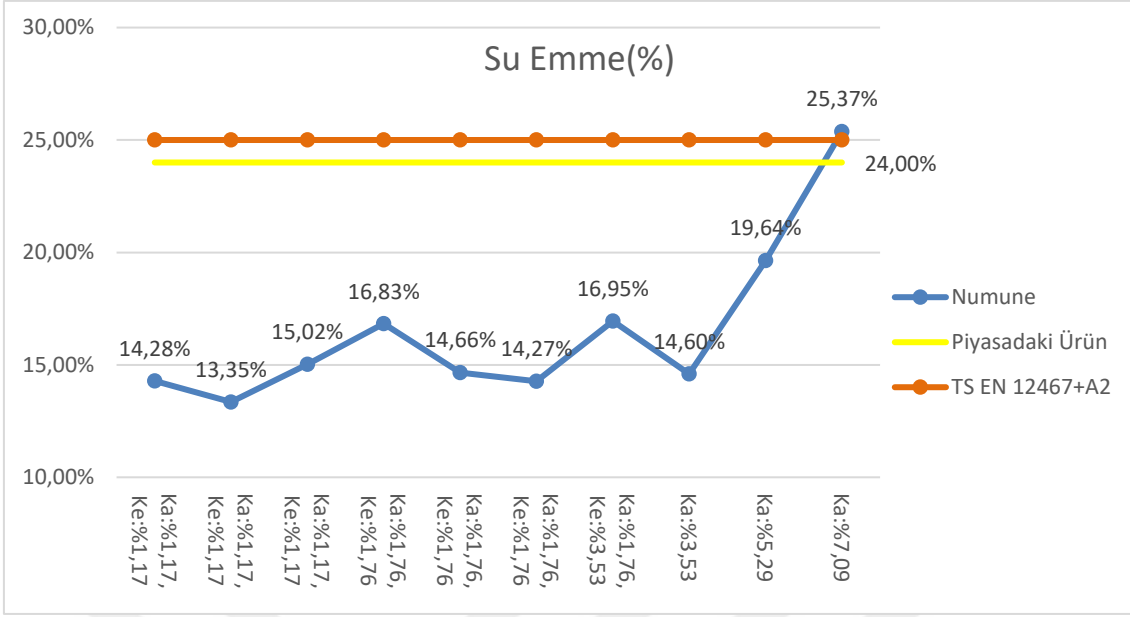
Üretilen numunelerden 3. seri numunesinin birim ağırlık değeri 1839,77 kg/cm<sup>3</sup> ile en büyük birim ağırlık değerine sahiptir. Bunun yanında en düşük birim ağırlık değeri 1416,58 kg/cm<sup>3</sup> ile 10. seri numunelerine aittir. Piyasadan alınan ETÇL numunesinin birim ağırlık değeri 1506 kg/cm<sup>3</sup> çıkmıştır. 3seri numunesinin birim ağırlık sonucu, piyasadan alınan numuneye göre %18 daha fazladır. Piyasadan alınan ETÇL

numunesinin birim ağırlık değeri ise üretilen numunelerden birim ağırlık değeri en küçük çıkan 10. seri numunesinden %6 daha fazladır.

3. seri numunelerinde ise lif katkısı olarak katı miktarının ağırlıkça %1,17 kamış ve %1,17 keten lifi kullanılmış olup kalıba uygulanan basınç miktarı  $20 \text{ N/mm}^2$  ' dir. 10. seride lif katkısı olarak keten kullanılmamıştır, katı miktarının %7,09' u kadar kamış lifi kullanılmış olup kalıba uygulanan basınç değeri  $30 \text{ N/mm}^2$ ' dir. 3. seride 350 g çimento ve 500 g silis kumu kullanılırken, 10. seri numunelerinde 450 g çimento ve 400 g silis kumu kullanılmıştır. TS EN 12467+A2' ye göre birim hacim ağırlık değeri  $1300 \text{ kg/cm}^3$  ( $\pm 100 \text{ kg/cm}^3$ )' tür. 3. seri numunesinin birim ağırlığı, TS EN 12467+A2' ye göre %24 daha fazladır. 10. seri numunesinin birim ağırlığı, TS EN 12467+A2' ye göre %2 daha fazladır. En yüksek birim ağırlık değeri  $1839,77 \text{ kg/cm}^3$  3.seri numunesinde, en düşük birim ağırlık değeri  $1416,58 \text{ kg/cm}^3$  10. seri numunesinde çıkmıştır. Bunun nedeni 3. seri numunesinde harca eklenen keten lifi ve kamış lifi oranı %1,17 iken 10. seri numunesinde %7,09' dur. Numune harcına eklenen lif oranı arttıkça birim ağırlık değeri düşmüştür.

#### **4.2 Su Emme Deneyi Sonuçları**

Elyaf takviyeli çimento levha deney örneklerine su emme deneyi uygulanmıştır. Üretilen numunelerin su emme deneyi değerleri. TSE standart değerleri ve piyasadan alınan ETÇL numunesinin su emme değeri Şekil 4.2' de verilmiştir.



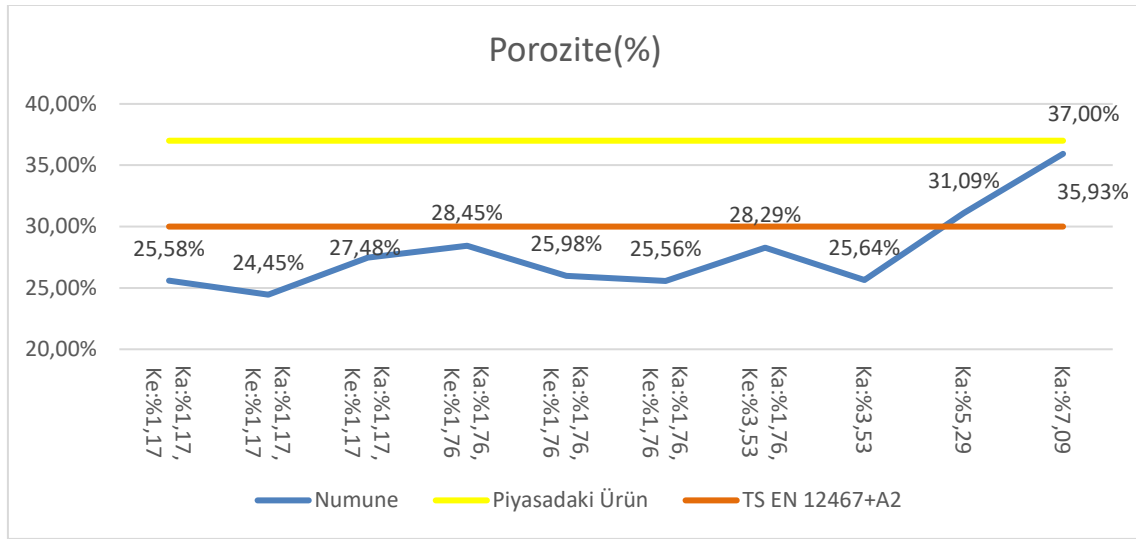
Şekil 4.2 Su emme deneyi sonuçları.

Üretilen numunelerden 10. seri numunesi %25,37 ile en büyük su emme değerine sahip numunedir. Bunun yanı sıra en düşük su emme değerine sahip numune ise %13,35 değeri ile 2. seri numunesidir. 10. seride lif katkısı olarak %7,09 kamış lifi kullanılmış olup kalıba uygulanan basınç değeri 30 N/mm<sup>2</sup> dir. 2. seri numunelerinde ise lif katkısı olarak %1,17 kamış ve %1,17 keten lifi kullanılmış olup kalıba uygulanan basınç miktarı 20 N/mm<sup>2</sup> dir. 10. seri numunesinin, 2. seri numunesine oranla daha fazla su emme değeri göstermesinin nedeni içerdiği selüloz lifi oranının daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Numunelerin içerisindeki lif miktarı arttıkça su emme değeri artmıştır. Bu sonuçlar doğal liflerin suyu absorbe etme özelliğinden kaynaklanmaktadır.

Piyasadan alınan ETÇL numunesinin su emme değeri %24 çıkmıştır. 10. seri numunesinin su emme değeri, piyasadan alınan ürüne göre %5 daha fazla çıkmıştır. TS EN 12467+A2' ye göre su emme değeri <%25' ten küçük olmalıdır. Üretilen numunelerden 10. seri numunesi, TS EN 12467+A2' ye göre %1,5 daha fazla çıkmıştır. 3. seri numunesinin su emme değeri, TS EN 12467+A2' ye göre %40 daha az çıkmıştır.

### 4.3 Porozite Tayini Sonuçları

Bir bünyede boşluk hacminin, tüm hacmine oranına porozite denir. Elyaf takviyeli çimento levha üretiminde katkı olarak saz kamışının kullanıldığı numunelere porozite değerlerinin bulunması için Bölüm 3.3’ te verilen deney uygulanmıştır. Üretilen numunelerin ve piyasadan alınan ETÇL numunesinin porozite değerleri Şekil 4.3’ de verilmiştir.



Şekil 4.3 Örneklerin porozite değerleri.

Üretilen numunelerden 10. seri numunesi %35,93 ile en büyük porozite değerine sahip numunedir. Bunun yanı sıra en düşük porozite değerine sahip numune ise %24,45 değeri ile 2. seri numunesidir. 10. seri numunesinin porozite değeri, 2. seri numunesinden %32 daha fazla çıkmıştır.

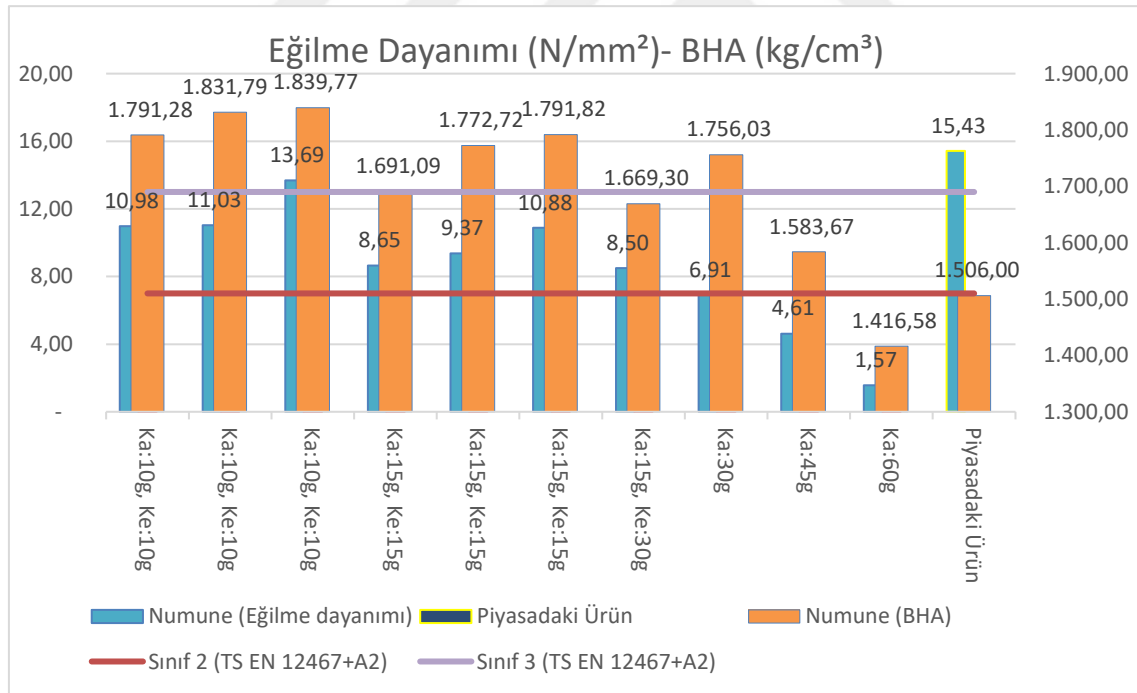
Piyasadan alınan ETÇL numunesinin porozite değeri %37 çıkmıştır. Piyasadan alınan ETÇL numunesinin porozite değeri, 10. seri numunesinin porozite değerinden %3 daha fazla çıkmıştır.

Üretilen numunelerden su emme deneyinde en fazla su emme değerine sahip olan 10. seri numunesi, porozite deneyinde de en yüksek porozite değerine sahip olan numune

olmuştur. Benzer şekilde su emme deneyinde en az su emme değerine sahip olan 2. seri numunesi ise porozite deneyinde de en az değere sahip olan numunedir. TS EN 12467+A2' ye göre porozite değeri < %30 (Laboratuvar ortamında dengeye gelen levhada) olmalıdır. 10. seri numunesinin porozite değeri, TS EN 12467+A2' ye göre %17 daha fazladır. 3. seri numunesinin porozite değeri ise, TS EN 12467+A2' ye göre %8 daha azdır.

#### 4.4 Üç Noktalı Eğilme Deneyinin Sonuçları

Elyaf takviyeli çimento levha üretiminde katkı olarak saz kamışının kullanıldığı numunelere eğilme deneyi uygulanmıştır. Bu numunelere uygulanan eğilme deneyi sonuçları Şekil 4.4' de verilmiştir.



Şekil 4.4 Eğilme dayanımı ve Birim ağırlık değerleri.

Eğilme dayanımı tayini deneyinin amacı eğilmeye maruz bırakılmış elyaf takviyeli çimento levhanın kırılma anındaki performansını ve deformasyonunu belirlemektir.

3. seri numunesinin eğilme mukavemeti 13,69 N/mm<sup>2</sup> bulunmuştur. Piyasadan alınan ETÇL numunesinin eğilme dayanımı 15,43 N/mm<sup>2</sup>' dir. 3. seri numunesi, üretilen numuneler arasında en yüksek eğilme dayanımına sahiptir olan numunedir. 3. seri numunelerinin içeriğinde 350 g çimento, 500 g silis kumu ve 10 g kamış lifi (katı miktarının %1,17' si kadar) ile 10 g (%1,17) keten lifi ilavesi yapılmıştır. Piyasadan alınan ETÇL numunesinin eğilme dayanımı, 3.seri numunesinin eğilme dayanımından %11 daha fazladır. Kalıplama pres basıncı arttıkça eğilme mukavemeti artış göstermiştir. Buna daha iyi paketleme ve yüksek kompoziteli bünye yapısının etkili olduğu değerlendirilmektedir. 9. ve 10. seriler dışındaki tüm seriler “ Sınıf 2 ” standart değerinin üzerinde eğilme dayanımı göstermiştir.

TS EN 12467+A2' ye göre “ Sınıf 3 “ eğilme dayanımı  $\geq 13 \text{ N mm}^2$  olmalıdır. Üretilen numunelerden 3. seri numunesi bu standart değerini karşılamıştır. Diğer serilerden ise; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. seriler “ Sınıf 2” standart değerini karşılamıştır.

1., 2. ve 3. seri numunelerinin içeriğinde kullanılan malzemeler birbiri ile aynı oranda kullanılmıştır. 1. seri numunelerinde kalıpta uygulanan basınç 10 N/mm<sup>2</sup> iken, 2. seri numunelerinde 20 N/mm<sup>2</sup> olarak, 3. seri numunelerinde ise 30 N/mm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır. Kalıplama pres basıncı arttıkça eğilme mukavemeti artış göstermiştir. Daha iyi paketleme ve yüksek kompoziteli bünye yapısının etkili olduğu değerlendirilmektedir.

4., 5. ve 6. seri numunelerinde kullanılan malzeme oranları birbiri ile aynı oranda kullanılmış olup, kalıpta uygulanan basınç miktarı sırası ile 10 N/mm<sup>2</sup>, 20 N/mm<sup>2</sup> ve 30 N/mm<sup>2</sup>' dir. İlk üç seride katı miktarının %1,17'si kadar kamış lifi ve keten lifi ilavesi yapılmış iken bu üç seride kamış lifi ve keten lifi oranı arttırılarak %1,76 oranında ilave edilip numuneler üretilmiştir. 7.seri numunelerinde kamış lifi oranı %1,76 iken keten lifi oranı %3,53' e çıkarılmıştır. Diğer malzemeler aynı oranda kullanılmıştır.

8., 9. ve 10. seri numuneleri üretilirken numunelere keten lifi ilavesi yapılmamıştır. Bu numunelere elyaf takviyesi olarak sırası ile %3,53, %5,29 ve %7,09 oranında kamış lifi ilave edilmiştir. Bu üç seride kalıba uygulanan basınç miktarı 30 N/mm<sup>2</sup>'dir.

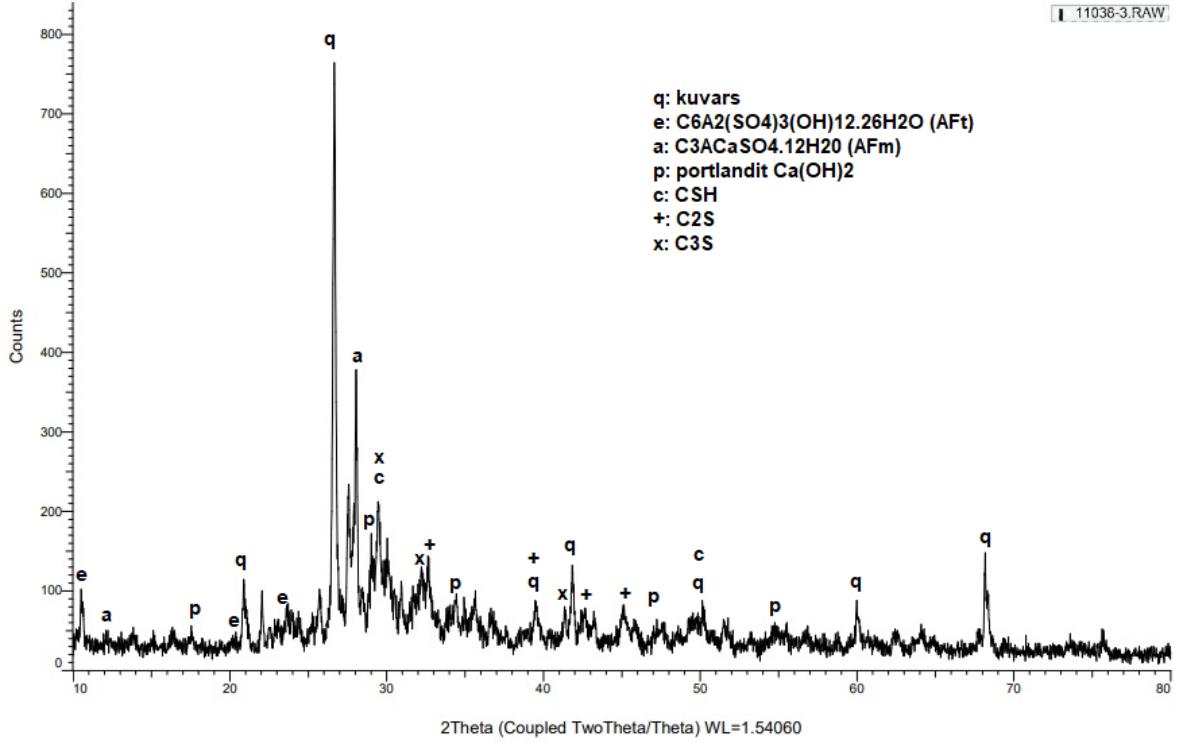
En düşük eğilme dayanımı 1,57 N/mm<sup>2</sup> ile 10. seri numunelerinde çıkmıştır. Bu serinin içerisinde 450 g çimento, 400 g silis kumu ve elyaf takviyesi olarak 60 g (%7,09 oranında) kamış lifi kullanılmıştır. Bu seride elyaf takviyesi olarak keten lifi ilavesi yapılmamıştır. Buna göre kamış lifi etkisinin keten lifine göre daha etkin olduğu görülmüştür. Üretilen deney numunelerinin fiziksel ve mekanik değerleri Çizelge 4.4' de verilmiştir.

**Çizelge 4.4** Üretilen deney numunelerinin fiziksel ve mekanik değerleri.

Numune No	BHA (kg/cm <sup>3</sup> )	Su Emme (%)	Porozite (%)	Eğilme (N/mm <sup>2</sup> )
1. Seri	1791,28	14,28	25,58	10,98
2. Seri	1831,79	13,35	24,45	11,03
3. Seri	1839,77	15,02	27,48	13,69
4. Seri	1691,09	16,83	28,45	8,65
5. Seri	1772,72	14,66	25,98	9,37
6. Seri	1791,82	14,27	25,56	10,88
7. Seri	1669,3	16,95	28,29	8,5
8. Seri	1756,03	14,6	25,64	6,91
9. Seri	1583,67	19,64	31,09	4,61
10. Seri	1416,58	25,37	35,93	1,57
Piyasadan alınan ETÇL " Sınıf 2"	1506	24	37	15,43
TS EN 12467+A2 " Sınıf 3"	1300	< 25	< 30	≥ 7 N/mm <sup>2</sup>
TS EN 12467+A2	1300	< 25	< 30	≥ 13 N/mm <sup>2</sup>

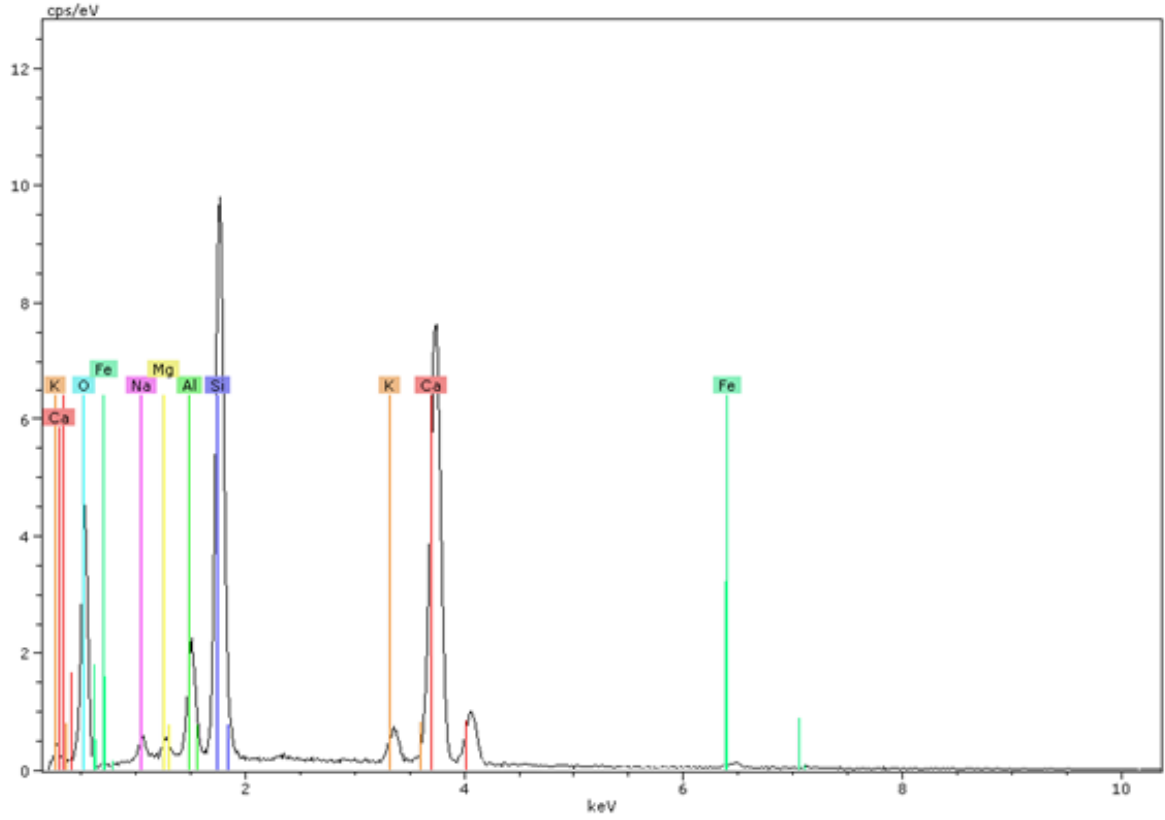
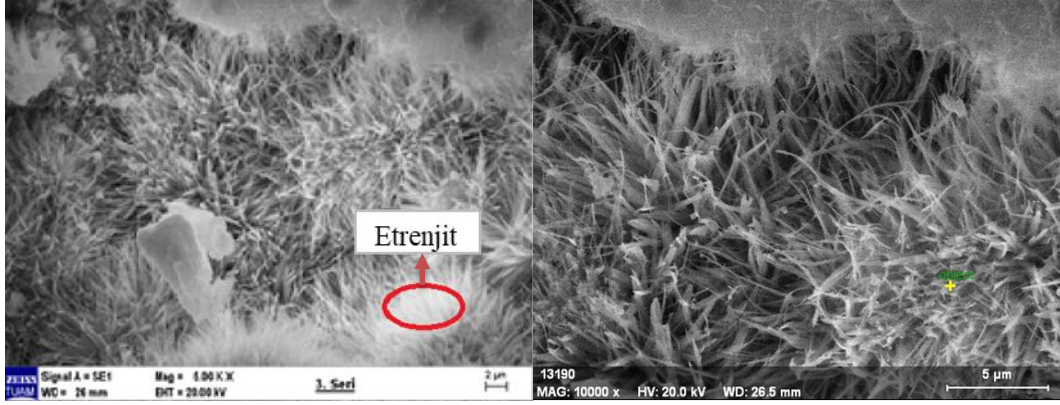
#### 4.5 Mikroyapı İncelemeleri

Deney örneklerinin mikro yapı incelemeleri amacı ile 3 no' lu seri seçilmiştir. Numune üzerinde XRD, SEM ve EDX analizi yürütülmüştür.



Şekil 4.5 3 no'lu. numenin XRD analizi.

Şekil 4.5'de görüleceği ana mineral fazın kuvars olduğu tespit edilmiştir. Çimentonun hidrasyon fazı CSH ve Portlandit ile birlikte, çimento içerisinde hidrasyonu tamamlamayan C<sub>2</sub>S ve C<sub>3</sub>S fazları gözlenmiştir. SEM analizinde de gözlemlenen (Şekil 4.6) Aft fazlarını doğrulayan şekilde etrenjit fazının varlığı da gözlenmiştir ve kırmızı yuvarlak içerisinde gösterilmiştir.



Şekil 4.6 3 no'lu numuneden alınan SEM görüntüleri (üstte)ve EDX analizi (altta).

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Asbestin içerdiği zararlı maddelerin ortaya çıkmasının ardından önemi yitirmeye başlayan elyaf takviyeli çimento levhalar, günümüzde doğal liflerin kullanılması ile yeniden önem kazanmıştır. Bu çalışmada, elyaf takviyeli çimento levha üretiminde elyaf takviyesi olarak ham selüloz yerine Akşehir-Eber göllerinden alınan saz kamış bitkisi ve ketenden elde edilerek öğütülen lif kullanılmıştır.

Numunelerde elyaf takviyesi olarak kullanılan kamış lifi miktarı arttıkça numune kalınlığı aynı şekilde artmıştır. Bunun sebebi ise selüloz, canlı organizmalar tarafından üretilen en önemli doğal polimerlerden birisidir. Selüloz esaslı lifler, su ile etkileşime girdiğinde bünyesine su alarak şişme özelliği gösterir (Şahin 2013). Numunelere kalıpta uygulanan basınç miktarı azaldıkça numune kalınlığı yine aynı şekilde artmıştır. En düşük numune kalınlığı 8,9 mm ile 7. seri numunelerine aittir. 10. seri numuneleri ise 11,46 mm ile en yüksek numune kalınlığına sahip olan seridir.

İlk üç seride karışım oranları aynı iken kalıba uygulanan basınç sırasıyla 10 N/mm<sup>2</sup>, 20 N/mm<sup>2</sup> ve 30 N/mm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır. Bu serilerde elyaf takviyesi olarak kamış lifi ve keten lifi 10 g (katı miktarının %1,17'si oranında) kullanılmıştır.

4, 5 ve 6. serilerde çimento ve silis kumu miktarı ilk 3 seri ile aynı iken kamış lifi ve keten lifi miktarı %1,76' ya çıkarılmıştır. Kalıpta uygulanan basınç sırasıyla arttırılarak 10 N/mm<sup>2</sup>, 20 N/mm<sup>2</sup> ve 30 N/mm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

7. seride ilk 6 seriyle aynı miktarda çimento ve silis kumu kullanılmış olup %1,76 oranında kamış lifi ve %3,53 oranında keten lifi kullanılmıştır. İlk 7 seride çimento miktarı 350 g, silis kumu 500 g ve su miktarı 300 g olarak kullanılmıştır.

8, 9 ve 10. serilerde elyaf takviyesi olarak keten kullanılmamıştır. Kamış lifi sırası ile %3,53, %5,29 ve %7,09 oranında kullanılmıştır. Bu üç seride çimento miktarı 450 g, silis kumu miktarı 400 g ve su miktarı 250 g olarak kullanılmıştır.

Üretilen deney numuneleri ile piyasadan alınan ETÇL numunesi ile karşılaştırılması bu bölümde yapılmıştır. Piyasadan alınan ETÇL numunesi 1cm kalınlığında olup, 4\*16 cm kesilerek deneyler yapılmıştır. Üretilen numunelerin kalınlık değerleri Çizelge 4.3' de verilmiştir. İlk 8 seri numunelerinde kalınlık değeri 1 cm değerinin altındadır. En yüksek kalınlık değeri 11,46 mm ile 10. seri numunesine aittir. 10. seri numunesinin kalınlığı, piyasadan alınan ETÇL numunesinin kalınlığından %13 daha fazladır.

Birim ağırlık deneyi sonuçlarına göre;

- En yüksek birim ağırlık değeri 1831,79 kg/cm<sup>3</sup> ile 2. seri numunesinde, en düşük birim ağırlık değeri ise 1416,58 kg/cm<sup>3</sup> ile 10. seri numunesinde çıkmıştır.
- 2. seri numunesi, 10. seri numunesine oranla %23 daha fazla birim ağırlık değeri göstermiştir.
- Piyasadan alınan numunenin birim ağırlık değeri 1506 kg/cm<sup>3</sup> tür.
- 2. seri numunesi, piyasadan alınan numuneye oranla %18 daha fazla birim ağırlık değeri göstermiştir. Piyasadan alınan numune, 10. seri numunesine oranla %6 daha fazla birim ağırlık değeri göstermiştir.

TS EN 12467+A2' ye göre birim hacim ağırlık değeri 1300 kg/cm<sup>3</sup> ( ± 100 kg/cm<sup>3</sup> )' tür. TS EN 12467+A2 standardına en yakın birim hacim ağırlık değeri 10. seri numunesine aittir ve birim hacim ağırlık değeri, TS EN 12467+A2' ye göre %2 daha fazladır. 3. seri numunesinin birim hacim ağırlığı, TS EN 12467+A2' ye göre %24 daha fazladır. Piyasadan alınan ETÇL numune örneğinin birim hacim ağırlık değeri, TS EN 12467+A2' ye göre %7 fazladır.

Su emme deneyi sonuçlarına göre;

- En yüksek su emme değeri içeriğindeki saz kamışı miktarının artmasıyla birlikte 10. seri numunesinde çıkarken en düşük su emme değeri ise 2. seri numunesinde çıkmıştır.

- 10. seri numunesi, 2. seri numunesine oranla % 47 daha fazla su emmeye uğrayan numune olmuştur.
- Piyasadan alınan numunenin su emme değeri %24' tür.
- 10. seri numunesi, piyasadan alınan numuneye oranla %5 daha fazla su emme değerine sahiptir. Piyasadan alınan numune, 2. seri numunesine oranla %45 daha fazla su emme değerine sahiptir.

TS EN 12467+A2' ye göre su emme değeri ağırlıkça, 2 saat <%15, 24 saat ağırlıkça < %25 olmalıdır. 10. seri numunesinin su emme değeri standardın üzerinde çıkan tek numunedir ve TS EN 12467+A2' ye göre %1,5 daha fazla çıkmıştır. 3. seri numunesinin su emme değeri, TS EN 12467+A2' ye göre %40 daha az çıkmıştır. Piyasadan alınan ETÇL numune örneğinin su emme değeri, TS EN 12467+A2' ye göre %4 azdır.

Porozite deneyi sonuçlarına göre;

- İçeriğindeki boşluk hacminin tüm hacme oranı en yüksek olan numune %35,93 değeri ile 10. seri numuneleridir.
- Porozite değeri en küçük olan numune ise %24,45 değeri ile 2. seri numuneleridir.
- 10. seri numunesi, 2. seri numunesine oranla % 32 daha fazla porozite değerine sahip olan numune olmuştur.
- Numune içeriğindeki kamyş lifi miktarı arttıkça numunenin boşluk hacminin toplam hacime oranı artmıştır.
- Piyasadan alınan numunenin porozite oranı %37' dir.
- Piyasadan alınan numune, 10. seri numunesine oranla %3 daha fazla porozite değerine sahiptir.

TS EN 12467+A2' ye göre porozite değeri < %30 (Laboratuvar ortamında dengeye gelen levhada) olmalıdır. 10. seri numunesinin porozite değeri, TS EN 12467+A2 standardına göre %17 fazladır. 3. seri numunesinin porozite değeri ise, TS EN 12467+A2' ye göre %8 azdır. Piyasadan alınan ETÇL numune örneğinin porozite değeri standart değerden yüksek çıkmıştır ve TS EN 12467+A2' ye göre %19 fazladır.

Eğilme deneyi sonuçlarına göre;

- Numune içeriğindeki kamış lifi miktarı arttıkça eğilme dayanımı değeri azalmıştır.
- En yüksek eğilme dayanımı 13,69 N/mm<sup>2</sup> değeri ile 3. seri numunesinde, en düşük eğilme dayanımı 1,57 N/mm<sup>2</sup> değeri ile 10. seri numunesinde çıkmıştır.
- Numunelere kalıpta uygulanan basınç değeri arttıkça numunelerin eğilme dayanımı değerleri artmıştır.
- Piyasadan alınan numunenin eğilme dayanımı 15,43 N/mm<sup>2</sup> çıkmıştır.
- Piyasadan alınan numunenin eğilme dayanımı, 3. seri numunesinin eğilme dayanımından %11 fazladır.
- 3 no' lu seri " Sınıf 3 " değerlerini karşılamıştır. 9. ve 10. Seri dışındaki karışımlarının tamamı " Sınıf 2 " değerini karşılamıştır (TS EN 12467).

TS EN 12467+A2' ye göre " Sınıf 3" eğilme dayanımı  $\geq 13$  N/mm<sup>2</sup> ve " Sınıf 2" değeri  $\geq 7$  N/mm<sup>2</sup> olmalıdır. " Sınıf 3" değerini sağlayan 3. seri numunesinin eğilme dayanımı, TS EN 12467+A2' ye göre %5 daha fazladır.

Üretilen deney numunelerinin eğilme dayanım değerleri sonucu, TS EN 12467' ye göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.

C türü 1. Sınıf: 9. seri numune grubu ( $\geq 4$  N/mm<sup>2</sup>)

C türü 3. Sınıf: 4, 5, 7 ve 8. seri numune grubu ( $\geq 7$  N/mm<sup>2</sup>)

C türü 4. Sınıf: 1, 2, 3, ve 6. seri numune grubu ( $\geq 10$  N/mm<sup>2</sup>)

Elde edilen deney sonuçlarına göre, numunelerde kullanılan kamış lifi miktarı arttıkça birim ağırlık değerleri ve eğilme dayanımı değerleri azalmıştır, numune kalınlığı, su emme değerleri ve porozite değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Üretilen numune sonuçları incelendiğinde uygun katkı oranının katı miktarının %1,17'si oranında keten lifi ve katı miktarının %1,17'si oranında kamış lifi kullanılması ile elde edileceği belirlenmiştir.

Sonuç olarak ithal selüloz ürünler yerine yerli ve doğal kaynaklardan elde edilen liflerin kullanılması ile daha ekonomik ve sürdürülebilir üretim yapılabilecektir.

## 6. KAYNAKLAR

- Acun S, 2000, Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Adıgüzel A O, 2013, Lignoselülozik materyallerden biyoetanol üretimi için kullanılan ön muamele ve hidroliz yöntemleri, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 17, 381-397.
- Aggarwal L K, 1995, Bagasse-reinforced cement composites, Cement Concrete Composite, 17, 107-112.
- Alireza Akhavan, Jeffrey Catchmark, Farshad Rajabipour, Construction and Building Materials, 2018.
- Ardanuy M, Claramunt J, Tolêdo Filho RD, 2015, Cellulosic fibre reinforced cement-based composites, a review of recent research. Construction and Building Materials, 79, 115–128.
- Aziz, M A, Paramasivam P, Lee S L, 1987, Natural fibre reinforced concrete in low-coat housing construction, Journal of Ferrocement, 17, 231-240.
- Balaguru P N and Shah, S P, 1992, Glass Fiber-Reinforced Concrete, in Fiber-Reinforced Cement Composites, 311-362, McGraw-Hill, Inc, United States of America.
- Balaguru P N, Shah S P, 1992, Fibre-reinforced cement composites, Singapore McGraw-Hill.
- Baluch H, Ziraba Y N, Azad A K, 1987, Fracture characteristics of sisal fibre reinforced concrete, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 9, 157-168.
- Bentchikou M, Guidoum A, Scrivener K, Silhadi K, Hanini S, 2012, Effect of recycled cellulose fibres on the properties of lightweight cement composite matrix, Construction and Building Materials, 34, 451-456.
- Biagiotti J, Puglia D, Kenny J M, 2004, A review on natural fibre-based composites-part I: Structure, Processing and Properties of Vegetable Fibres, Journal of Natural Fibers, 1, 37-68.

- Bodnarova L, Kostelanská K, Jankech J, 2014, The Possibilities of Application of Cellulose Fibers in Cement Composites, Monitoring the Properties. *Advanced Materials Research*, 1054, 85-89.
- Brandt A M, 1995, *Cement-based composite: materials, mechanical properties and performance*, London, E FN SPON.
- Bulut Y, Erdoğan Ü H, 2011, Selüloz esaslı doğal liflerin kompozit üretiminde takviye materyali olarak kullanımı. *The Journal of Textiles and Engineers*, 82, 26-35.
- B J Mohr, N H El-Ashkar ve K E Kurtis, 2002, *Fiber-Cement Composites for Housing Construction: State-of-the-Art Review*.
- Castro J, Naaman A E, 1981, Cement mortar reinforced with natural fibers, *ACI Structural Journal*, 78, 69–78.
- Coutts R S P, 2005, A review of Australian research into natural fibre cement composites, *Cement and Concrete Composites*, 27: 518-526.
- Cembrit, 2018, Information of Fiber cement boards, <https://www.cembrit.com>.
- Coutts R S P, Campbell M, 1979, Coupling agents in wood fibre-reinforced cement composites, *Composites*, 10, 228-232.
- Demir İ, Elmalı M, 2020, Organik Atıkların Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 1303-1311.
- Do L H, Lien N T, 1995, Natural fiber concrete products, *Journal of Ferrocement*, 25, 17-24.
- Elmalı Muhammet, Demir İsmail "FİBER REİNFORCED CEMENT BOARDS, PRODUCTION AND PROPERTIES" INTERNATIONAL EUROASIA Congress on Scientific Researches and Recent Trends 9 18-20 February 2022/Antalya – Turkey, 1, 124-140.
- Euronit, 2018, Information of Fiber cement boards, <http://www.euronit.de>.
- Fink H P, Ganster J, Fraatz J, Nywlt M, 1994, Relations between structure and mechanical properties of cellulosic man-made fibres, *Akzo-Nobel Viscose Chemistry Seminar Challenge in Cellulosic Man-Made Fibres*. 30 May–3 June 1994, Stockholm.

- Hon D N S, Shiraishi N, 2001, Wood and cellulose chemistry, Marcel Dekker, New York and Basel.
- Hortal, G J A, 2007, Fibras papeleras, Edicions UPC, Universidad Polit cnica de Catalu a, Barcelona, 2007.
- Jawaid M, Abdulkhalil H P S, 2011, Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites, a review, Carbohydrate Polymers, 86, 1-18.
- Katherine G Kuder, Surendra P Shah, Processing of high-performance fiber-reinforced cement-based composites, 2010.
- Kaya Firdevs, Yazıcıoğlu Yahşı, Lif Teknolojisi, Seğkin Ofset Matbaacılık, Ankara, 1992.
- Khorami M, Ganjian E, 2011, Comparing flexural behaviour of fibre–cement composites reinforced bagasse, Wheat and eucalyptus, Construction and Building Materials, 25, 3661-3667.
- Krzysztof Schabowicz, Tomasz Gorzelanczyk. A nondestructive methodology for the testing of fibre cement boards by means of a non-contact ultrasound scanner, 2016.
- Kurt G, 2006, Lif içeriği ve su/imento oranının fibrobetonun mekanik davranışına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Istanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Istanbul.
- Kurtuluş M, 2010, Lignoselülozik materyallerden termokatalitik işleme suda çözündürülen polisakkaritlerin moleküler yapılarının incelenmesi, Çukurova Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Adana, 104.
- Michell A J, 1989, Wood cellulose-organic polymer composites, Composite Asia Pacific, 89, 19- 25.
- Morrissey F E, Coutts R S P, 1985, Bond between cellulose fibres and cement, International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 7, 73–80.
- Neithalath N, Weiss J, Olek J, 2004, Acoustic performance and damping behavior of cellulose– cement composites, Cement and Concrete Composites, 26, 359-370.

- Pakatiprapha B, Pama R P, Lee S L, 1983, Analysis of a bamboo fibre–cement paste composite, *Journal of Ferrocement*, 13, 141–159.
- Rahmat A R 2015, Extraction of cellulose nanocrystals from plant sources for application as reinforcing agent in polymers. *Composite*, 75, 176-200.
- Savastano H, Savastano Jr H, Warden P G, Coutts R S P, 2003, Mechanically pulped sisal as reinforcement in cementitious matrices, *Cement and Concrete Composites*, 25, 311–319.
- Schabowicz K, Niedźwiedzka D, Ranachowski Z, Kudela Jr S, Dvorak T, 2018, Microstructural characterization of cellulose fibres in reinforced cement boards. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 18, 1068-1078.
- Semple K, Evans D, 1999, Adverse effects of heartwood on the mechanical properties of wood–wool cement boards manufactured from radiata pinewood, *Wood and fiber science*, 32, 37–43.
- Simatupang M H, Lange H, 1987, Lignocellulosic and plastic fibres for manufacturing of fibre cement boards, *The international Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 9, 109-112.
- Soroushian P, Shah Z, Won J P, 1995, Optimization of wastepaper fiber-cement composites, *Materials Journal*, 82-92.
- Soroushian P, Shah Z, Won J P, Hsu J W, 1994, Durability and moisture sensitivity of recycled wastepaper-fiber-cement composites, *Cement and Concrete Composites*, 16, 115-128.
- Soroushian P, Marikunte S, 1992, Moisture effects on flexural performance of wood fiber-cement composites, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 4, 275-291.
- Soroushian P, Marikunte S, 1990, Reinforcement of cement-based materials with cellulose fibers, *Symposium Paper*, 124, 99-124.
- Soydan A M, Sarı A, Akdeniz R, 2018, Bilecik Yöresi Mermer Atıklarının Fibersement Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8, 191-199.

- Soydan A M, Sarı A, Duymaz B, Akdeniz R, Tunaboşlu B, 2018, Characterization of fiber-cement composites reinforced with alternate natural cellulosic fibers, Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering, 19, 721 – 731.
- Swamy R N, 1988, Natural fibre reinforced cement and concrete, Glasgow, Great Britain.
- Swift D G, 1979, Sisal-cement composites as low-cost construction material, Appropriate Technology, 6, 6–8.
- Şahin H T, 2013, Kağıt geri dönüşüm işlemlerinin selülozun yapısında meydana getirdiği değişimler üzerine bir inceleme, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi SDU Faculty of Forestry Journal 2013, 14, 74-80.
- Tolêdo Filho, R D, Ghavami, K, Sanjuán M A, England G L, 2005, Free, restrained and drying shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetable fibres, Cement and Concrete Composites, 27, 537–546.
- Tolêdo Filho, R D, Ghavami K, England G L, Scrivener K, 2003, Development of vegetable fibremortar composites of improved durability, Cement and Concrete Composites, 25, 185–196.
- Tolêdo Filho, R D, Scrivener K, England G L, Ghavami K, 2000, Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites, Cement and Concrete Composites, 22, 127-143.
- Tomasz Chady, Krzysztof Schabowicz, Mateusz Szymków. Automated multisource electromagnetic inspection of fibre-cement boards, 2018.
- TS EN 12467, 2002, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ünal O, Kibici Y, 2001, Mermer tozu atıklarının beton üretiminde kullanılmasının araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu, Afyon, Türkiye, Bildiriler Kitabı, 317-325.
- Wittig W, 1994, Kunststoffe im Automobilbau, VDI-Verlag, Dusseldorf, 1994.
- Yu Wen Liu, Huang Hsing Pan, 2010, Properties of natural fiber cement board for building partitions.

## İnternet Kaynakları

1- <http://www.hekimyapi.com/fibercement>, 12.12.2022

2- <https://cimsa.com.tr/AFYON-CEM-I-425-R-TDS-TR>, 22.03.22



