

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AKRİLİK/POLYESTER LİF İLAVESİNİN HARÇ MEKANİK VE YALITIM
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat YATKIN

HAZİRAN, 2025

UŞAK

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AKRİLİK/POLYESTER LİF İLAVESİNİN HARÇ MEKANİK VE YALITIM
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat YATKIN

HAZİRAN, 2025

UŞAK

TEZ BİLDİRİMİ

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

Murat YATKIN



**AKRİLİK/POLYESTER LİF İLAVESİNİN HARÇ MEKANİK VE YALITIM
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Murat Yatkın

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Haziran 2025

ÖZET

Bu çalışmada, akrilik/polyester lif karışımı içeren harç numunelerinin basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ısı yalıtımı ve mikro yapı özellikleri analiz edilmiştir. Bu amaçla, harç numunelerine ağırlıkça %0, %0.5, %1 ve %1.5 akrilik/polyester lif karışımı içeren 8 farklı harç karışımları hazırlanmıştır. 4 farklı harç karışımında bağlayıcı malzeme içeriğinde %100 çimento kullanılırken, diğer 4 farklı karışımında ise bağlayıcı malzeme içeriğinde çimento yerine ağırlıkça %50 oranında da uçucu kül tercih edilmiştir. Hazırlanan tüm harç numunelerinin hem mekanik hem de yalıtım özellikleri üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, lif katkı oranı arttıkça basınç dayanımlarının düştüğü, eğilme dayanımlarının ve yalıtım değerlerinin arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Akrilik/Polyester lifi, Basınç ve Eğilme dayanımı, Isı Yalıtım,.

Sayfa Adedi : 38

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Hakan SARIKAYA

**EFFECT OF ACRYLIC/POLYESTER FIBER ADDITION ON MORTAR
MECHANICAL AND INSULATION PROPERTIES**

(M. Sc. thesis)

Murat Yatkin

**USAK UNIVERSITY
GRADUATE EDUCATION INSTITUTE
Department Of Civil Engineers**

June 2025

ABSTRACT

In this study, the compressive strength, flexural strength, thermal insulation, and microstructural properties of mortar samples containing an acrylic/polyester fiber mixture were analyzed. To this end, eight different mortar mixtures were prepared, incorporating 0%, 0.5%, 1%, and 1.5% acrylic/polyester fiber mixture by weight. In four of the mortar mixtures, 100% cement was used as the binder material, while in the other four mixtures, fly ash was preferred as a substitute for cement at a rate of 50% by weight. The effects of all prepared mortar samples on both mechanical and insulation properties were investigated in detail. According to the 44 experimental results, it was observed that as the fiber content ratio increased, the compressive strengths decreased, while the flexural strengths and insulation values increased.

Keywords : Acrylic/Polyester fiber, Compressive and Bending Strength, Thermal Insulation.

Number of pages : 38

Advisor : Assist. Prof. Dr. Hakan SARIKAYA

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübeleri ile bana her konuda yol gösteren, tez çalışmamın her aşamasını planlayan karşılaştığım tüm zorluklarda önümü açan, bilgilerini benimle paylaşıp her türlü imkânı sağlayarak destek olan, bu süreçte beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan her sorumu bıkmadan cevaplayan değerli danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Hakan Sarıkaya'ya en içten teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
ÇİZELGELER LİSTESİ	vi
RESİMLER LİSTESİ.....	vii
SİMGE VE KISALTMALAR	viii
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR ÖZETİ	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. MATERYALLER	13
3.1.2. Lifler	14
3.2. YÖNTEM	15
3.2.1. Harçların üretimi	15
3.2.2. Deneyler	16
4. DENEY SONUÇLARI	20
4.1. Basınç deneyi sonuçları	20
4.2. Eğilme sonuçları	23
4.3.SEM Analizi deneyi sonuçları	23
4.4.Isı İletim Katsayı Deneyi sonuçları	32
5. SONUÇ	34
KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ	39

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Numunelerin basınç deneyi test sonuçları	21
Şekil 4.2. Eğilme dayanımı sonuçları	23
Şekil 4.3. Numunelerin ısı iletkenlik katsayıları.....	33



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Kullanılan çimento ve uçucu külün kimyasal bileşimleri)	13
Çizelge 3.2. Akrilik ve polyester lifinin fiziksel ve mekanik özellikleri	14
Çizelge 3.3. Karışım oranları	15
Çizelge 4.1 Basınç deneyi testi sonuçları	20
Çizelge 4.2 Eğilme deneyi sonuçları	22
Çizelge 4.3. Isı iletkenlik katsayısı deney sonuçları	32



RESİMLER LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Akrilik polyester lif	14
Resim 3.2. Hazırlanan numuneler.....	16
Resim 3.3. Hazırlanan bünunelerin kür havuzundaki hali.....	16
Resim 3.4. Basınç deneyi.....	17
Resim 3.5. Eğilme deneyi	17
Resim 3.6. SEM Cihazı.....	18
Resim 3.7. Isı iletkenlik deneyi aleti.....	19
Resim 4.1. Lifsiz harç numunelerinin sem analizindeki görüntüleri (N)	24
Resim 4.2. Lif oranı %0,5 olan N0,5 harç numunelerinin sem analizindeki görüntüleri.....	25
Resim 4.3. Lif oranı %1 olan N1 harç numunelerinin sem analizindeki görüntüleri	26
Resim 4.4. Lif oranı % 1,5 olan N1,5 harç numunelerinin sem analizindeki görüntüleri	27
Resim 4.5. Lifsiz harç numunelerinin sem analizindeki görüntüleri (NU)	28
Resim 4.6. Lif oranı % 0,5 olan NU0,5 harç numunelerinin sem analizindeki görüntüleri	29
Resim 4.7. Lif oranı % 1 olan NU-1 harç numunelerinin sem analizindeki görüntüleri	30
Resim 4.8. Lif oranı % 1,5 olan NU1,5 harç numunelerinin sem analizindeki görüntüleri	31

SİMGE VE KISALTMALAR

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

Simge

%

Açıklama

Yüzde

Kısaltmalar

gr

km

m

μ s

N

C°

Açıklama

Gram

Kilometre

Metre

Mikrosaniye

Newton

Santigrat Derece

1.GİRİŞ

Eski zamanlardan bugüne insanların en önemli gereksinimlerinden biri barınmadır. İnsanoğlu mağaralarla sığınma ihtiyacını karşılarken gün geçtikçe ihtiyaçlar değişmiş şartlar iyileşmiş ve şu anda ki çok katlı binalar, akıllı evler, lüks yapılar bunların yerini almıştır. Yapı sektörünün temeli insanlara dayandığı için insanoğlu var olduğu sürece yapı sektörü değişmeye ve gelişmeye açıktır. Sürekli gelişen teknoloji ve sürekli değişen ihtiyaçlardan dolayı yapılardan istediğimiz özellikler gün geçtikçe artmaktadır. Beton ve harç yapı alanında büyük önem arz eder. Genel olarak bizim ülkemizde betonarme binalar ve yapılar yapılmaktadır. Ülkemiz deprem kuşağında yer aldığından yaptığımız yapıların ana malzemelerinin kaliteli olması can ve mal güvenliği açısından çok dikkat edilmesi gereken bir husustur. Bu yüzdende beton ve harçların kalitesi bizim için çok önemlidir. Dünyada her yıl kişi başına ortalama 1 ton beton ve harç üretilmektedir ve bu beton ve harç numunelerinin üretiminde bağlayıcı malzeme olarak çimento kullanılmaktadır. Çimento bazlı malzemeler, çeşitli projelerinin geliştirilmesinde kullanılan önde gelen inşaat malzemelerini oluşturmaktadır (Poletanovic ve ark., 2024). Çimento üretimi esnasında yüksek enerji tüketimi sebebiyle; malzeme, tasarım ve üretim alanlarındaki öncü gelişmeler sayesinde çevredeki enerji verimliliğini optimize etmek amacıyla inşaat sektöründe çimento benzeri alternatif bağlayıcı malzemelerin yaygınlaşmasını zorunlu kılmaktadır (Khan ve ark., 2023). Alternatif bağlayıcı malzeme olarak çimento harçları yerine; yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silika tozu gibi mineral kökenli malzemelerin kısmen veya tamamen çimento yerine kullanılabilir (Bostancı, 2022). Çimento harcında uçucu kül ve lif kullanımı, harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde artırmaktadır (Ünal ve ark., 2022). Çimento harcında durabilite ve bazı teknik özelliklerini iyileştirmek ve performanslarını artırmak için özellikle harç numunelerine sentetik lifler ilave edilmektedir. Lifli ve liffsiz yapıların davranışlarındaki asıl farkın, lifli karışımlarda lifin cinsine ve özelliklerine bağlı olarak yük altında meydana gelen çatlaklardan sonra yük taşıma özelliğinin devam etmesi ve liflerin karışımın eğilme dayanımına ek olarak, aşınma direncinde ve performansında önemli derecede artış meydana getirdiği birçok araştırmacı tarafından belirtilmektedir (Falkner ve ark., 1995, Korkut ve ark., 2017).

Beton, insanlık tarihinin gelişiminde ve eski uygarlıkların yaptığı günümüzde hala var olan eserlerinde önemli bir yere sahiptir. Piramitlerin yapımında kireç bazlı bağlayıcılar kullanılmış, Pantheon ve Collesium gibi yapılar puzzolanlarla yapılmıştır ve Horasan harcı olarak adlandırılan bir tür bağlayıcı olan harç ise Anadolu ve Orta Asya da kullanılmıştır. Çağdaş beton tarihinin başlangıcı olarak ise Louis Vicat'ın 1800'lü yıllarda ilk yapay çimentoyu üretmesi ve Joseph Aspdin'in 'Portland Çimentosu'nun patentini alması saylanmaktadır.(Karakule ve ark., 2005)

İyi bir bağlayıcı madde olan çimentonun ilk kez Romalılarca kullanıldığı düşünülmektedir. Romalılardan 18.yy' a kadar bağlayıcı konusunda pek bir ilerleme görülmemiştir. John Smaeton adlı bir İngiliz mühendis eskiden kalan kaynaklara göre 18. Yüzyıl'da yapılmış olan Eddystone fenerinde kireçtaşı ve kil fenerinden elde ettiği bir tür çimento kullanmıştır bu ilk çimento olarak düşünülmektedir. İngiliz duvarcı Joseph Aspdin ise günümüzde kullandığımız çimentoyu bulmuştur. Aspdin'in bulduğu çimento Portland'daki taşlara benzediğinde "Portland Çimentosu olarak" adlandırmış ve patentini almıştır. İlk olarak 1848'de portland çimento fabrikası İngiltere Kent Şehrinde faaliyete başladı. 19. Yüzyıl'ın ikinci yarısında çimento imalatı ve çimentonun kullanımı birçok ülkeye yayılmıştır (Ersoy ve ark., 2016).

Çimento esaslı harç karışımları, inşaat sektöründe sıklıkla kullanılan ve çimento, su, kum gibi malzemelerle yapılan karışımlardır. Bu tür harçlar, özellikle duvar örme, sıva, döşeme işleri gibi uygulamalarda kullanılır. Temelde, çimentonun bağlayıcı özellikleri, diğer malzemelerle birleşerek dayanıklı ve sağlam yapılar oluşturur. Harçlarda lif kullanımı, özellikle dayanıklılığın artırılması, çatlamaların önlenmesi ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla yaygın bir yöntemdir. Lifler, harç karışımına dahil edildiğinde malzemenin fiziksel özelliklerini güçlendirir.

Çimento bağlayıcılı malzemelerin gevrek olması istenilmeyen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Gevrek karaktere sahip harçlar uygulanan yükler altında kırılma özelliği gösterirler. Taşıyabileceği yük ve sönmüleyebileceği enerji sınırına ulaştıkları zaman kırılmalar meydana gelir. Çimentolu ürünlerin bu tip özellikler sergilemesi kullanım amacına da bağlı olarak çoğunlukla istenmeyen bir durum olarak

değerlendirilebilmektedir. Daha sünek ve daha fazla enerji sönümleyebilen harçlar tercih edilmektedir. Çimento esaslı harçlara süneklik kazandırabilmek ve daha fazla enerji sönümletebilmek amacıyla farklı lifler kullanılabilir (Uğurer ve ark., 2023).

Ülkemizde en çok kullanılan yapı malzemesi beton ve harçtır. İnşaat sektöründe kullanılan harçlar genellikle çimento, agrega, su ve çeşitli kimyasal katkıları ile hazırlanan normal ağırlığa sahip harçlardır. Kullanılan normal ağırlıklı harçlar malzeme tedariki, kolay hazırlanabilirlik, kolay uygulanabilirlik veya maliyet gibi çeşitli sebeplerle tercih edilmektedir (Ünal ve ark. 2007).

Lifler değişik malzemelerden (çelik, plastik, cam gibi) farklı tip ve ebatlarda üretilmektedirler. Lif boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesi ile boy/çap oranı bulunur ve bu oran narinlik oranı olarak ifade edilir. Amerikan Beton Enstitüsü komitesi bir lifi anlatan en iyi parametrenin narinlik oranı olduğunu kabul etmiştir. Eşdeğer lif çapı; alanı lifin kesit alanına eşit bir dairenin çapı olarak tanımlanmaktadır. Lif tanımlayan diğer etkenler ise lifin geometrik yapısı ve çekme gerilmesidir (Ünal ve ark. 2007).

Çeşitli malzemelerin bazı özelliklerini geliştirmek için yapılan çalışmalar eskiden beri yapılmakta olup, 4500 yıl öncesinde kerpiç malzemesinin saman ve bitkisel elyafla karıştırılarak kullanıldığı bilinmektedir (Kozak, 2013). Liflerin kullanımı çok eski zamanlara dayanmaktadır. Eski zamanlarda yapılar güçlü olsun kolay yıkılmasın diye saman ve hayvan kılı gibi doğal lifler kullanılmıştır. Mikro donatı tekniği olarak da isimlendirebileceğimiz bu tekniklere ülkemizde Trio kazaları sırasında rastlanmıştır. M.Ö. 2500 yılları olduğu düşünülmektedir. O bölgede yaşayanlar mikro donatı tekniği olarak adlandırdığımız bir teknik kullanmışlar, duvarlar pişmiş tuğla ile örülmüş üzerine sıva yapılmış ve bu sıvaların içerisine keçinin kılı ve saman çöpü katılmıştır [Erbaş, 2003]. Roma Collosium inşaatında o zamanların sıvası olarak adlandırılan balçığa çeşitli hayvanların kuyruk ve yele kıllarının karıştırılarak elde edilen karışımın kullanıldığını bilinmektedir. Türk mimarisinde Mimar Sinan yaptığı yapılarda horasan harcını kullanmıştır. Horasan harcının içinde saman bulunduğu bilinmektedir. Çimentolu harçların yapısına lif eklemek, mekanik özelliklerini iyileştirmenin bir yolu olarak uzun zamandır çoğu araştırmacılar tarafından irdelenmektedir. Çimento esaslı hafif harçların

içerisinde farklı orijinde lifler kullanarak harcın fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirilebilmektedir. Harcın durabilite özelliklerini, enerji sönümlene miktarını, çekme dayanımını ve tokluğunu artırmak için selülozik, polimer, sentetik, karbon, çelik vb. lifler kullanılmaktadır. Lifler özellikle oluşan çatlakları önlemede ve oluşmuş olan çatlakların ilerlemesini durdurmada büyük katkı sağlar. Kompozitlere yapılan ani ve tekrarlı yüklemelere karşı dayanıma sahip olmasında da liflerin katkısı vardır (Arazsu, 2012).

Gelişen teknoloji ile kullanılan bitkisel lifler (jüt, bambu vb.) çeşitli bitkilerden daha ucuza elde edilmeye başlanmıştır. Bu lifler kolay bir şekilde elde edilebilir. Ancak bu lifler alkali ortamda parçalanma eğilimindedirler. Bu liflerin durabilitesini artırabilmek için betonun alkalitesini azaltacak katkıları kullanılmalıdır (Ekinciöğlü, 2003).

Çelik lifler metalik liflerin betonda en çok kullanılanıdır. Dayanımları yüksek olup sünek davranan bu lifler paslanmaz çelik ya da karbon çeliğinden üretilirler (Arazsu, 2012). Çelik liflerin dayanımı 400-1500 MPa arasında değişir. Soğukta işlem görmüş karbon çelik liflerde ise dayanım 4000 MPa' ı aşmaktadır, çelik lifin özgül ağırlığı yaklaşık olarak 8 gr/cm^3 ve elastite modülü ise 200,000 MPa olmaktadır. Çelik liflerin çapları 0,13 10 mm arasında, narinlikleri (uzunluk/çap oranı) ise 30 ile 150 arasında değişmektedir. Lif boyları 13 mm 70 mm arasında, lif hacimleri ise genellikle % 0,5 ile % 3 arasında değişir. Çelik liflerin en önemli niteliği yüksek ve üniform çekme gerilmesine karşılık düşük uzama özelliğidir. Çekme ve kesme kuvvetlerine çalışan liflerin betonla aderansı lifli betonun işlevini etkiler. Dalgalandırılmış ve ucu bükülmüş liflerin düz olan liflere göre çekme kuvvetinin etkisiyle matristen ayrılması daha zordur. Çelik lifler yüksek çekme dayanımı sahiptirler kırılıp kopmaları çok zordur (Salami, 2009).

Mineral lifler sertlik, dayanıklılık, diğer malzemelerle fazla tepkimeye girmeme gibi özellikleri ile ön plana çıkarlar. En bilineni cam liflerdir. Esnek, hafif, pahalı olmayan bu malzemeler genelde harç karışımlarına katılarak ya da çimento hamuruna eklenerek kullanılırlar. İri agregalı betonda çok kullanılmazlar (Ekinciöğlü, 2003). Cam liflerinin hammaddesi bilinen camdır. Normal camlar alkali ve toprak alkali silikatlar, borat ve alüminat içeren birleşik karışımlardan oluşurlar, lif üretimi esnasında kullanılacak olanlar

ise daha çok soda-kireç silikatlarından ya da boraks silikatlarından oluşur. Cam liflerinin kimyasal yapısı tam olarak verilememektedir bunun nedeni ise katkı maddelerinin oranları camda bulunması istenen özelliğe göre değişir. Ancak camın kimyasal yapısında kalsiyum karbonat ve silisyum dioksit olduğu söylenebilir. Buna ek olarak farklı özellik kazandırmak için ilave edilen borik asit, sodyum karbonat, alüminyum hidroksit, alüminyum oksit, magnezyum oksit oranları değişken olabilir (Seventekin, 2003).

Polimer liflerin çok geniş uygulama alanı ve çeşidi vardır. Polimer lifler doğal ve sentetik olarak iki grupta incelenir. Doğal lifler deri, yün gibi hayvansal ya da pamuk, sisal, hint keneviri gibi bitkiselidir. Baktığımızda doğal liflerin genellikle polimer yapıda olduğunu görürüz. Kimi doğal lifler ise kaya formasyonu şeklindedir. Bunlar mineral şeklindedir ve seramik olarak isimlendirilir bunlara örnek olarakta asbest ve bazalt verilebilir (Chawla, 1998). Yapay lifler insan eliyle üretilen liflerdir. Yapay lif üretiminde kullanılan maddenin sıvı veya yarı sıvı hale gelmesi sağlanır. Yaş çekme ve kuru çekme gibi çeşitli işlemlerle lifler oluşturulur. Polimer liflerden bazıları da yapay liflerdir. (Alkan, 2004).

Tekstil ve petrokimya endüstrisindeki çalışmalar sonucunda polimer lifler üretilmiştir. Sentetik polimer liflerden bazıları: naylon, polietilen, aramid, akrilik ve polipropilendir. Çapları mikron düzeyindedir. Çap ve uzunluk oranları polimer liflerin kalitesini belirler. Lifli betonda 12-50 mm arasında değişen uzunluk değerlerine sahiptirler. Bazıları ise çok kısa (1-2) mm olabileceği gibi çok uzun olanları da vardır (Shah, 1995).

2.LİTERATÜR ÖZETİ

Bostancı 2022 yılında yapmış olduğu bu çalışma, atık cam tozu içeren alkali-aktive edilmiş cüruf harçlarının mekanik, gözenek yapısı, termal iletkenlik ve mikro yapı özelliklerini incelemektedir. Çalışmada, atık cam tozu, harç karışımlarında kum ile %15, %30 ve %45 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmış, bağlayıcı malzeme olarak ise %50 oranında yüksek fırın cürufu tercih edilmiştir. Deneysel analizler kapsamında, basınç ve eğilme dayanımı testleri, cıva porozimetresi ölçümleri, termal iletkenlik analizleri ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülemeleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, %15 cam tozu içeriğinin, sınırlı düzeyde mekanik dayanım kaybına neden olurken termal yalıtım özelliklerinde %35 oranında iyileşme sağladığını göstermektedir. Buna karşılık, %30 ve %45 cam tozu içeriklerinde mekanik dayanım kayıpları artmış ve termal iletkenlik değerlerinde sınırlı bir iyileşme gözlenmiştir. Sonuç olarak, atık cam tozu içeren alkali-aktive edilmiş cüruf harçlarının sürdürülebilir yapı malzemeleri olarak değerlendirilebileceği, özellikle %15 cam tozu içeriğinin mekanik özellikler ile termal yalıtkanlık arasında optimum bir denge sağladığı belirlenmiştir (Bostancı, 2002).

Teraı ve Mınamı 2012 yılında yapmış oldukları çalışmada bambu lifinin beton içerisindeki etkileşimini incelemişlerdir. Bambu bitkisi, büyüme hızının yüksek olması, maliyetinin düşük olması ve çevre dostu olması nedeniyle alternatif bir doğal elyaf olarak büyük potansiyele sahip olduğunu düşündükleri için diğer liflere alternatif olarak bambu üzerine çalışmışlardır. Çalışmada, bambu elyaflarının farklı hacim oranlarının (%0, %1, %2, %3) betonun taze ve sertleşmiş özellikleri üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Eğilme basınç ve çekme dayanımları açısından çeşitli deneyler yapılmıştır. Bunlara ek olarak taze beton deneyleri (slump ve hava içeriği gibi) yapılmıştır. Kullanılan ana malzemeler Portland çimentosu, ince ve iri agrega ile bambu elyafıdır. Elyaf miktarı arttıkça, betonun işlenebilirliği (slump değeri) azalmıştır. Elyaf oranı arttıkça çekme dayanımında %50'ye varan artış gözlemlenmiştir. Elyaf eklenmesi eğilme dayanımını artırmasa da, eğilme sonrası çatlama dayanımı ve süneklik özellikleri gelişmiştir. Elyaf oranının artması, basınç dayanımında azalmaya yol açmıştır. Çekme dayanımındaki artış ve çatlama direncindeki iyileşme, bambu elyaflarının beton takviyesi için umut vadettiğini göstermektedir. Eğilme ve basınç dayanımında gözlemlenen azalmalar, bambu

elyaflarının bağ gerilmesine olumsuz etkisiyle ilişkilendirilmiştir. Bu çalışma, bambu elyaflarının çevre dostu bir takviye malzemesi olarak kullanılabilceğini ortaya koymakta ve gelecekteki araştırmalara temel sağlamaktadır (Terai ve ark. 2012).

Topçu Demirel ve Uygunoğlu 2017 yılında yapmış oldukları çalışmalarda dört farklı görünüm oranındaki polimer esaslı polipropilen lifin harç ÖZELLİKLERİNE etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada, lifler harç içine hacimce %0.6, %0.8, %0.9, %1.1 oranlarında katılmış olup ayrıca lifsiz şait numunelerde üretilmiştir. Harçlar üzerinde basınç dayanım testi, eğilme dayanım testi, ultrases hızı, dinamik elastisite modülü tayini ve mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, polipropilen lif katkısının basınç dayanımını bir miktar düşürdüğü, eğilme dayanımını bir miktar artırdığı, su emmelerinin ise lif çeşitlerine göre değiştiği ve elastisite modülünün de lif oranına göre düştüğü görülmüştür (Topçu ve ark. 2017).

Şapçı 2021 yılında yapmış olduğu çalışmada düşük birim ağırlığa ve yüksek ısı performansına sahip kaplama malzemeleri geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için Isparta-Diyadin kalker ocaklarından elde edilen agregalar mikronize kırma kum olarak kullanılmış ve polimer bileşenli kompozit çimento esaslı harçlar oluşturulmuştur. Çalışmada ayrıca, sektörde kullanılan geleneksel harçlarla karşılaştırma yapmak amacıyla kontrol amaçlı harç örnekleri de tasarlanmıştır. Çalışmalar sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır. Polimer bileşenli kompozit harçların birim ağırlıkları kontrol numunelerine göre yaklaşık %52 daha düşük bulunmuştur. Isıl iletkenlik katsayıları (0,236-0,261 W/mK), geleneksel harçlara göre yaklaşık 5 kat daha iyi performans göstermektedir. Sentetik lif katkıları sayesinde eğilme dayanımı yaklaşık %20 oranında artırılmıştır (Şapçı, 2021).

Ahmad ve diğerleri 2023 yılında yapmış oldukları çalışmada bambu liflerinin betonun mekanik özelliklerine katkısını değerlendirmek ve bu liflerin çevresel sürdürülebilirlik bağlamında potansiyelini incelemeyi amaçlamışlardır. Özellikle, bambu lif takviyeli betonun taze ve sertleşmiş özellikleri, dayanıklılığı, yüksek sıcaklıktaki davranışı ve morfolojisi gibi parametreler ele alınmıştır. Bu çalışmada optimum lif aralığı %1 ve %1,5 arasında kullanıldığında en iyi sonuç verdiği kabul edilmiştir. Daha yüksek

lif oranının işlenebilirliği ve mekanik özellikleri düşürdüğü görülmüştür. Betonun akışkanlığı azalmış, çekme ve eğilme dayanımı önemli ölçüde artmış, lifler mikro çatlakları yavaşlatarak sünekliğe katkıda bulunmuşlardır. Bundan dolayı bu lifler çevre dostu yapı malzemesi arayışında tercih konusu olabilir (Ahmad ve ark. 2023).

Susurluk ve diğerleri 2024 yılında doğal kapok ve hindistancevizi liflerinin beton karışımlarında kullanılarak sürdürülebilir, termal olarak yalıtılmış ve dayanıklı beton tasarımları geliştirmeyi amaçlamışlardır. Aynı zamanda, bu liflerin betonun mekanik, termal ve sürdürülebilirlik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bu iki lifin tercih sebebi düşük maliyetli, çevre dostu ve yerel olarak temin edilebilir olmaları nedeniyle temin edilebilir olmalarıdır. %0,5 1 ve 1,5 oranlarında lif içeren beton karışımları yapılmıştır. Basınç dayanımı eğilme dayanımı ısı iletkenliği incelenmiş bunlara ek olarak karbon ayak izi ve enerji verimliliği gibi çevresel analizleri de yapılmıştır. Diğer çalışmalarda da olduğu gibi lifler betonun basınç dayanımını düşürmüş eğilme dayanımı artışı ısı iletkenlik katsayısını düşürürerek ısı yalıtımına katkı sağlamıştır. Betonun karbon ayak izini düşürerek çevreye verilen olumsuz etkiyi düşürmüştür. En iyi sonuçları ise %1 lif oranında vermiştir. Kapok lifleri, yüksek boşluk oranı (%90) ve düşük yoğunluk (0,29 g/cm³) ile termal yalıtımda üstün performans sergilemiştir. Hindistancevizi lifleri, deniz suyuna dayanıklılık ve darbe direnci gibi özelliklere sahiptir (Susurluk ve ark. 2024).

Kartal ve diğerleri 2019 yılında yaptıkları çalışmada ise cam ve bambu liflerinin vinilester reçine matrisli kompozitlerde kullanımının mekanik özelliklere etkilerini incelemektedir. Çalışmada, farklı oranlarda lif/reçine ağırlık kombinasyonları ile üretilen kompozitler değerlendirilmiştir. Eğilme dayanımında cam lifi en iyi sonuçları vermiştir. Bambu lifi ise, eğilme dayanımını artırmakta etkili olmuş ancak cam lifi ile kombinasyonu daha yüksek sonuçlar üretmiştir. Cam lifi takviyeli kompozitler en yüksek darbe dayanımına sahiptir. Bambu lifinin darbe dayanımına olumlu katkı sağladığı ancak cam lifi kadar etkili olmadığı tespit edilmiştir. Mekanik özellikler açısından cam lifine kıyasla daha düşük performans göstermiş olmasına rağmen çevre dostu ve ekonomik bir alternatif olarak değerlendirilmiştir. Bambu ve cam lifi kombinasyonları ise çekme ve eğilme mukavemetleri açısından daha dengeli sonuçlar sağlamış ve her iki lifin avantajlarını birleştirmiştir (Kartal ve ark. 2019).

Karthikeyan Kumarasamy 2020 yılında bambu lifinin betonun basınç, çekme ve eğilme dayanımlarını artırmak için nasıl kullanılabileceğini incelemiştir. Araştırma, % 0.5 ile % 2 oranında bambu lifi eklenmesinin dayanımı artırdığını, ancak %2.5'te düşüş yaşandığını göstermiştir. Sonuçlar, bambu lifinin çevre dostu ve düşük maliyetli bir takviye malzemesi olarak özellikle deprem dayanıklı yapı inşasında kullanılabileceğini ortaya koyuyor (Kumarasamy, 2020).

Aral 2006 yılında yapmış olduğu çalışmada betona karma lif ekleyerek betonun mekanik davranışını incelemiştir. Çelik lifler betonda tokluğu ve dış etkilerde darbeye karşı dayanımı artırır. Çelik lifli betonlar darbelere karşı dayanıklı olduğundan dolayı askeri yapılarda, beton yollarda ve dayanıklı olması gereken diğer yapılarda kullanılır. Betonda kullanılabilecek lifler çok çeşitlidir. Betonda kullanılacak lifler betondan beklenen özelliklere ve betonun daha iyi olması gereken özelliklerine göre seçilir. Tek tip lif kullanılabileceği gibi farklı lifler de birlikte kullanılabilir. Farklı liflerin bir arada kullanıldığı betonlara karma lifli betonlar denir. Yapılan çalışmada narinliği ve boyu farklı olan çelik lif ve % 0,05 oranında polipropilen lifler kullanılmıştır. Mikro polipropilen lif ile farklı miktarlarda mezo çelik lif tek tek veya karma olarak kullanılan numuneler üretilmiştir. Deneylerde kullanılan çelik liflerden ikisi ucu kancalı şekilde biri ise düzdür. Çelik fiber içermeyen bir seri, hacimce % 2 lik çelik fiber içeren 11 seri ve polipropilen fiber içeren 11 seri üretilmiştir. Kullanılan polipropilen fiberin uzunluğu 20 mm'dir. Hepsinde % 0,05 polipropilen lif sabit tutulmuştur. Toplamda % 2,05 oranında lif içeren beton karışımları oluşturulmuştur. Prizma, silindir ve disk numuneler üretilmiştir. Bulunan sonuçlar Design Expect programıyla değişkenlerin analizi yöntemi ile optimize edilmiştir. Karma liflerin kullanılmasıyla birlikte lifler farklı safhalarda devreye girerek çatlakların ilerlemesini yavaşlatmıştır. İyi karışmayan çelik lifler ise çatlakların büyümesine ve ilerlemesine yol açmıştır. Yarmada çekme dayanımı sonuçlarına göre karma lifin tek çeşit liften iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Çelik lif içermeyen kompozitlerin gevrek davranış gösterdiği ortaya çıkmıştır. Betona eklenen çelik lifler betonun bu olumsuz durumunu ortadan kaldırıp sünek davranış göstermesini sağlamış ve ani göçme ihtimalinin en aza indirilmesine katkı sağlamıştır. Çelik lif ilave edilmesi ile beton basınç dayanımında azalma ve az miktarda artış gözlenmiştir. Artış ise en fazla mezo lifli karışımda olmuş, orta narinlikte lif kullanılmasının ise basınç

dayanımında azalmaya neden olduğu görülmüştür. Mezo ve makro liflerin bir arada kullanıldığı karma karışımlarda yarmada basınç dayanımı da güzel sonuçlar vermiştir. (Aral, 2006)

Arazsu 2012 yılında yapmış olduğu çalışmada farklı karışım oranlarına sahip polipropilen lifinin taze ve sertleşmiş beton özelliklerini incelemiştir. Beton yüzyılı aşkın süredir tüm dünyada yapı sektöründe kullanılır ve gittikçe kullanımı artan bir malzemedir. Betonun en önemli olumsuz özelliği çekmeye karşı direncinin yüksek olmamasıdır. Betondan kullanım amacına ve kullanıldığı yere göre farklı performanslar beklenmektedir. Bu performanslar normal betondan farklı olarak özel betonlarla karşılanabilir. Bu özel beton türlerinden biri de lifli betondur. Lifler üretildikleri malzemelerin farklı özelliklere sahip olmasından dolayı çok çeşitli olabilir. Metalik, cam, polimerik, mineral ve doğal lifler örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada polimerik liflerden biri olan polipropilen lifi tercih edilmiş, farklı tiplerde ve değişik hacim oranlarında kullanılan polipropilen lifler kullanılmıştır. Bu liflerin kullanılmasıyla birlikte taze ve sertleşmiş betonun özellikleri araştırılmıştır. Polipropilen, hem dayanıklılık ve esneklik gerektiren ürünlerin imalinde hem de başka ürünlerin içine konularak kullanılabilir. Polipropilenin kullanım alanı çok fazladır. Bu tez çalışmasında amaç polipropilen lifli betonların taze ve sertleşmiş beton özelliklerini tespit etmektir. Bunun için hazırlanan numuneler üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda eğilme-çekme dayanımları için 100×100×500 mm boyutlarında kiriş numuneler, beton basınç dayanımları için 150×150×150 mm standart küp numuneler ve durabilite deneyleri için 100×100×100 mm küp numuneler üretilmiştir. Kullanılan liflerden; A tipi yumuşak ve küme halinde ve B tipi ise serttir ve plastiktir kıvamdadır. Yapılan çalışmada A tipi lifle oluşturulan lifli beton uygulamada en çok kullanılan liftir. Lif oranının betonun özellikleri üzerindeki etkisini incelemek asıl amaçtır B tipi lif ise sadece kıyas yapmak amacıyla kullanılmıştır. Hazırlanan numunelere çökme (slump), basınç, eğilme -çekme, yarma, kapiler su emme, böhme aşınma gibi deneyler yapılmıştır. W/C oranı 0,50 olan beton karışımlarında lif oranı % 1 olarak kullanıldığında basınç dayanımlarında artış gözlenirken lif oranı % 2 ye çıkarıldığı zaman basınç dayanımlarında şahit betona göre azalma gözlenmiştir. Yarma dayanımında lif oranı değişkenlik göstermiş, bir optimum değere kadar lif oranı arttıkça yarma dayanımı artmış optimum

değere geldikten sonra lif oranı arttıkça yarma dayanımı düşmüştür. W/C oranı 0,50 olan numunelerde eğilme- çekme dayanımı hem % 1 hem de % 2 lif oranında lifsiz betona göre artış göstermiştir. Lif oranı arttıkça betonun dayanımının arttığı görülmektedir. Benzer şekilde, Lifin betonun aşınma dayanımı ve kılcal su emme özelliklerini de olumlu yönde etkilediği görülmektedir. (Arazsu, 2012)

Açıklık ve diğerleri 2005 yılında yapmış oldukları çalışmada miskantus bitkisinin betonda lif katkısı olarak kullanılmasını incelemişlerdir. Ses ve ısı yalıtımının sağlanması için, çimentonun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve ekonomik açıdan iyi olmasından dolayı gelişmekte olan ülkelerde bitkisel lif kullanımı yaygınlaşmıştır. Lif katkısında asıl amaç gevrek olan malzemeye süneklilik kazandırmak ve enerji yutma kapasitesini yükseltmektir. Bu çalışmada miskantus bitkisi kullanılmıştır. 150×150×150 mm küp, 150×300 mm silindir, 100×100×500 mm kiriş numuneleri farklı çimento ve lif oranları kullanılarak üretilmiştir. Miskantus bitkisini toz olarak, 1-2 cm boyutunda kesik ve toz+kesik olarak kullanılmışlardır. Ayrıca kirişlerde minimum donatı oranı dikkate alınarak çelik donatılar yerine donatı olarak miskantus bitkisi yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Hazırlanan numunelere % 2 ve % 4 hacim oranlarında toz miskantus, kesik miskantus, toz+kesik miskantus şeklinde eklemeler yapılmıştır. Küp numunelerde yapılan basınç deneylerinde % 2 ve % 4 toz lif eklenmesi durumunda her iki durumda basınç dayanımının arttığı gözlenmiştir. Kesilerek eklenen lifli numunelerde ise genellikle basınç dayanımında düşüşler olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak da miskantus bitkisinin kesik halde olduğu zaman % 70' e kadar su emmesi ve bu suyu bünyesinde muhafaza ederek deformasyona uğramasıdır. Toz haldeki miskantus bitkisinin su emmesi ise daha düşüktür ve % 17 civarındadır. Toz ve kesilmiş lifin bir arada kullanılmasında lif oranı arttıkça basınç dayanımında da artış olmuştur, % 2 oranında pek artış olmamış fakat % 4 oranında kullanıldıklarında basınç dayanımı % 28' e kadar yükselmiştir. Kiriş numunelerinde ise toz lif kullanılan numunelerin eğilme dayanımında az miktarda artış gözlenmiş, kesik lif kullanılanların eğilme dayanımlarında ise düşme olduğu gözlenmiştir. Karışık olarak katılan liflerde ise eğilme dayanımı olumsuz yönde etkilenmiştir. Bitki su emme kapasitesi fazla olan bir bitkidir bu yüzden betona katıldıktan sonra beton karışımına su eklenmesi gerekmektedir. Kesik halde konan fiberler pürüzsüz bir yüzeye sahiptirler ve bu pürüzsüzlük aderansa bağlı mukavemet

düşüşlerine sebebiyet vermiştir. Tüm bu deneylerin sonucunda toz lif olarak miskantus bitkisinin betona eklenmesiyle birlikte yüksek dozajlı betonlarda basınç dayanımına olumlu yönde katkı sağlayacağını gözlemlemişlerdir. (Açıkel ve ark., 2005)

Sarıkaya ve Susurluk 2019 yılında yapmış oldukları çalışmalarda polipropilen lifinin betonda kullanılmasıyla birlikte betonun mekanik özelliklerindeki değişimleri incelenmişlerdir. Polipropilen termoplastiklerin içinde yer alan hafif bir polimer olması ve günlük hayatta kullanılan birçok plastiğin hammaddesi olması sebebiyle önemli bir yer kaplamaktadır. Betondaki çimento ağırlık oranının % 1, % 2, % 3'ü oranında polipropilen lif kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmaların sonucu olarak liflerin, polipropilen lifli beton olarak kullanılması durumunda kıvamı akışkan olan betonlarda çökme miktarını azalttığı gözlemlenmiştir, işlenebilirlik açısından olumsuz yönde etkilendiği düşünülmüş olsa da bu durum taze betondaki kohezyon bakımından önemli bir özelliktir. Polipropilen lifli numunelerin lif miktarları arttıkça ultrases hızlarında bir atış gözlemlenmiştir. Lif miktarı arttıkça basınç dayanımı azalmış fakat eğilme dayanımı artmıştır. Fabrikalar ve geniş zeminlerdeki saha betonu imalatlarında polipropilen lifli betonların kullanılabileceği bu çalışma ile gözlemlenmiştir. (Susurluk ve Sarıkaya, 2019)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyaller

Bu çalışmada, numunelerin hazırlanmasında hidrolik bağlayıcı olarak TS EN 197-1 standardına uygun olarak üretilmiş olan portland çimentosu ve uçucu kül kullanılmıştır (TSEN 197-1, 2000) Çimentonun ve uçucu külün kimyasal bileşenleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Agrega olarak standart rılem kumun kullanıldığı harçlarda akrilik/polyester lifi kullanılmıştır. Liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri de Çizelge 3.2'de verilmiştir. Harç karışımlarının oluşturulması ve deneylerin yapılması amacıyla Uşak Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı laboratuvarı, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi ve Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Mekanik Laboratuvarından yararlanılmıştır.

Çizelge 3.1. Kullanılan çimento ve uçucu külün kimyasal bileşimleri

Bileşenler	CEM I 42,5 R (%)	Uçucu Kül
SiO ₂	19,10	18,20
Fe ₂ O ₃	2,65	2,00
Al ₂ O ₃	5,19	12,00
CaO	63,40	67,0
MgO	1,83	1,80
SO ₃	2,95	1,00
Na ₂ O	0,22	1,20
K ₂ O	0,94	1,15

Çizelge 3.2. Akrilik ve polyester lifinin fiziksel ve mekanik özellikleri

	Akrilik lifi	Polyester lifi
<u>Fiziksel Özellikler</u>		
Yoğunluk (gr/cm ³)	1,14	1,38
Nem (%)	2-4	0,4-0,8
Uzunluk (mm)	30-40	30-50
Çap (µm)	10-20	10-15
<u>Mekanik özellikler</u>		
Kopma mukavemeti (N/mm ²)	20-30	30-40
Başlangıç modülü (GPa)	3-4	2-3

3.1.2. Lifler

Bu çalışmada kullanılan akrilik/polyester karışımlı lif numunesinin görseli Resim 3.1’de gösterilmiştir.



Resim 3.1. Akrilik polyester lif

3.2. Yöntem

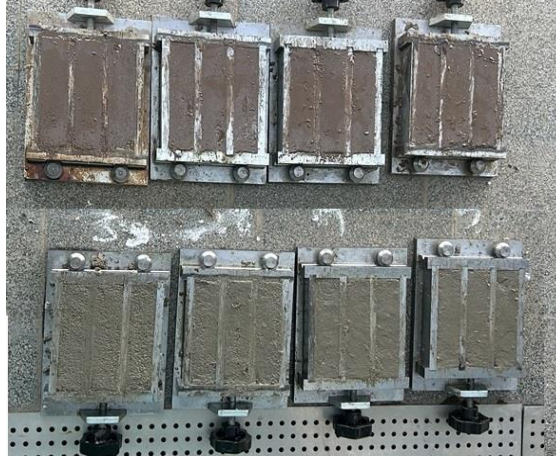
3.2.1. Harçların üretimi

Bu deneysel çalışmada, akrilik/polyester karışımlı lif ilavesinin harç numunelerinin mekanik özellikleri, yalıtım ve mikro yapı üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, 8 farklı harç karışımı oluşturulmuştur. Oluşturulan harç karışımlarının 4 tanesi %100 çimentodan, diğer 4 tanesi ise ağırlıkça çimento (%50) ve uçucu külden (%50) oluşan ikili bağlayıcı karışım ile hazırlanmıştır. Çizelge 3'te üretilen harç numunelerine ait karışım oranları görülmektedir. Numuneler; N-0, N-0.5, N-1, N-1.5, NU-0, NU-0.5, NU-1 ve NU-1.5 olarak kodlanmıştır. Lif içermeyen ve tek bağlayıcı kullanılan numune N-0 olarak, lif içermeyen ve ikili bağlayıcı karışım kullanılan numune NU-0 olarak kodlanmıştır. Sondaki "0", "0.5", "1" ve "1.5" etiketleri harç karışımına eklenen lif miktarını yüzde olarak göstermektedir. Karışım oranları Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Karışım oranları

Karışım	Çimento (gr)	Uçucu Kül (gr)	Kum (gr)	Su (gr)	Lif (gr)
N-0	450	-	350	225	-
N-0.5	450	-	350	225	2,25
N-1	450	-	350	225	4,50
N-1.5	450	-	350	225	6,75
NU-0	225	225	350	225	-
NU-0.5	225	225	350	225	2,25
NU-1	225	225	350	225	4,50
NU-1.5	225	225	350	225	6,75

Hazırlanan numuneler Resim 3.2' de gösterilmiştir. Yapılan deneylerin hepsinde 40x40x160 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalar toplamda 8 seri harç karışımı üzerinde yapılmıştır. Bu karışımlardan iki tanesi kontrol karışımı olup diğerleri akrilik/polyester lifli karışımlardır. Harçlar, üretimlerini takiben 24 saat sonra kalıptan alınıp 20±2 °C kirece doygun kür havuzlarında 28 gün kür edilmişlerdir (Resim 3.3).



Resim 3.2. Hazırlanan numuneler



Resim 3.3. Hazırlanan numunelerin ve kür havuzundaki hali

3.2.2. Deneyler

Bu çalışmada hazırlanan harç numuneler beton deneylerine tabi tutulmuştur. Bu deneyler basınç deneyi, eğilme deneyi, sem analizi deneyi ve ısı iletkenlik katsayı deneyi olmak üzere 4 tanedir. Kür havuzundan çıktıktan sonra, bir gün laboratuvar ortamında bekletilen harçlar üzerinde 28 günlük basınç ve eğilme dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde TS EN 12390-3 standardına göre basınç dayanım testi, TS EN 12390-5 standardına göre eğilme dayanım testi yapılmıştır [TSEN 12390-3 ve TS EN 12390-5, 2019]. Basınç deneyine tabi tutulan numuneler Resim 3.4' de, Eğilme deneyine tabi tutulan numuneler ise Resim 3.5' te gösterilmiştir.



Resim 3.4. Basınç deneyi



Resim 3.5. Eğilme deneyi

Sem analizi deneyinde numunelerin kırılma yüzeyi üzerinden alınan örneklerin elektron mikroskobu görüntüleri çekilerek mikro yapı incelemesi gerçekleştirildi. Liflerin kırılma sonrası yüzey özellikleri, matris ile birleşim noktasındaki mikro yapının deney sonrası durumları görüntülenerek liflerin mekanik davranışları hakkında mikro ölçekte değerlendirmeler yapıldı. Akrilik/polyester lif içeren ve kontrol numuneleri üzerinde mikroyapı incelemeleri Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM)'nde bulunan LEO 1430 VP model W (Tungsten) filament ile çalışan taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazında yapılmıştır. Tüm seriler için SEM görüntüleri alınmıştır. Numuneler kırık yüzeyli hazırlanmış olup, yüzeyleri altın ile kaplanmıştır. SEM cihazı Resim 3.6'da gösterilmiştir.



Resim 3.6. SEM Cihazı

Bir maddenin iki yüzeyi arasında sıcaklık farkı bulunması durumunda ısı iletimi gerçekleşir. Isı iletimi sıcaklığın fazla olduğu taraftan az olduğu tarafa doğru gerçekleşir. Malzemelerin ısı iletkenlik özellikleri, ısı iletim katsayısı ile belirtilir. Her malzemenin ısı iletkenlik özelliği birbirinden farklılık gösterir. Isı iletim katsayısı büyük olan maddeler ısıyı çok çabuk iletirken düşük olan maddeler ısıyı daha geç iletir. Beton numunelerinin ısı iletkenlik katsayısını belirlemek için, deneyler Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Numunelerin ısı iletkenlik katsayıları, ASTM C 1113-09 (ASTM C 1113-09, 2009) standardına göre QTM-500 cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Her numunenin ısı iletkenlik katsayısı çeşitli konumlar için beş kez test edilmiştir. Isı iletkenlik deney aleti Resim 3.7' de verilmiştir.



Resim 3.7. Isı iletkenlik deney aleti

4. DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada, akrilik/polyester lif karışımı içeren harç numunelerinin basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ısı yalıtımı ve mikro yapı özellikleri analiz edilmiştir. Bu bölümde yapılan tüm deneylerin sonuçları tablo ve grafik olarak ayrı ayrı verilmiştir.

4.1. Basınç deneyi sonuçları

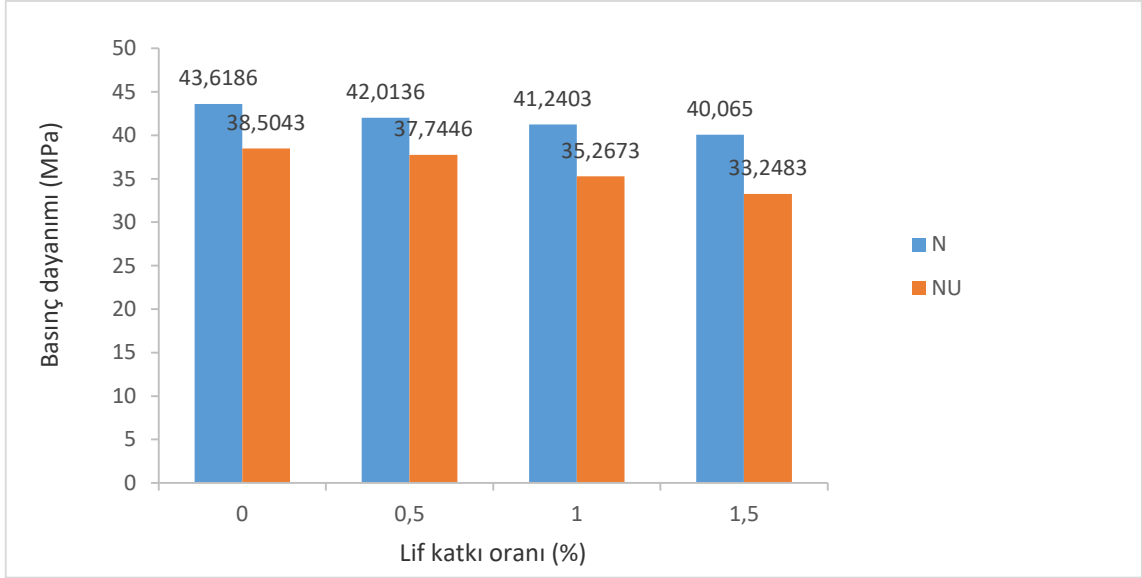
Tahribatlı test yönteminde harç numuneler için tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Tek eksenli basınç deneyi TSE EN 12390-3 standartı ve deneylerde kullanılan deney aleti TS EN 12390-4 standartına uygun olarak yapılmıştır. (TSE EN 12390-3 ve TSE EN 12390-4, 2019) Tek eksenli basınç deney için Uşak Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarında bulunan tek eksenli basınç presi kullanılmıştır. Harç numunelerinin 28. günlük basınç dayanımları ölçüm sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Basınç deneyi testi sonuçları

Numune	BASINÇ DAYANIMI (Mpa)		
NB	43,745	43,256	43,855
N0,5	42,101	41,199	42,741
N1	41,525	41,474	40,722
N1,5	40,178	40,141	39,876
NU	38,145	38,947	38,421
NU0,5	37,932	37,444	37,858
NU1	35,217	35,444	35,141
NU1,5	33,512	33,122	33,111

Şahit beton numunesinin basınç deneyi test sonucu yaklaşık 43,6186 MPa’lık bir mukavemet değerine, lif katkısı içermeyen uçucu kül numunesi ise 38.5043 MPa’lık bir mukavemet değerine ulaşmıştır. Çimentolu harç karışımlarının %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında lif eklenmesi basınç dayanımında sırasıyla %3.67, %5.45 ve %8.14 oranında azalma görülmüştür. Çimentolu ve uçucu küllü harç karışımlarına %0.5, %1 ve %1.5

içerik oranlarında lif eklenmesi basınç dayanımında sırasıyla %1,97, %8,40 ve %13,65 oranında azalmaya neden olmuştur. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere, 28 günlük harç numunelerinin dayanımları, lif katkı oranı arttıkça düşme eğilimi göstermiştir.



Şekil 4.1. Numunelerin basınç deneyi test sonuçları

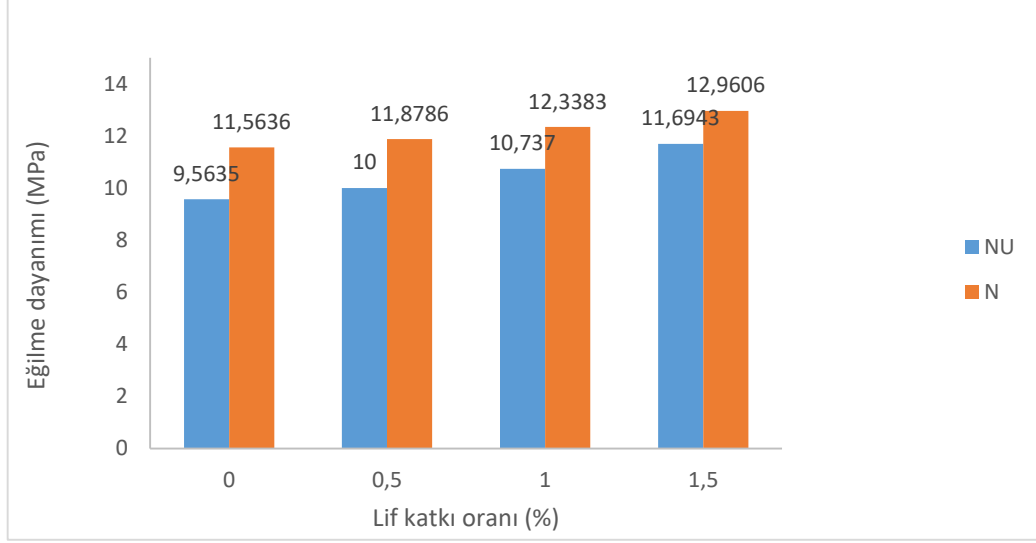
4.2. Eğilme Deneyi Sonuçları

Kiriş numuneler için 3 nokta eğilme deneyi uygulanmıştır. $40 \times 40 \times 160$ cm boyutundaki harç numuneleri için Eğilme deneyi TSE EN 12390-5 standartına uygun olarak yapılmıştır (TSE EN 12390-5, 2019). Üç eksenli basınç deney için Uşak Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarında bulunan üç eksenli basınç presi kullanılmıştır. Harç numunelerinin 28. günlük eğilme dayanımları ölçüm sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Eğilme Deneyi sonuçları

Numune	EĞİLME DAYANIMI			28. Gün Ortalama Eğilme Dayanımları (Mpa)
	(Mpa)			
NB	11,711	11,565	11,415	11,5636
N0,5	11,985	11,777	11,874	11,8786
N1	12,345	12,415	12,255	12,3383
N1,5	13,005	12,878	12,999	12,9606
NU	9,111	9,110	9,158	9,5635
NU0,5	9,888	9,989	10,125	10,0000
NU1	10,777	10,545	10,889	10,7370
NU1,5	11,556	11,655	11,872	11,6943

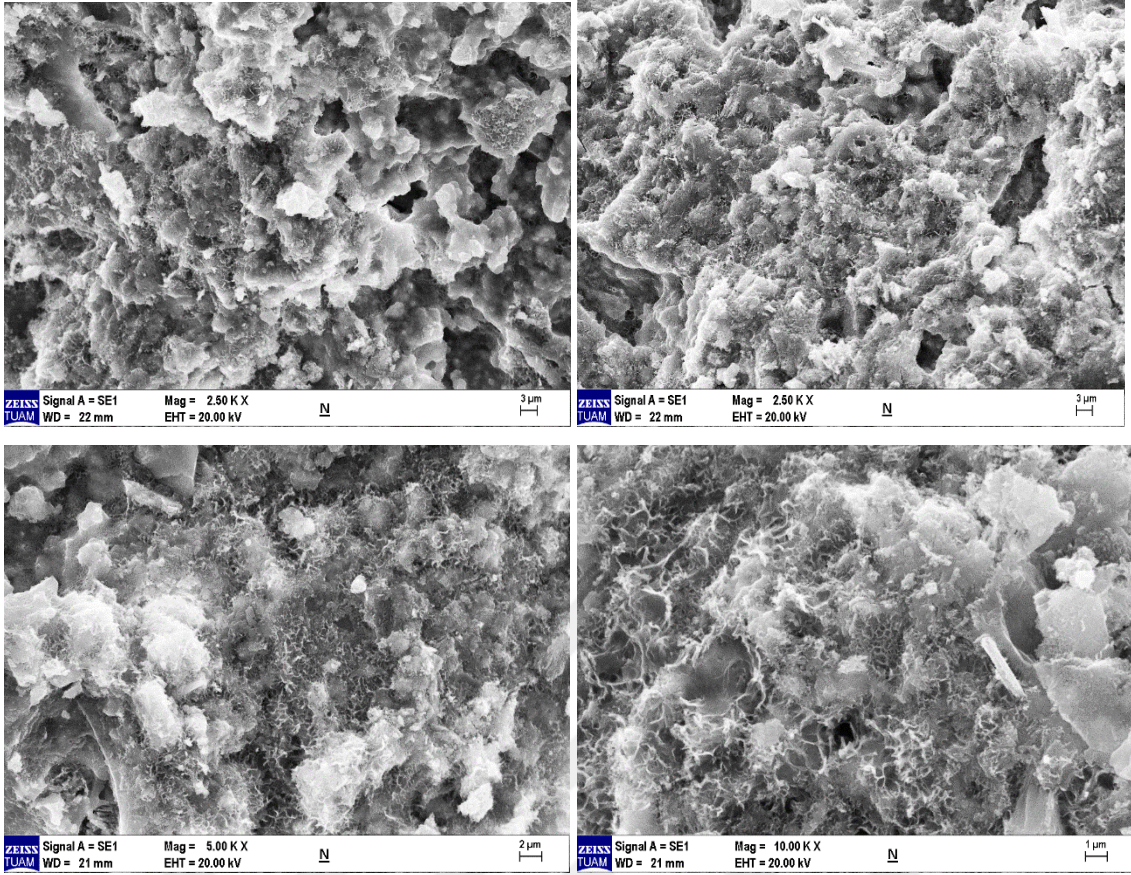
Şahit beton numunesinin eğilme deneyi test sonucu yaklaşık 11.5636 MPa'lık bir eğilme dayanımı değerine, lif katkısı içermeyen uçucu kül numunesi ise 9.5635 MPa'lık bir eğilme dayanımı değerine ulaşmıştır. Çimentolu harç karışımlarının %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında lif eklenmesi eğilme dayanımında sırasıyla %2.72, %6.69 ve %12.08 oranında artış görülmüştür. Çimentolu ve uçucu küllü harç karışımlarına %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında lif eklenmesi basınç dayanımında sırasıyla %4.56, %12.27 ve %22.28 oranında artış görülmüştür. Şekil 9'da görüldüğü üzere, 28 günlük harç numunelerinin eğilme dayanımı, lif katkı oranı ne kadar yüksekse eğilme dayanımının o kadar yüksek olduğu yönünde bir eğilim göstermiştir.



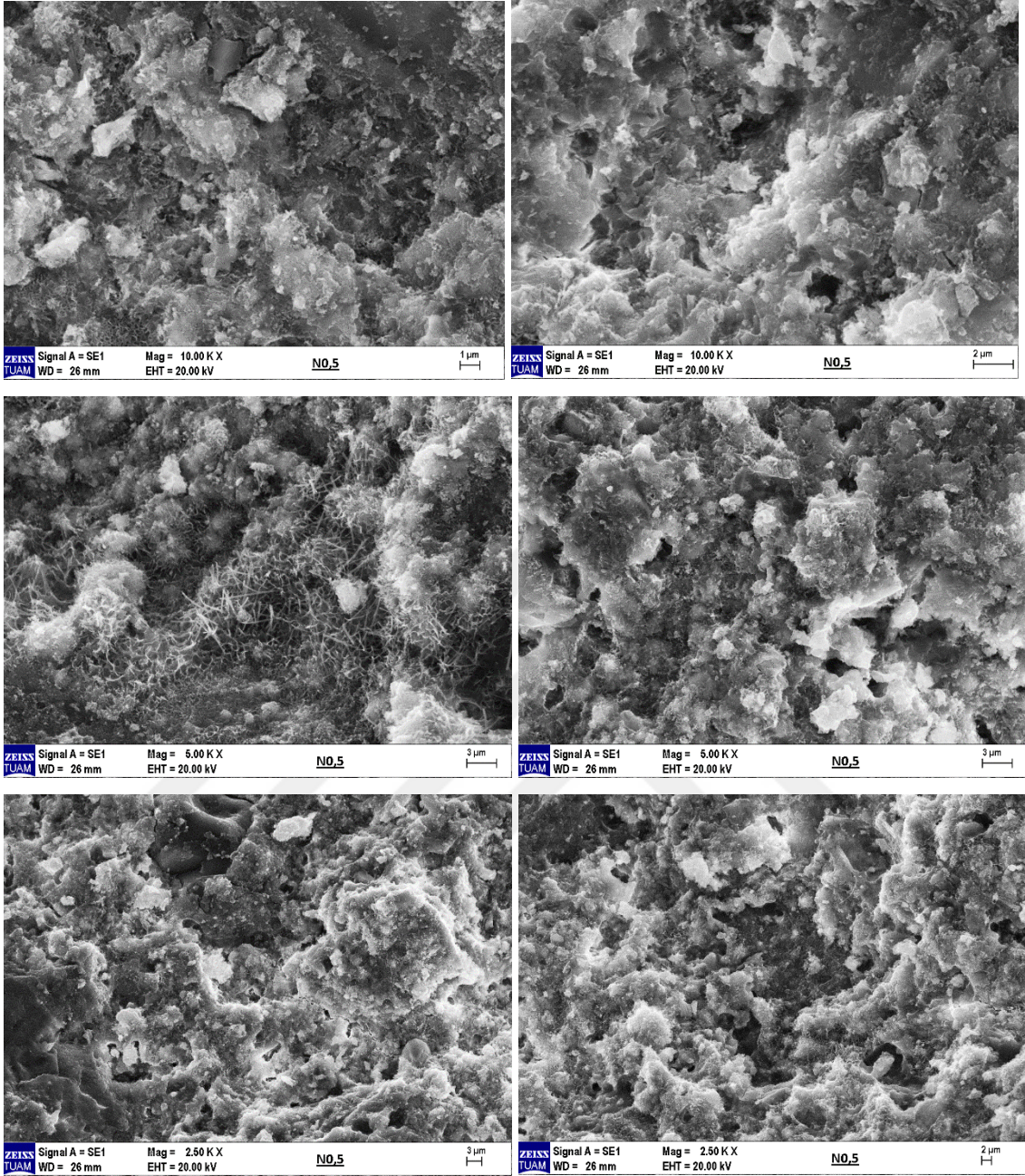
Şekil 4.2. Eğilme dayanımı sonuçları

4.3. Sem analizi deneyi sonuçları

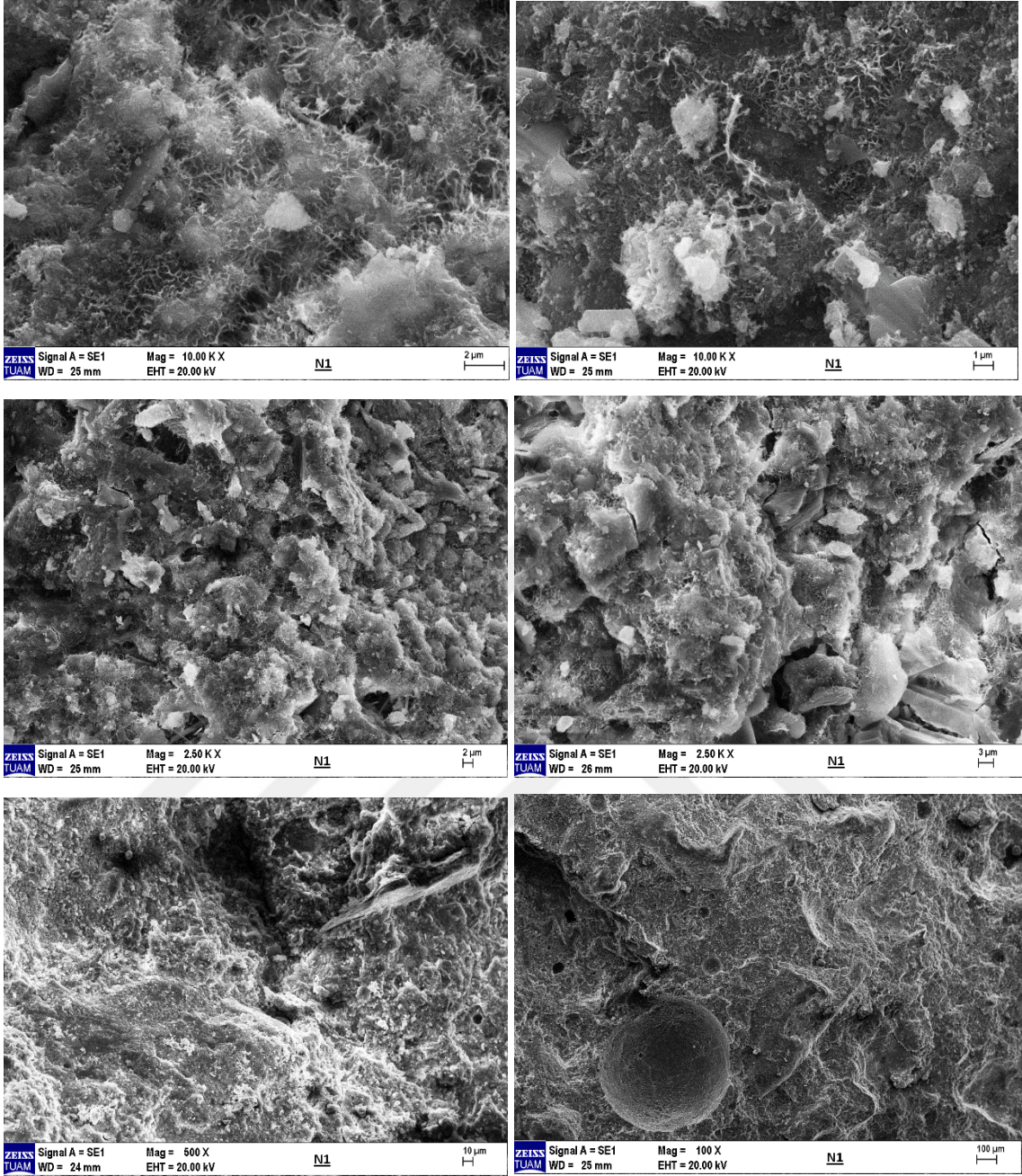
SEM analiz deneyinde numunelerin kırılma yüzeyinde alınan numunelerin elektron mikroskobu görüntüleri alınarak mikro yapı incelemesi yapıldı. Liflerin kırılma sonrası yüzey özellikleri ve matris ile birleşim yerindeki mikro yapının deney sonrası durumları görüntülenerek, liflerin mekanik davranışları hakkında mikro ölçekte değerlendirmeler yapıldı. Sem analiz sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Çimento harçlı numunelerin SEM görüntüleri Resim 4.1’de, % 0,5 lif içeren çimento harçlı numunelerin SEM görüntüleri Resim 4.2’de, % 1 lif içeren çimento harçlı numunelerin SEM görüntüleri Resim 4.3’de, % 1,5 lif içeren çimento harçlı numunelerin SEM görüntüleri Resim 4.4’de verilmiştir. Çimento ve uçucu kül harçlı numunelerin SEM görüntüleri Resim 4.5’de, % 0,5 lif içeren çimento ve uçucu kül harçlı numunelerin SEM görüntüleri Resim 4.6’da, % 1 lif içeren çimento ve uçucu kül harçlı numunelerin SEM görüntüleri Resim 4.7’de ve % 1,5 lif içeren çimento ve uçucu kül harçlı numunelerin SEM görüntüleri ise Resim 4.8’te verilmiştir.



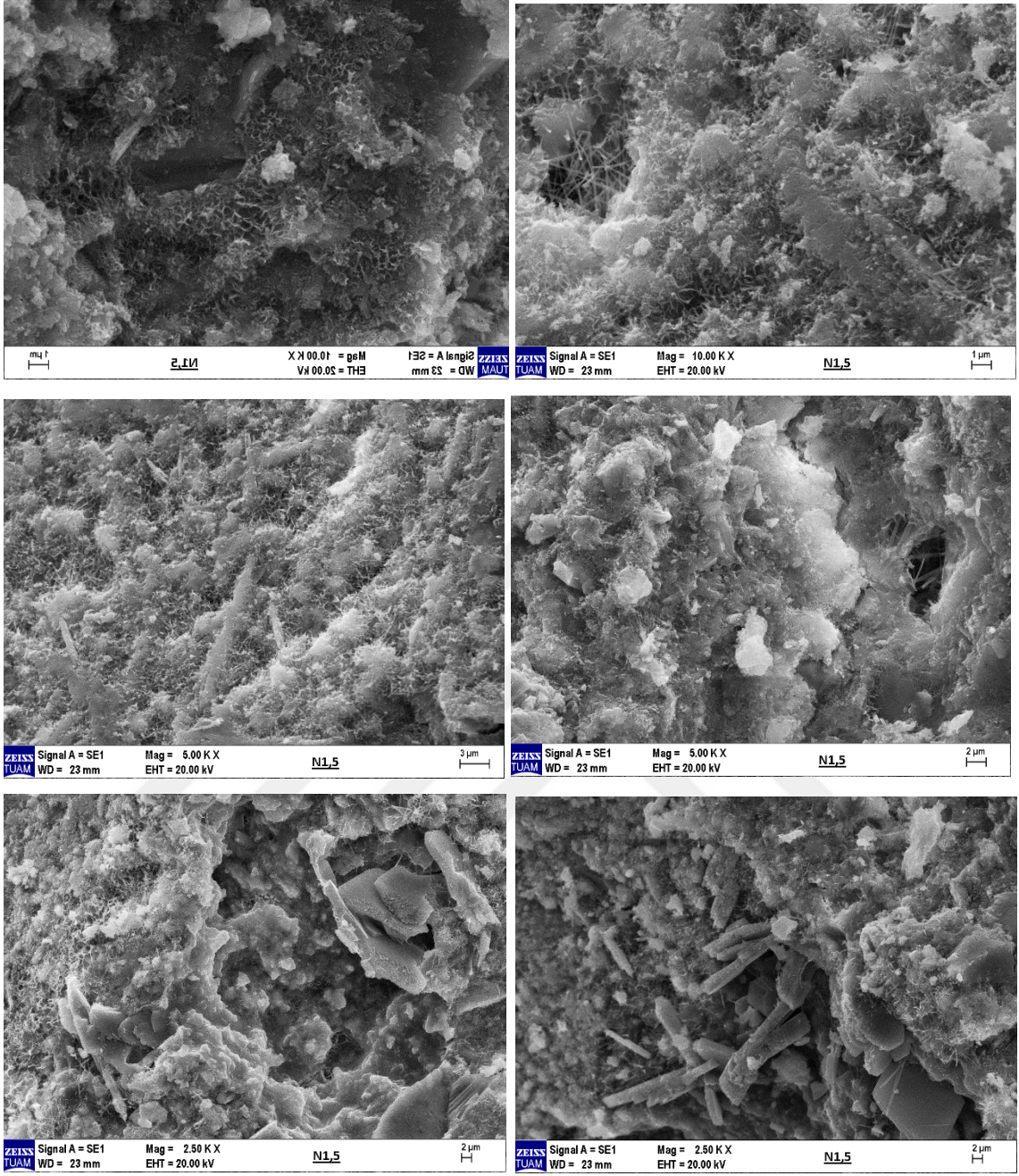
Resim 4.1. Lifsiz harç numunelerinin sem analizindeki görüntüleri (N)



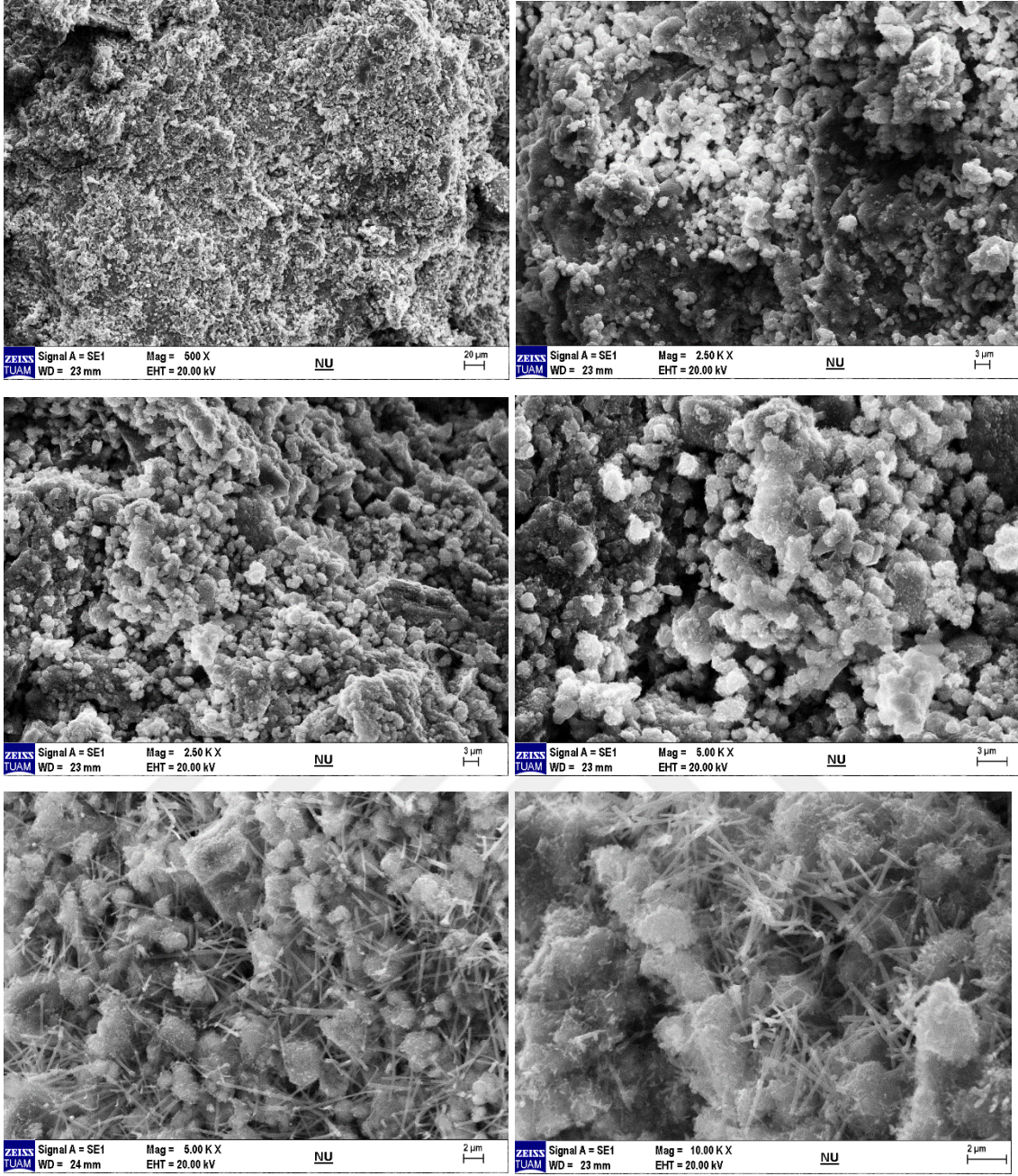
Resim 4.2. Lif oranı % 0,5 olan N0,5 harç numunelerinin sem analizindeki görüntüleri



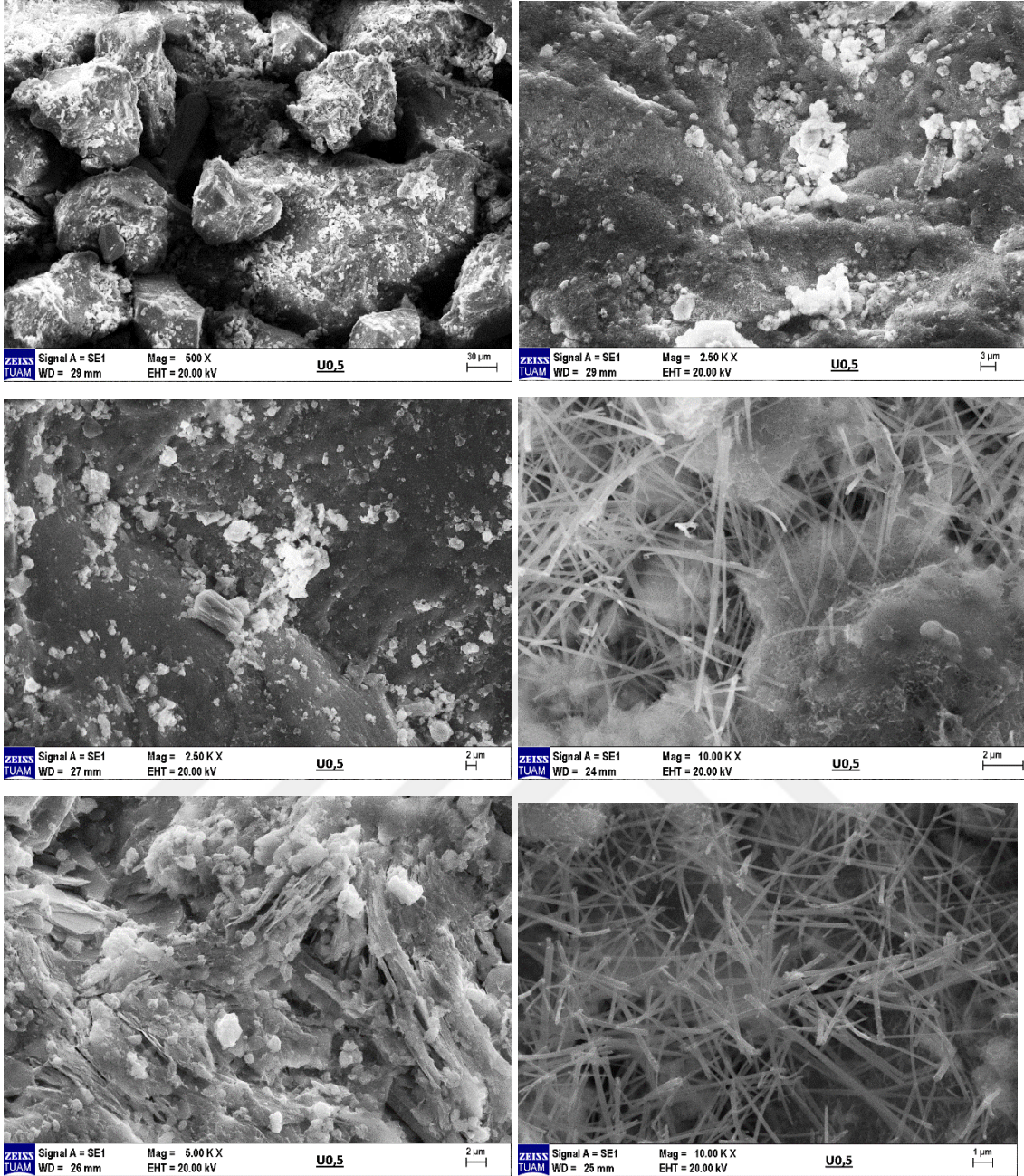
Resim 4.3. Lif oranı % 1 olan N1 harç numunelerinin sem analizindeki görüntüleri



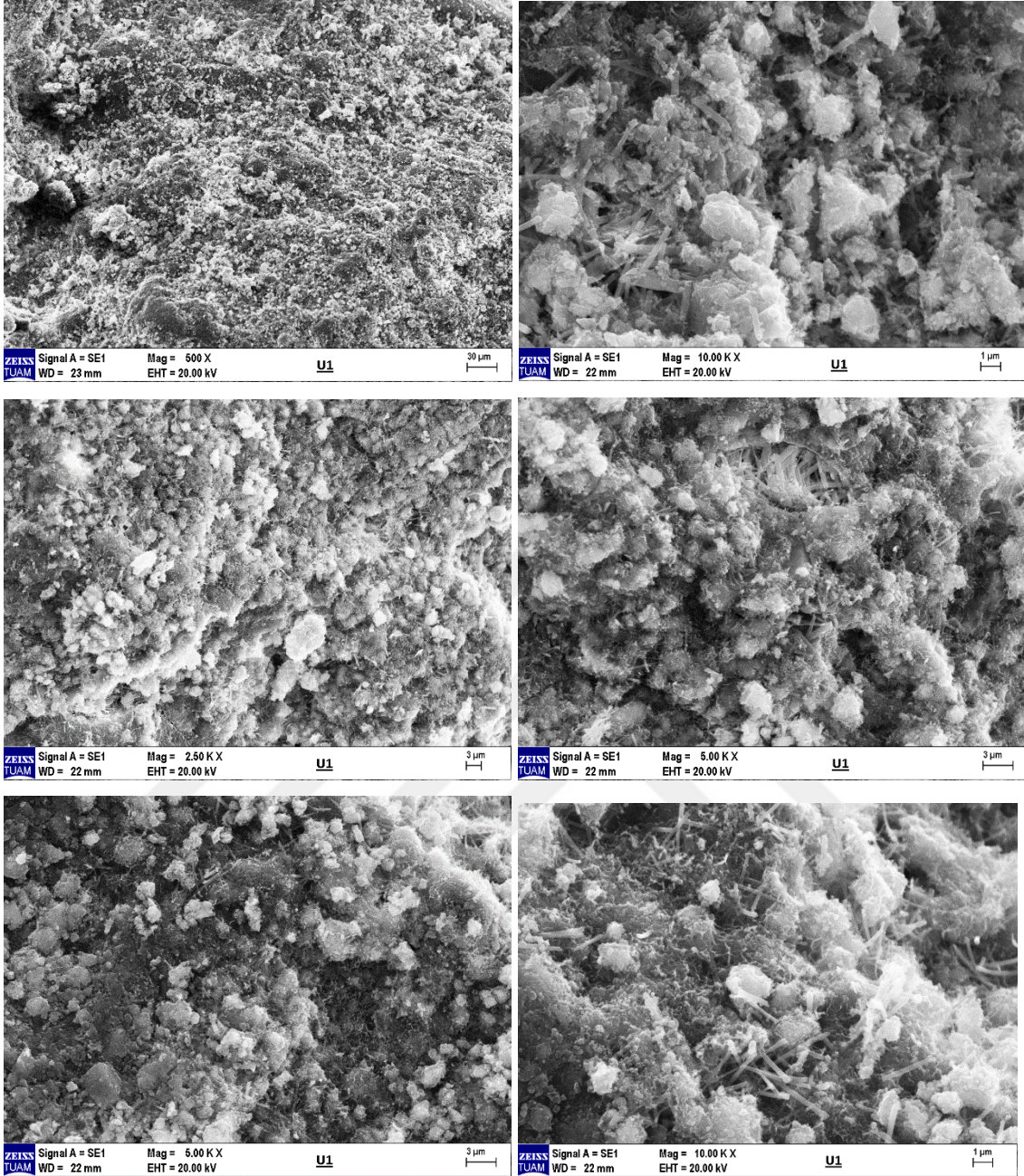
Resim 4.4. Lif oranı % 1,5 olan N1,5 harç numunelerinin sem analizindeki görüntüleri



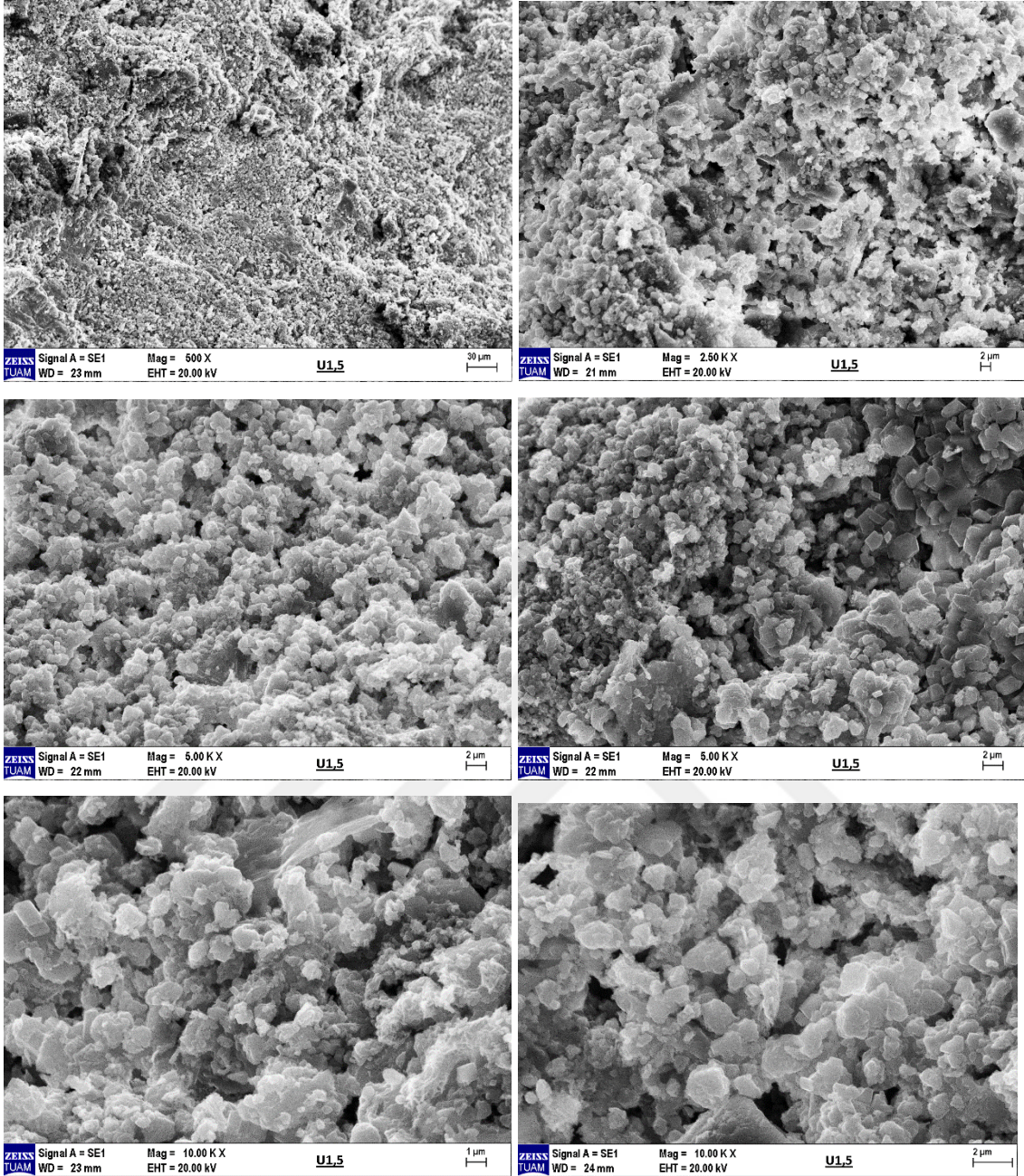
Resim 4.5. Lifsiz harç numunelerinin sem analizindeki görüntüleri (NU)



Resim 4.6. Lif oranı % 0,5 olan NU0,5 harç numunelerinin sem analizindeki görüntüleri



Resim 4.7. Lif oranı % 1 olan NU1 harç numunelerinin sem analizindeki görüntüleri



Resim 4.8. Lif oranı % 1,5 olan NU1,5 harç numunelerinin sem analizindeki görüntüleri

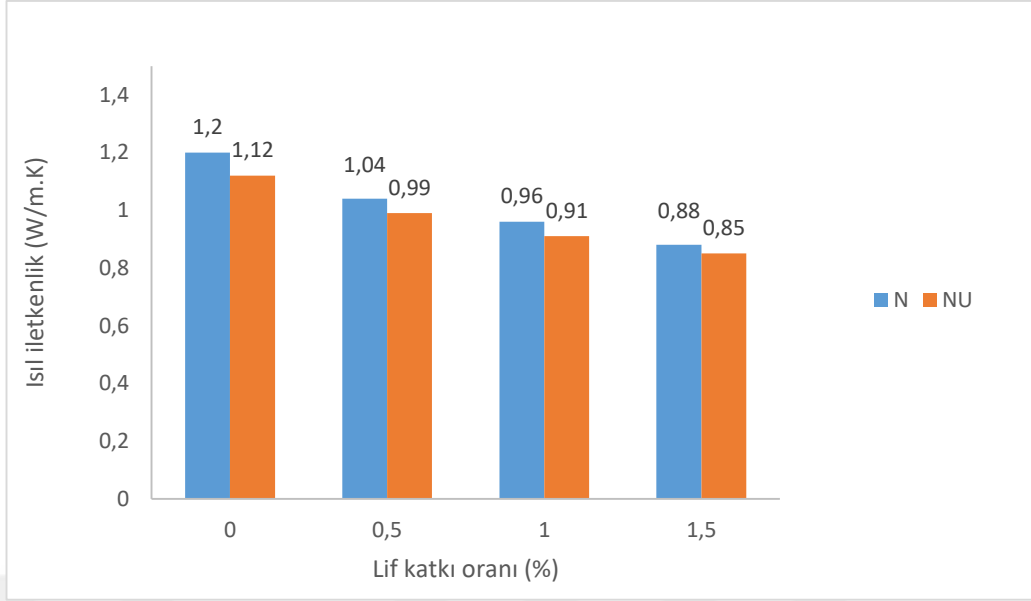
4.4. Isı iletkenlik katsayısı deneyi sonuçları

Isı iletkenlik deneyi için 40×40×160 mm lik dikdörtgen numuneler kesilerek 40×40×20 mm lik boyutlara getirilip kullanılmıştır. Her lifli seriden 3 numune ve şahit numune deneye tabi tutulmuştur. Numunelerin ısı iletkenlik deneyi için kararlı durum yöntemini kullanarak QTM-500 cihazını kullandık. Kararlı durum yönteminde genellikle ısıtılmalı plaka yöntemi kullanılır. Bu yöntemle ısıtılmış bir plakanın her iki tarafına simetrik olarak yerleştirilen plaka şeklindeki numunenin ortalama ısı iletkenliği bulunur. Numunelerin ısı iletkenliği deneyi sonuçları Çizelge 4.3.' da verilmiştir.

Çizelge 4.3. Isı iletkenlik katsayısı deney sonuçları

Numune kodu	Isı iletkenlik katsayısı (w/mk)
NB	1,20
N0,5	1,04
N1	0,96
N1,5	0,88
NU	1,12
NU0,5	0,99
NU1	0,91
NU1,5	0,85

Deney sonuçlarına bakıldığında şahit numunenin 1,20 w/mk ısı iletim katsayısına sahip olduğunu ve lifli numunelerin hepsinin bu değerin altında kaldığı görülüyor. Buradan yola çıkarak lifli betonlarla ilgili olarak ısı iletim katsayısını düşürüp ısı yalıtımına katkı sağlayacağını söyleyebiliriz. Isı iletkenlik katsayısı deneyinin grafiksel sonucu Şekil 4.3' de verilmiştir.



Şekil 4.3. Numunelerin ısı iletkenlik katsayıları

5. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada akrilik/polyester liflerin harçların içerisine ilave edilmesi ile meydana gelen değişimlerin incelenmesi yapılmış ve harç numunelerinde nasıl bir davranış sergileyeceği ve mekanik özelliklerine nasıl bir katkı sağlayacağı araştırılmıştır. Literatür çalışmaları incelenmiş ve bu çalışmalardan yola çıkarak çimentonun hacimce % 0,5, % 1 ve % 1,5 oranlarında lif katkısı ilave edilmiştir. Üretilen harç numunelerinden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Akrilik/polyester lif içeriği arttıkça basınç dayanım değeri azalmış fakat bu azalmanın bile standartların içinde kaldığı görülmüştür. Akrilik/polyester lif içeriği arttıkça eğilme dayanımı değerinde önemli oranda artışa neden olmaktadır. Ayrıca, akrilik/polyester lif içeriğinin %0.5'ten %1.5'e çıkarılması, eğilme dayanımında artışa yol açmaktadır.

Sem analizi deneyinde numunelerin kırılma yüzeyi üzerinden alınan örneklerin elektron mikroskobu görüntüleri çekilerek mikro yapı incelemeleri yapılmıştır. Liflerin kırılma sonrası yüzey özellikleri, matris ile birleşim noktasındaki mikro yapının deney sonrası durumları görüntülenerek liflerin mekanik davranışları hakkında mikro ölçekte değerlendirmeler yapılmış ve mekanik özelliklerine olumlu yönde katkı sağladığı belirlenmiştir.

Akrilik/polyester lif içeriği arttıkça ısı iletkenlik değerini önemli ölçüde düşürmüştür. Isı iletkenlik katsayısını çok düşürdüğü için ısı yalıtımına katkıda bulunabileceği söylenebilir. Ayrıca, akrilik/polyester lif içeriğinin %0.5'ten %1.5'e çıkarılması, ısı iletkenlik dayanımında artışa yol açmaktadır.

Bu deneysel çalışmada, son yıllarda sentetik bazlı materyaller arasında önemli hammadde kaynakları olarak öne çıkan akrilik/polyester karışımı lif kullanılmıştır. Bu liflerin kullanımı günümüzde inşaat sektöründe hem mekanik performans hem de yalıtım performansı açısından önemlidir. Özellikle, inşaat sektöründe bu performansları teşvik etmek amacıyla, sentetik bazlı bu liflerin düşük içeriğini harç karışımlarına entegre etmek faydalı bir tasarım yaklaşımı olarak görünmektedir.

KAYNAKLAR

Ahmad, j., Zhou, Z., Deifalla, A. (2023). Structural properties of concrete reinforced with bamboo fibers: a review, *Journal of Matireals Research and Technology*, 24(1), 844-865.

Alkan, G., (2004). Polipropilen lifli betonların mekanik özelliklerinin incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Aral, M. (2006). Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışına bir optimum tasarım, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Arazsu, U.(2012). Polipropilen lifli betonların taze ve sertleşmiş beton özellikleri, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.

ASTM C1113/C1113-09, (2009). Standart Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot wire (Platinum Resistance Thermometer Technique), ASTM International, West Conshocken, PA.

Bostancı, L. (2022). Atık cam tozu içeren alkali-aktive edilmiş cüruf harçlarının mekanik, por yapısı, termal yalıtıklık ve mikro yapı özellikleri. *Politeknik Dergisi*, 25(1), 75-87.

Chawla, K. K., (1998), *Fibrous Materials*, Cambridge University Press, United Kingdom

Ekinciöglü, Ö.(2003). Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı- bir optimum tasarım, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s8-13, İstanbul.

Erbaş M.,(2003), Polipropilen lifler ve betonun durabilitesine etkisi”, 5. Ulusal Beton Kongresi, 1-3 Ekim 2003, 593-603, İstanbul, TÜRKİYE

Ersoy, U., Özcebe, G.(2016). Betonarme, Evrim Yayınevi ve Bilgisayar San. Tic. Ltd. Şti, 384s, İstanbul.

Falkner, H., Huang, Z., Teutsch, M., (1995). Comparative Study of Plain and Steel Fibre Reinforced Concrete Ground Slab, *Concrete International*, 45-5.

Ilyas, K., Naycı, G., Demirer H.(2019). Cam ve Bambu Lifleriyle Takviyelendirilmiş Vinilester Kompozitlerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies.*,3(1), 34-37.

Karakule, F., Akakın, T.(2005). Hazır beton sektörünün gelişimi ve özel beton uygulamalarının Türkiye'deki durumu,16-18 Kasım 2005, 113-124s,6.Ulusal Beton Kongresi Yüksek Performanslı Betonlar, İstanbul,TÜRKİYE.

Khan, M., McNally, C. A. (2023). Holistic review on the contribution of civil engineers for driving sustainable concrete construction in the built environment. *Developments in the Built Environment*, 16100273.

Korkut, F., Türkmenoğlu, Z.F., Taymuş, R.B., Güler, S. (2017). Çelik ve Sentetik Liflerin Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, *ÖHÜ Müh. Bilim. Dergisi.*, 6(2), 560- 570.

Kozak, M. (2013). Çelik lifli betonlar ve kullanım alanlarının araştırılması, *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 3(5), 26-35.

Kumarasamy, K.(2020). Strength Properties of Bamboo Fiber Reinforced Concrete, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 981.

Poletanovic, B., Katalin Kopecko, K., Merta, I. (2024). Fibre hornification improves the long-term properties of hemp fibre-reinforced fly ash-based geopolymer mortar, *Construction and Building Materials*, 446, 137957.

Salami, E.(2009). Çelik liflerin farklı dayanıma sahip betonların mekanik özelliklerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s17, Trabzon.

Seventekin, N.(2003). Kimyasal Lifler, Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma- Uygulama Merkezi Yayını, İzmir, 75, 124, 127-128.

Shah, B. (1995), Fiber Reinforced Composites, American Concrete Institute, *Detroit* (USA).

Susurluk, G., Sarıkaya, H. (2019). Effect of polypropylene fiber addition on thermal and mechanical properties of concrete, *Research of Engineering Structures & Materials*, 5(1), 1-12.

Susurluk, G., Sarıkaya, H., ve Bostancı, L.(2024), Utilization of Natural Kapok and Coconut Fiber in Thermally Insulated Sustainable Concrete Design, *Environmental Science and Pollution Research*

Şapcı, N.(2021). Çimento Esaslı Dış Cephe Kaplama Malzemelerinin Üretiminde Kompozit Bileşenli Harçların Teknik Değerlendirilmesi, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(1), 981-993.

Terai, M., Minami, K.(2012). Basic Study on Mechanical Properties of Bamboo Fiber Reinforced Concrete, *Global Thinking in Structural Engineering: Recent Achievements*, 8(1), 17-24.

Topçu, İ. B., Demirel, O. E., and Uygunoğlu, T.(2017). Polipropilen Lif Katkılı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, *Politeknik Dergisi*, 20 (1), 91-96.

TS EN 12390-5, (2019). Beton- Sertleşmiş Beton Deneyle, TSE, Ankara.

TS EN 197-1, (2019). Çimento, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-3, (2019). Beton- Sertleşmiş Beton Deneyle, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-4, (2019). Beton- Sertleşmiş Beton Deneyle, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Uğurer, O., Kalkan, Ş. O., Gündüz, L.(2023). Poli Vinil Alkol (PVA) Lif Boyutunun Çimento Esaslı Hafif Harcın Özelliklerine Etkisi Üzerine Bir İnceleme, *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25 (2), 543-563.

Ünal, M.T., Şimşek O. (2022). Çimento Harçlarında Optimum Uçucu Kül ve PVA Lif Oranının Belirlenmesi, *Politeknik Dergisi*, 25(2), 477-489.

Ünal, O., Uygunoğlu, T., Gencil, O.(2007). Çelik liflerin beton basınç ve eğilme özelliklerine etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 23-30.

Yiğiter, H. (2002), Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliğinin Araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Murat YATKIN :

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Uşak Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2025
Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2015
Lise	Sait Sabri Ağaoğlu Lisesi	2007

Mesleki Deneyim

Yıl	Görev
2013-2014	İnşaat Mühendisi
2014-2025	Genel Müdür/İnşaat Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Yatkın, M., Sarıkaya, H. (2024).Akrilik/Polyester Lif İlavesinin Harç Mekanik ve Yalıtım ÖZELLİKLERİNE Etkisi, *Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 5(2), 43-57.