

## **Akrilik/Polyester Lif İlavesinin Harç Mekanik Ve Yalıtım Özelliklerine Etkisi**

**Murat YATKIN<sup>1</sup>, Hakan SARIKAYA<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Uşak Üniversitesi, Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Uşak, Türkiye  
ORCID No: 0009-0004-0965-4649, e-mail: muratyatkin@outlook.com

<sup>2\*</sup>Uşak Üniversitesi, Banaz Meslek Yüksekokulu, Uşak, Türkiye  
ORCID No: 0000-0002-8043-3302, e-mail: hakan.sarikaya@usak.edu.tr

(Alınış/Arrival: 07.10.2024, Kabul/Acceptance: 04.11.2024, Yayımlanma/Published: 18.12.2024)

### **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 karışımda 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 dayanımı, Eğilme dayanımı, Isı yalıtım.

## **Effect of Acrylic/Polyester Fiber Addition on Mortar Mechanical and Insulation Properties**

### **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

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 strength, Flexural strength, Thermal insulation.

## 1.GİRİŞ

Dünya çapında en yaygın kullanılan inşaat malzemelerinden beton ve harca olan talepte önemli bir artış yaşanmaktadır [1]. Dünyada her yıl kişi başına ortalama 1 ton beton üretilmekte ve beton üretiminde bağlayıcı malzeme olarak da çoğunlukla çimento kullanılmaktadır [2]. Çimento bazlı malzemeler, çeşitli projelerinin geliştirilmesinde kullanılan önde gelen inşaat malzemelerini oluşturmaktadır [3]. 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 [1]. Alternatif bağlayıcı malzeme olarak çimento harçları yerine; yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silika tozu gibi mineral kökenli malzemelerin kısmen veya tamamen çimento yerine kullanılabilir [2].

Çimento harcında uçucu kül ve lif kullanımı, harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde artırmaktadır [4]. Çimento harcında durabilite ve bazı teknik özelliklerini iyileştirmek ve performanslarını artırmak için özellikle harç numunelerine sentetik lifler ilave edilmektedir. Lifli ve lifsiz 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 [5-8].

Bu sebeple bu çalışma kapsamında akrilik ve polyester liflerinin harçlı numunelerde kullanılmasının temel nedenleri, bu malzemelerin dayanıklılık ve esneklik gibi üstün özelliklerinden ziyade, akrilik lifleri suya ve kimyasallara karşı yüksek direnç gösterirken, polyester lifleri ise mükemmel kopma dayanımına sahip olmasıyla bilinmektedir [9]. Bu liflerin harç içinde kullanılması, malzemenin mekanik özelliklerini artırarak çatlama ve deformasyon riskini azaltmaktadır [10] Ayrıca, bu tür liflerin katkısı, yapının ömrünü uzatmakta ve bakım

maliyetlerini düşürmektedir [11]. Dolayısıyla, akrilik ve polyester lifleri, inşaat mühendisliğinde performansı artırmak için tercih edilen sentetik lifler arasında yer almaktadır.

Bu nedenle, bu araştırmanın odak noktası, akrilik/polyester lifi içeren harç numunelerinin mekanik, ısı yalıtımı ve mikroyapısal özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmaktır ve inşaat sektöründe önemli hammadde kaynaklarının kullanımı için yeni bir bakış açısı sunmaktır.

## 2. MATERYAL METOD

Numunelerin hazırlanmasında hidrolik bağlayıcı olarak TS EN 197-1 standardına uygun olarak üretilmiş olan Portland Çimentosu ve uçucu kül kullanılmıştır [12]. Çimentonun ve Uçucu külün kimyasal bileşenleri Çizelge 1.'de verilmiştir. Agrega olarak standart rilem kumun kullanıldığı harçlarda akrilik/polyester lifi kullanılmıştır. Liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri de Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Kullanılan çimento ve uçucu külün kimyasal bileşimleri

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

**Çizelge 2.** Akrilik ve polyester lifinin fiziksel ve mekanik özellikleri

	<b>Akrilik lifi</b>	<b>Polyester lifi</b>
<u>Fiziksel Özellikler</u>		
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	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 <sup>2</sup> )	20-30	30-40
Başlangıç modülü (GPa)	3-4	2-3

Akrilik/polyester karışımli lif ilavesinin harç numunelerinin mekanik özellikleri, yalıtım ve mikro yapı üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, bu deneysel çalışmada 8 farklı harç karışımı oluşturulmuştur. Oluşturulan harç karışımlarının 4 tanesi %100 çimentodan, diğer 4 tanesi ise ağırlıkça çimento (%50) ve cürufan (%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.'de verilmiştir.

**Çizelge 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

Numunelerin hazırlanmasında hidrolik bağlayıcı olarak TS EN 197-1 standardına uygun olarak üretilmiş olan CEM I-42.5/R tipi Portland Çimentosu (PÇ) ve Uçucu kül kullanılmıştır. Agrega

olarak standartlara uygun rilem kumunun kullanıldığı harçlarda lif olarak ise akrilik polyester kullanılmıştır. Akrilik/polyester karışımı lif numunesinin görseli Şekil 1’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  $20\pm 2$  °C kirece doygun kür havuzlarında 28 gün kür edilmişlerdir (Şekil 2). Bir gün laboratuar 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 [13-14]. 28 günlük basınç dayanımı testinden kalan numunelerin ısı iletkenlik katsayıları, ASTM C 1113-09 [15] standardına göre QTM-500 cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Her numunenin ısı iletkenlik katsayısı çeşitli konumlar için beş kez test edilmiştir. 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.



**Şekil 1.** Akrilik polyester lif

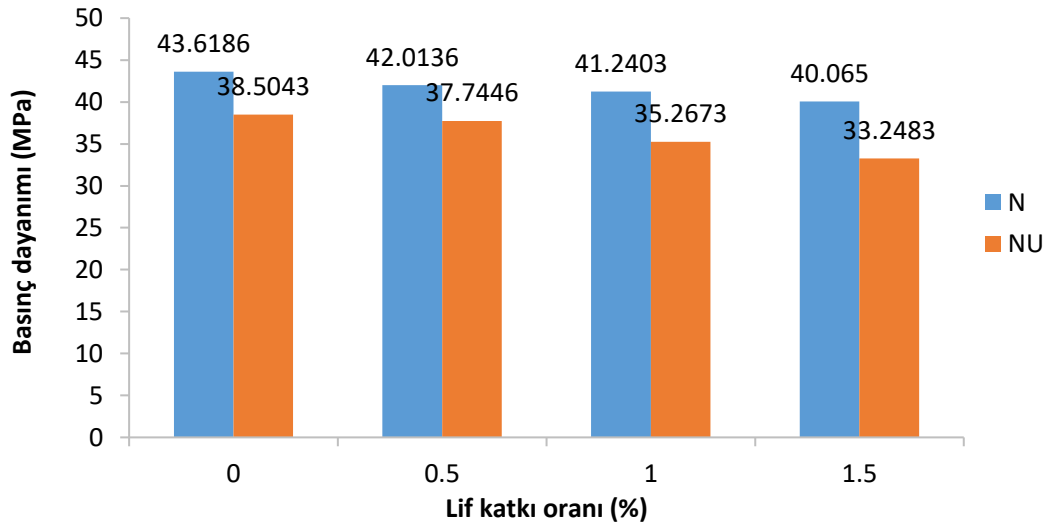


Şekil 2. Hazırlanan numuneler ve kür havuzu

### 3. DENEY SONUÇLARI

#### 3.1. Basınç Deneyi Sonuçları

Tahribatlı test yönteminde harç numuneler için tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Tek eksenli basınç deneyi TSE EN 12390-3 standardı ve deneylerde kullanılan deney aleti TS EN 12390-4 standartına uygun olarak yapılmıştır. [16-17] Tek eksenli basınç deney için Uşak Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarında bulunan tek eksenli basınç presi kullanılmıştır. Harç numunelerinin 28. günlük basınç dayanımları ölçüm sonuçları Şekil 3'te verilmiştir.



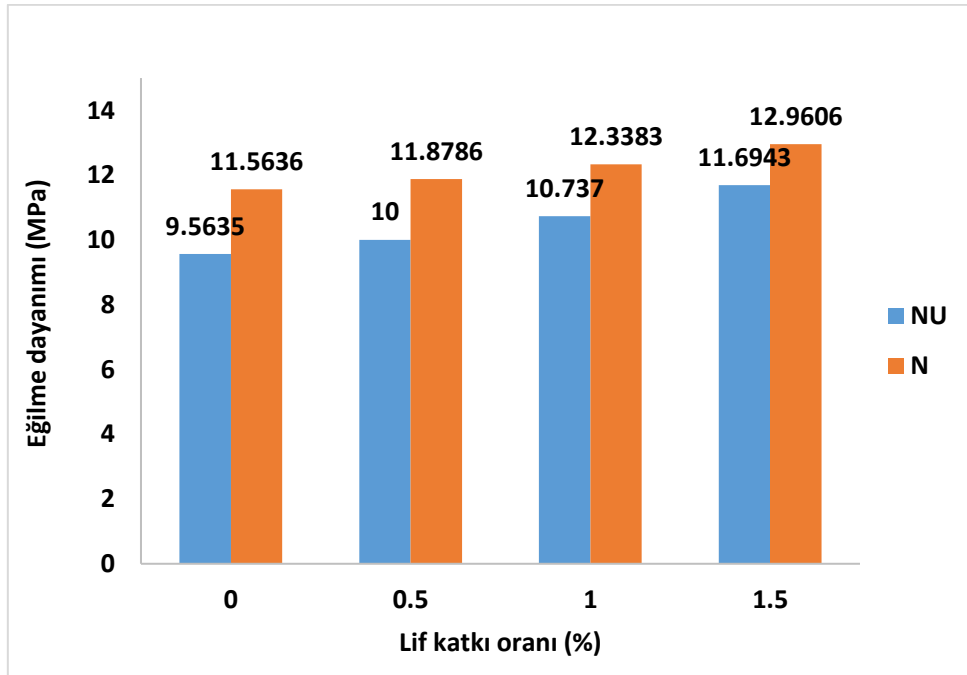
Şekil 3. Basınç dayanımı test sonuçları

Sıfır lif katkısı içeren N-0 kontrol numunesi, 28 günlük kürleme periyodundan sonra 43.6186 MPa'lık bir mukavemet değerine, sıfır lif katkısı içeren NU-0 kontrol numunesi de 38.5043 MPa'lık bir mukavemet değerine ulaşmıştır. Çimento ile oluşturulan harç karışımlarına %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında lif eklenmesi basınç dayanımında sırasıyla %3.67, %5.45 ve

%8.14 oranında azalmaya, çimento ve uçucu kül ile oluşturulan 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 3'ten görüldüğü üzere, 28 günlük harç numunelerinin dayanımı, lif katkı oranı ne kadar yüksekse basınç dayanımının o kadar düşük olduğu yönünde bir eğilim göstermiştir.

### 3.2. 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 [18]. Üç eksenli basınç deney için Uşak Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarında bulunan üç eksenli basınç presi kullanılmıştır. Harç numunelerinin 28. günlük eğilme dayanımları ölçüm sonuçları Şekil 4'de verilmiştir.



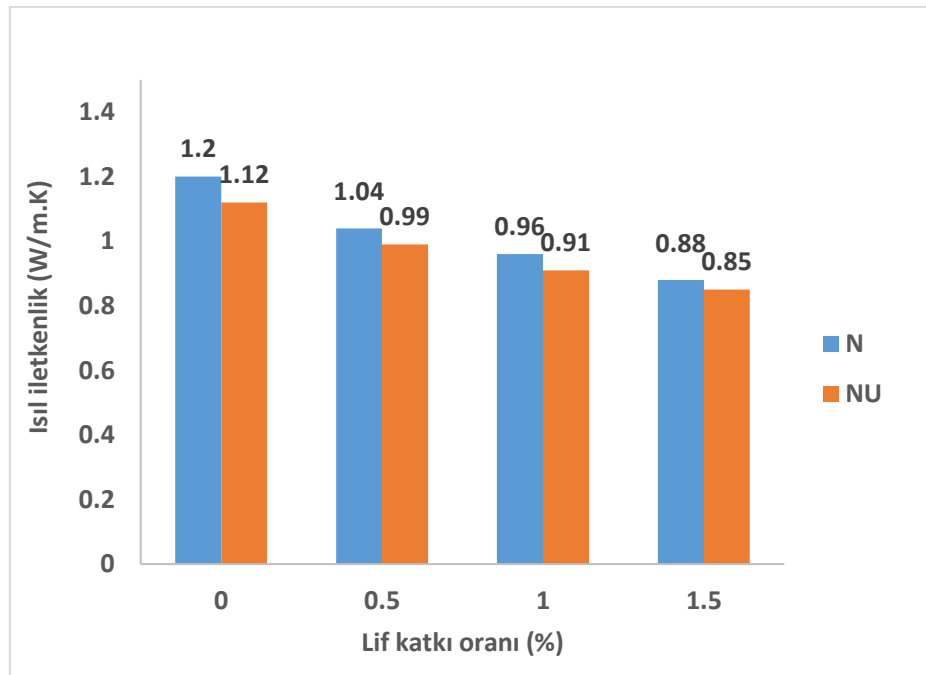
Şekil 4. Eğilme dayanımı test sonuçları

Sıfır lif katkısı içeren N-0 kontrol numunesi, 28 günlük kürleme periyodundan sonra 11.5636 MPa'lık bir eğilme dayanımı değerine, sıfır lif katkısı içeren NU-0 kontrol numunesi de 9.5635 MPa'lık bir eğilme dayanımı değerine ulaşmıştır. Çimento ile oluşturulan harç karışımlarına %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında lif eklenmesi eğilme dayanımında sırasıyla %2.72, %6.69 ve %12.08 oranında artışa, çimento ve uçucu kül ile oluşturulan harç karışımlarına %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında lif eklenmesi basınç dayanımında sırasıyla %4.56, %12.27 ve

%22.28 oranında artışa neden olmuştur. Şekil 3'ten görüldüğü üzere, 28 günlük harç numunelerinin eğilme dayanımı, lif katkı oranı ne kadar yüksekse eğilme dayanımının o kadar yüksek olduğu yönünde bir eğilim göstermiştir.

### 3.3. Isı İletkenlik Deneyi Sonuçları

Çeşitli ısı yalıtım malzemelerin ısı iletkenliği 2 yöntemle ölçülür. Bunlar kararlı durum ve geçiş durumudur. Biz ise bu yöntemlerden kararlı durum yöntemini kullanarak QTM-500 cihazını kullandık. Kararlı durum yönteminde genellikle ısıtmalı 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 Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Isıl iletkenlik test sonuçları

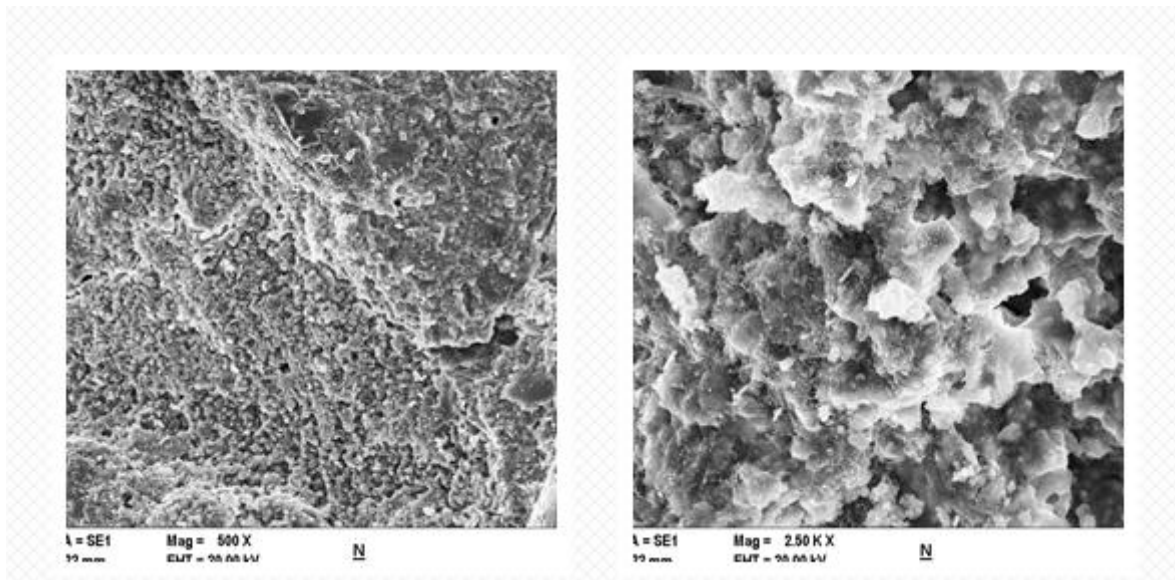
Sıfır lif katkısı içeren N-0 kontrol numunesinin ısı iletkenlik değeri 1.2 W/mK değerine, sıfır lif katkısı içeren NU-0 kontrol numunesi de 1.12 W/m.K'lik bir ısı iletkenlik değerine ulaşmıştır. Çimento ile oluşturulan harç karışımlarına %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında lif eklenmesi yalıtkanlık değerlerinde sırasıyla %13.33, %20 ve %26.66 oranında artışa, çimento ve uçucu kül ile oluşturulan harç karışımlarına %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında lif eklenmesi yalıtkanlık değerlerinde sırasıyla %11.6, %18.75 ve %24.1 oranında artışa neden



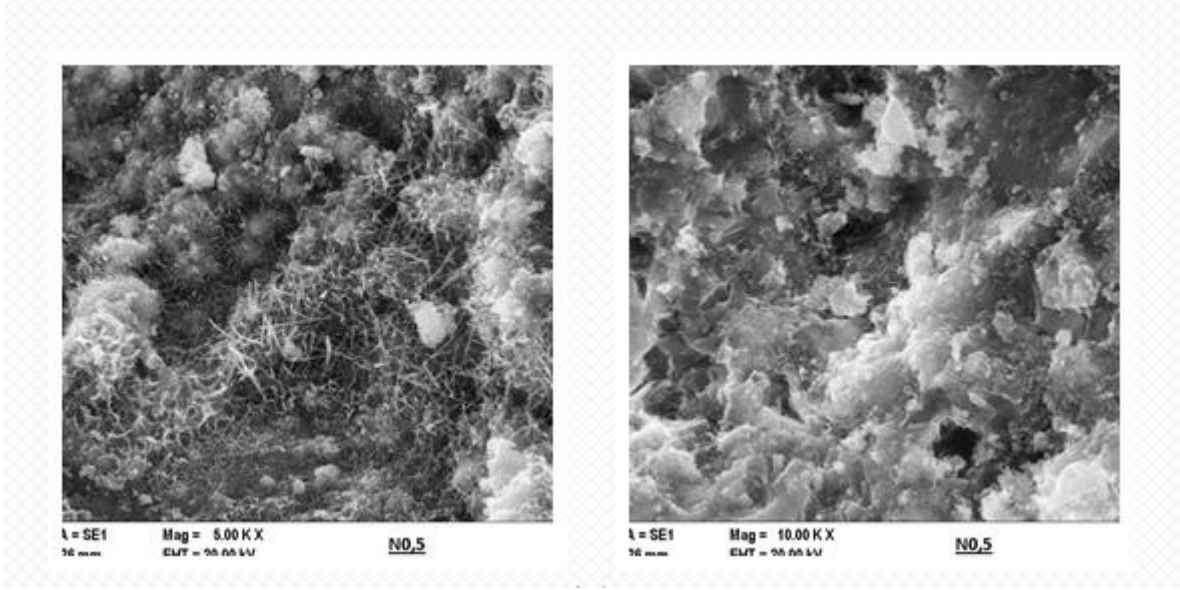
olmuştur. Şekil 3'ten görüldüğü üzere, lif katkı oranı ne kadar yüksekse yalıtkanlık değerlerinin o kadar yüksek olduğu yönünde bir eğilim göstermiştir.

### 3.3. SEM Analiz Sonuçları

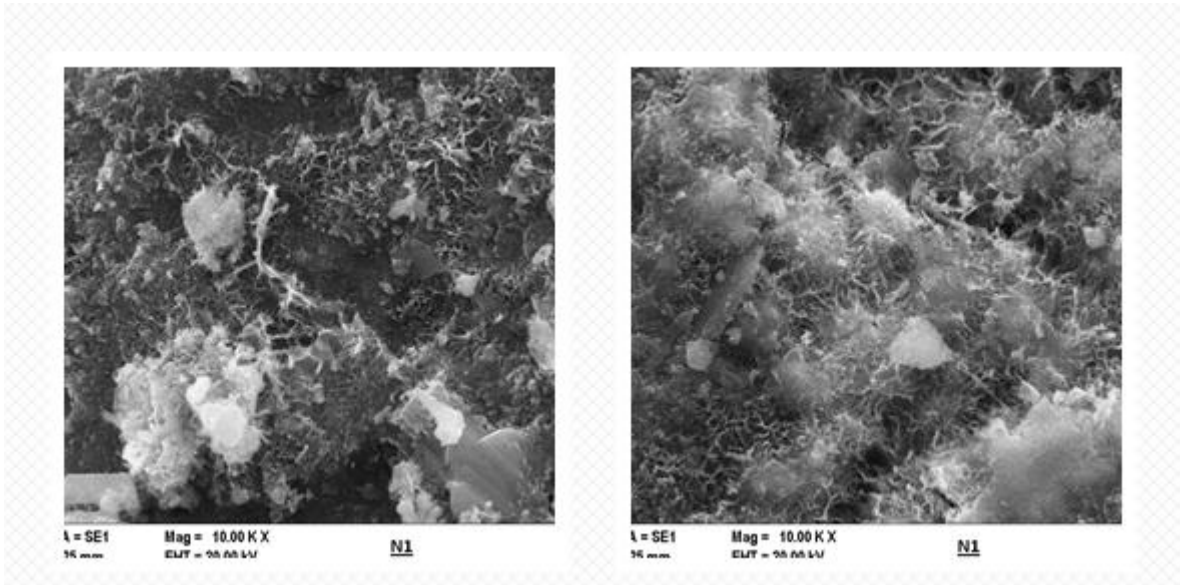
SEM analiz deneyinde numunelerin kırılma yüzeyinde alınan numunelerin elektron mikroskobu görüntüleri alınarak mikro yapı incelemesi yapıldı. Liflerin kırılma sonrası yüzey özellikleri ve matris ile birleşim yerindeki mikro yapının deney sonrası durumları görüntülenerek, liflerin mekanik davranışları hakkında mikro ölçekte değerlendirmeler yapıldı. Sem analiz sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Çimento harçlı numunelerin SEM görüntüleri Şekil 6'da, % 0,5 lif içeren çimento harçlı numunelerin SEM görüntüleri Şekil 7'de, % 1 lif içeren çimento harçlı numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8'de, % 1 lif içeren çimento harçlı numunelerin SEM görüntüleri Şekil 9'da verilmiştir. Çimento ve uçucu kül harçlı numunelerin SEM görüntüleri Şekil 10'da, % 0,5 lif içeren çimento ve uçucu kül harçlı numunelerin SEM görüntüleri Şekil 11'de, % 1 lif içeren çimento ve uçucu kül harçlı numunelerin SEM görüntüleri Şekil 12'de ve % 1,5 lif içeren çimento ve uçucu kül harçlı numunelerin SEM görüntüleri ise Şekil 13'te verilmiştir.



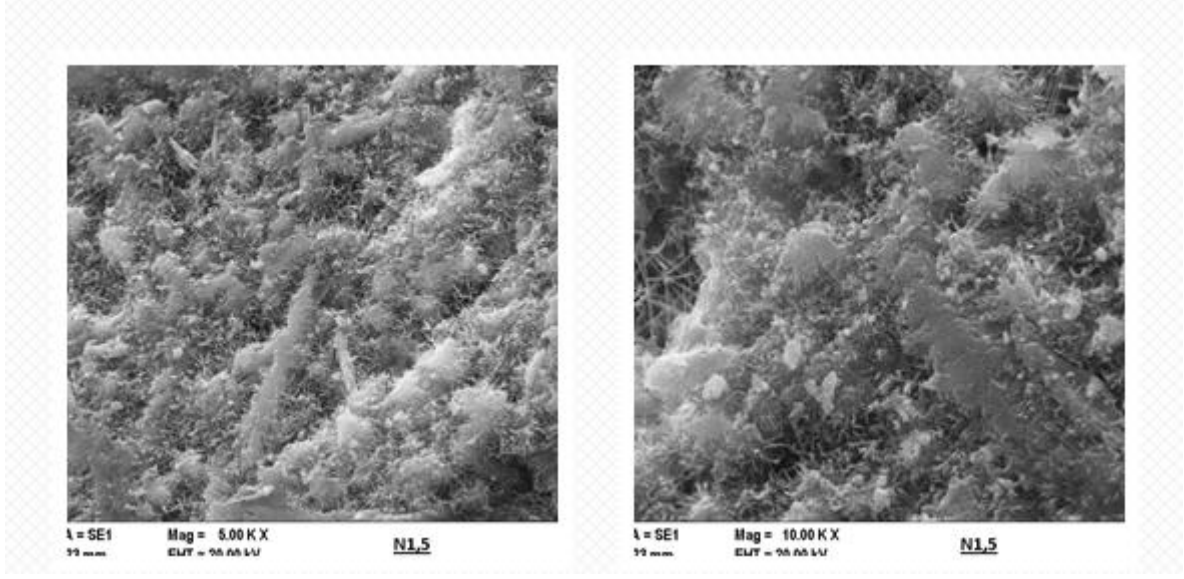
Şekil 6. Çimento harçlı numunelerin SEM görüntüleri



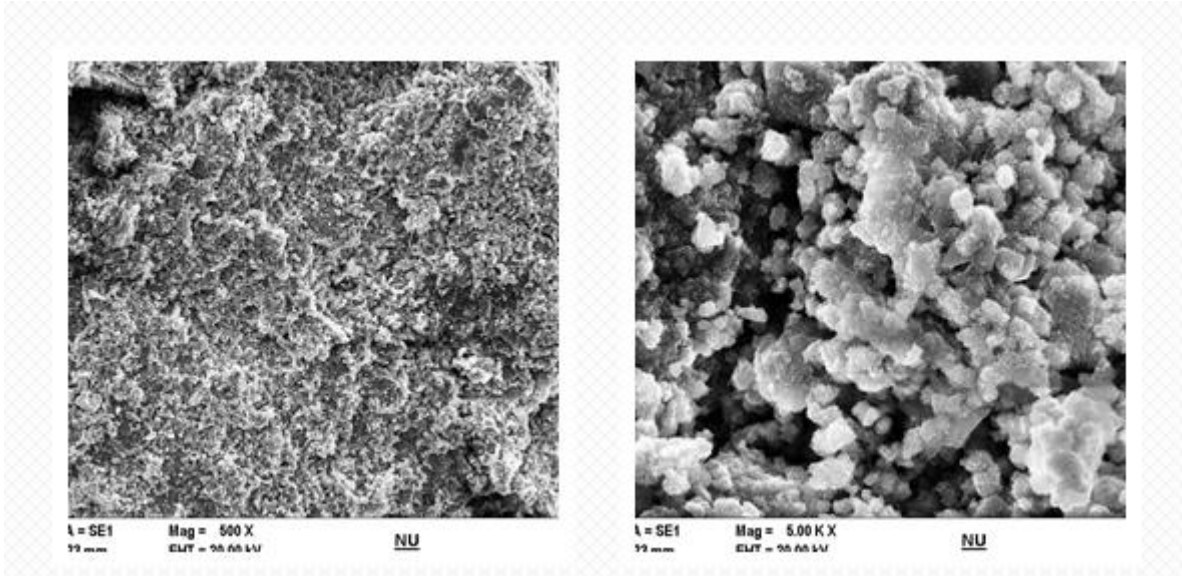
Şekil 7. % 0,5 lif içeren çimento harçlı numunelerin SEM görüntüleri



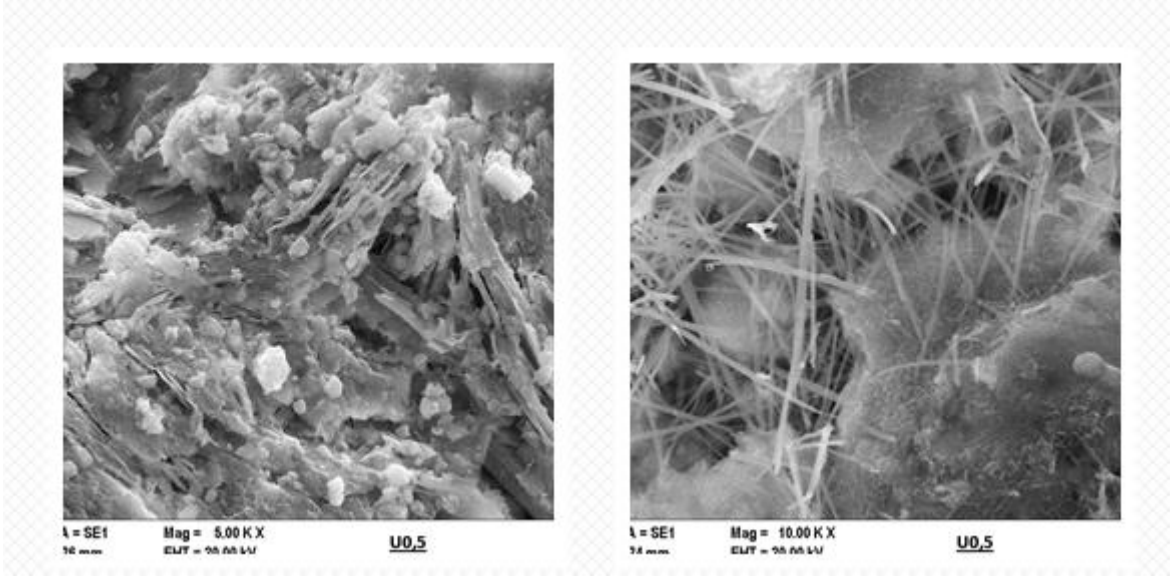
Şekil 8. %1 lif içeren çimento harçlı numunelerin SEM görüntüleri



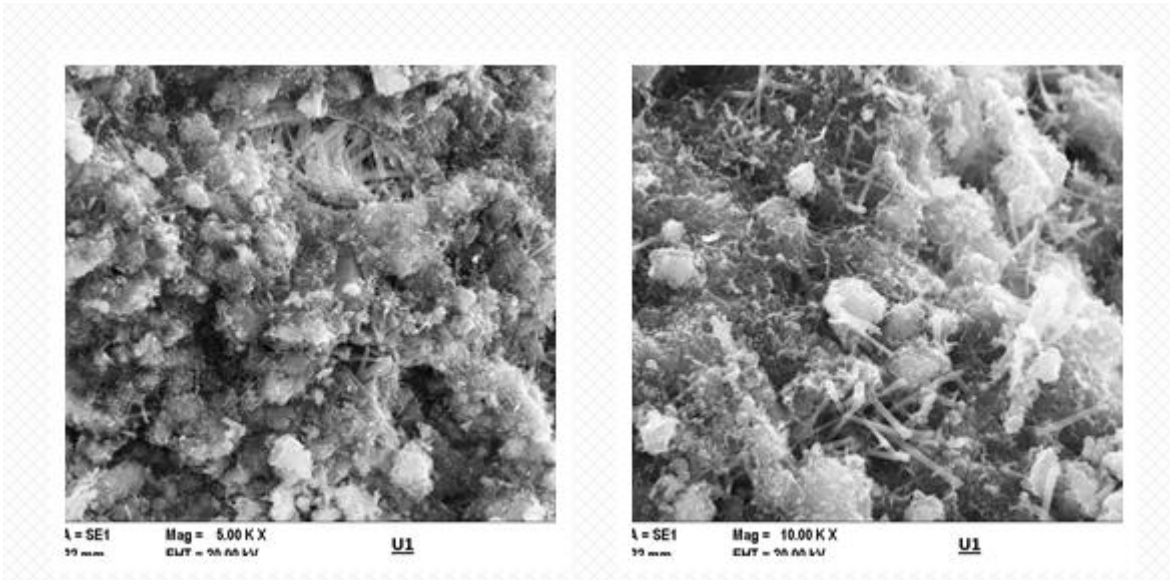
Şekil 9. %1,5 lif içeren çimento harçlı numunelerin SEM görüntüleri



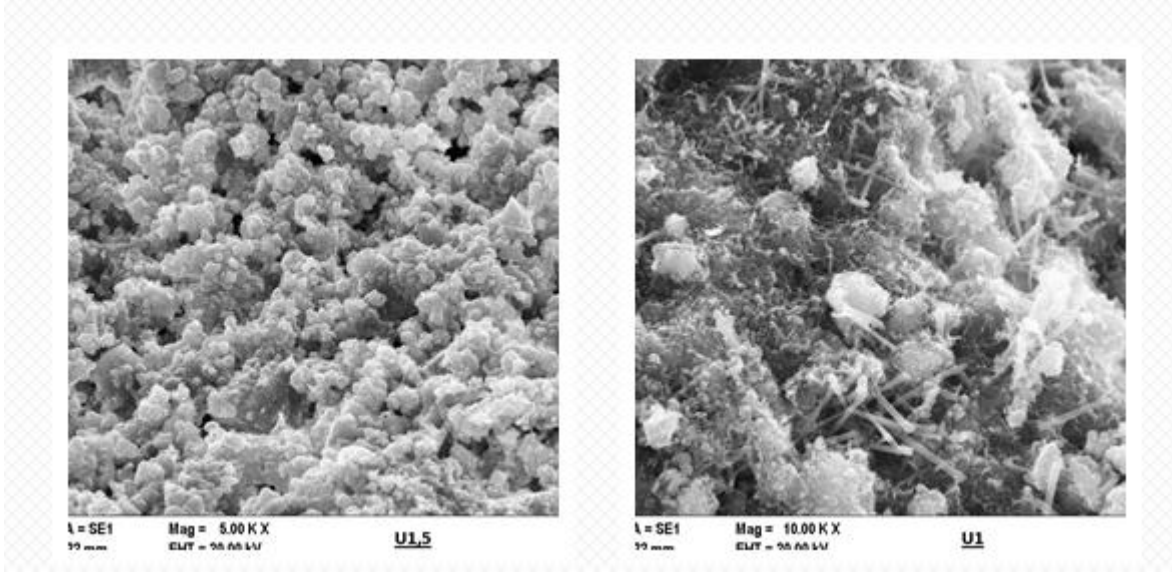
Şekil 10. Çimento ve Uçucu kül harçlı numunelerin SEM görüntüleri



**Şekil 11.** % 0,5 lif içeren çimento ve uçucu kül harçlı numunelerin SEM görüntüleri



**Şekil 12.** % 1 lif içeren çimento ve uçucu kül harçlı numunelerin SEM görüntüleri



**Şekil 14.** % 1,5 lif içeren çimento ve uçucu kül harçlı numunelerin SEM görüntüleri

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışma, akrilik/polyester lifi ilavesinin harç numunelerinin mekanik, ısı yalıtım özellikleri ve mikro yapı morfolojisi üzerindeki etkisinin deneysel bir araştırmasını sunmaktadır.

Çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Katkı oranı ile orantılı olarak akrilik/polyester lifi içeriği basınç dayanımı değerinde azalmaya neden olmaktadır. Fakat bu azalma standartların içerisinde kalmaktadır.
- Katkı oranı ile orantılı olarak akrilik/polyester lifi içeriği eğilme dayanımı değerlerinde önemli oranda artışa neden olmaktadır. Ayrıca, akrilik/polyester lifi içeriğinin %0.5'ten %1.5'e çıkarılması, eğilme dayanımında artışa yol açmaktadır.
- Katkı oranı ile orantılı olarak akrilik/polyester lifi içeriği yalıtkanlık değerlerinde önemli oranda artışa neden olmaktadır. Ayrıca, akrilik/polyester lifi içeriğinin %0.5'ten %1.5'e çıkarılması, yalıtkanlık değerlerinde artışa yol açmaktadır.

Bu deneysel çalışmada, son yıllarda sentetik bazlı materyaller arasında önemli hammadde kaynakları olarak öne çıkan akrilik/polyester karışımli 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.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] 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.
- [2] Bostancı, L. (2022). Atık cam tozu içeren alkali-aktive edilmiş cüruf harçlarının mekanik, por yapısı, termal yalıtkanlık ve mikro yapı özellikleri. *Politeknik Dergisi*, 25(1): 75-87.
- [3] Poletanovic, B., Katalin Kopecsko, 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.
- [4] Ünal, M.T., Şimşek O. (2022) Çimento Harçlarında Optimum Uçucu Kül ve PVA Lif Oranının Belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 25(2) : 477-489.
- [5] Falkner, H., Huang, Z., Teutsch, M., (1995). Comparative Study of Plain and Steel Fibre Reinforced Concrete Graund Slab, *Concrete International*, 45-5.
- [6] Craig, R. J. Parr, J. A. Germain, E. Mosquera, V. Kamilaris, S. (1986). Fiber Reinforced Beams in Torsio , *ACI Journal*.
- [7] Şimşek, S. 1997). Lifli Beton Üzerine Bir Çalışma, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Haziran.
- [8] 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. Derg. / OHU J. Eng. Sci.*, 6(2): 560- 570.
- [9] Yılmaz, A. (2020). *Advanced Composite Materials*. Journal of Materials Science.
- [10] Smith, B., & Jones, C. (2019). *Reinforcement of Concrete with Synthetic Fibers*. Construction Materials Journal.
- [11] Doe, J. (2021). *Durability of Fiber-Reinforced Concrete*. International Journal of Civil Engineering
- [12] TS EN 197-1, Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [13] TS EN 12390-3, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [14] TS EN 12390-5, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[15] ASTM C1113/C1113-09 (2009) Standard test method for thermal conductivity of refractories by hot wire (Platinum Resistance Thermometer Technique). ASTM International, West Conshohocken, PA

[16] TS EN 12390-3, Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[17] TS EN 12390-4, Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 4: Basınç Dayanımı- Deney Makinalarının Özellikleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[18] TS EN 12390-5, Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımı Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.