

Mermer ve Seramik Malzemelerinin FRP ile Güçlendirilmesi

^{1*}Ferhat Aydın ve ²Ali Sarıbyık

^{1,2}Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Özet

Mermer ve seramik malzemelerin kullanım amaçları gereği geniş yüzeyli ve ince cidarlı üretilmeleri gerekmektedir. İnce üretilmeleri nedeniyle taşıma ve montaj esnasında kırılma riski altındadır. Belirtilen risklerden dolayı üreticiler bu tür malzemelere sıvı kimyasal emdirerek veya alt yüzeylerine eğilme etkisinde çekme dayanımı yüksek malzemeler yapıştırarak çözümler sunmaktadır. Bu çalışmada yapı endüstrisinde yoğun şekilde kullanılan mermer ve seramik yapı malzemelerine çeşitli güçlendirme yöntemleri uygulanmış ve eğilme performansları incelenmiştir. Güçlendirme yapılmamış referans numunelere göre Fiber Takviyeli Plastik (FRP) ve polipropilen fitiller ile güçlendirilen numunelerin eğilme davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Epoksi ile malzeme alt yüzeylerine FRP ve fitil yapıştırılarak, malzeme davranışları karşılaştırılmıştır. Her iki malzeme türü için de lifli güçlendirmenin dayanımını büyük oranlarda artırdığı ve güçlendirme tekniğinin çok önemli bir etken olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mermer, seramik, FRP, güçlendirme, lif

Strengthening with FRP of Marble and Ceramic Materials

Abstract

Marble and ceramic materials should be produced with wide surfaces and thin walls due to their intended use. They are at risk of fracture during transportation and assembly due to their fine production. Due to the mentioned risks, manufacturers offer solutions by absorbing liquid chemicals to such materials or by applying high tensile strength materials under bending to their lower surfaces. In this study, various reinforcement methods have been applied to marble and ceramic building materials which are used extensively in the building industry and their flexural performances have been investigated. The flexural behaviour of samples reinforced with Fiber Reinforced Plastic (FRP) and polypropylene suppositories was investigated experimentally. FRP and polypropylene were bonded to the lower surfaces of the samples using epoxy and the material behavior was compared. For both types of materials, it was determined that the strengthening of the fibrous reinforcement greatly increased the strength and strengthening technique was a very important factor.

Key words: Marble, ceramic, FRP, strengthening, fiber

1. Giriş

Mermer ve seramik malzemeler ince cidarlı ve geniş yüzeye sahip olduklarından çekme kuvveti etkisinde düşük yüklerde kırılabilmektedir. Genellikle gevrek yapıya sahip bu malzemeler ani olarak kırılmakta olup tokluk ve eğilme dayanımları düşüktür. Üreticiler bu tür yapı

*Corresponding author: Address: Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü, Sakarya, Türkiye. E-mail address: ferhata@sakarya.edu.tr, Phone: +902642956475 1321

malzemelerinde belirtilen etkilere karşı malzeme alt yüzeyine plastik fitil yapıştirarak eğilme performansını artırmaya çalışılmaktadır. Bunun dışında malzeme üreticileri mermerlere akıcı kıvamda dolgu malzemesi emdirilmesi yöntemi [1,2] ile güçlendirme yapmaktadırlar.

Mermer ile yapılan güçlendirme çalışmaları incelendiğinde Liu ve arkadaşları [3] çalışmalarında FRP atıklarını ve doymamış polyester reçine yapay mermer yapı elemanlarında kullanılmışlardır. FRP üretimi yapan tesislerde ortaya çıkan cam elyaf takviyeli plastik atığı birçok çevre sorununa neden olmaktadır. Çalışmalarında doymamış polyester reçine esaslı yapay mermeri zenginleştirmek için GFRP atığı eklenmiştir. FRP atık içeriğinin ve partikül büyüklüğünün yapay mermerin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Sonuçlar, FRP atık içeriğinin ve partikül boyutunun yapay mermerin mekanik özellikleri ile yakından ilişkili olduğunu göstermiştir. Test sonuçları incelendiğinde eğilme dayanımı 23.72 MPa, basınç dayanımı 79.13 MPa bulunmuş ve kullanılan partikülün boyutuna göre FRP atığı bulunmayan suni mermerlerin dayanımına göre %75.8 ve %128.1 artmıştır. Diğer bir çalışmada [4] FRP atıklarının epoksi esaslı yapay granit özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Epoksi reçinesi, FRP artığı, granit ve dolgu maddeleri üzerinde yapılan çalışmada, FRP artığı ve epoksi esaslı yapay granitlerin farklı oranlarda hazırlanmıştır. Normal basınç ve sıcaklık altında kalıplama yapılarak hazırlanmış, yapay granitlerin eğilme ve basınç dayanımı incelenmiştir. SEM, yapay granitlerin iç mikro yapısını gözlemlemek için kullanılmıştır. Zhu ve arkadaşları [5] çeşitli nem ortamında CFRP ile güçlendirilmiş mermer eğilme kapasitesini test etmişlerdir. Çalışmada üç grupta toplam dokuz mermerin eğilme testi yapılmıştır. Test sonuçları karşılaştırılmış ve CFRP takviyeli mermerin eğilme kapasitesini arttırmak için araştırma yapılmıştır. Test sonucu, mermerin taşıma kapasitesinin çeşitli ortamlardan etkilenmediğini ve CFRP ile takviye edilen mermerin eğilme kapasitesinin büyük ölçüde artabileceğini belirtmişlerdir. Bellinia ve arkadaşları [6] hem ağırlığını düşürmek hem de mekanik dayanımlarını arttırmak amacıyla mermer ve granit numuneler kullanılarak sandviç lamine yapı elemanları oluşturmuşlar ve eğilme testleri yapmışlardır. Granit ve mermer kiriş elemanların alt yüzeyine yüksek dayanımlı epoksi-cam laminantlar yapıştirarak test etmişlerdir. Her numune türü için büyük oranlarda dayanım artışlarının olduğunu belirtmişlerdir. Yapı malzemelerinin FRP ile güçlendirilmesi yöntemi son yıllarda birçok araştırmacı tarafından yoğun bir şekilde incelenmektedir. Özellikle betonarme yapı elemanların FRP kumaşlar ile güçlendirilmesi [7-9], çelik yapı elemanların FRP lamine ile güçlendirilmesi [10-11] ve ahşap yapı elemanların FRP malzeme ile güçlendirilmesi [12-14] sıkça görülen uygulamalardır. Bu çalışmada yapılan çalışmalardan farklı olarak mermer ve seramik olmak üzere iki tür malzeme kullanılarak FRP lifler ve polipropilen lifler ile güçlendirme yapılarak referans numunelere göre dayanım ve tokluk açısından karşılaştırılmıştır.

2. Malzeme ve Metot

Deneysel çalışmalarda seramik ve mermer olmak üzere iki tür malzeme kullanılmıştır. Her numune türünden 5'er adet olmak üzere, güçlendirme malzemesi olarak cam lifli örgü ve polipropilen fitil kullanılmış (Tablo 1), eğilme testleri yapılarak referans numunelere göre güçlendirilmiş numunelerin performans artışları incelenmiştir. Mermer deneylerinde referans, fabrikada üretilmiş polipropilen fitilli, laboratuvarında üretilmiş polipropilen fitilli ve cam lifli olmak üzere 4 tür,

seramik deneylerinde ise referans, polipropilen fitilli ve cam lifli olmak üzere 3 tür numune kullanılmıştır.

Tablo 1. Numune tür ve adetleri

	Mermer	Seramik
Referans	5	5
Cam Lifli	5	5
Polipropilen Fitilli	5	5
Polipropilen Fitilli (Fabrika)	5	-

Deneylerde kullanılan mermer numuneleri 400x100x20 mm boyularında, 20 adet olmak üzere fabrikadan temin edilmiştir. Belirtilen mermerler 300 mm mesnet açıklığında üç noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur. Seramik numuneler ise 200x100x5 mm boyularında toplam 15 adet olmak üzere 150 mm mesnet açıklığında eğilme testi yapılmıştır. Mermer ve seramik numunelerin güçlendirme işlemleri Şekil 1’de ve eğilme testleri Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 1. Mermer ve seramik numunelerin hazırlanması



Şekil 2. Mermer ve Seramik eğilme testleri

Mermer ve seramik gibi malzemelerin çekme dayanımının düşük ve gevrek malzeme olmalarından dolayı bu malzemelerin çekme etkilerine karşı performansını artırmak amacıyla FRP cam lifler ile güçlendirilmiştir. Cam lifli malzeme ile birlikte üreticilerin kullandığı polipropilen fitil deney

numunelerinin alt yüzeylerine epoksi ile yapıştırılarak test edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan güçlendirme malzemelerinin teknik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

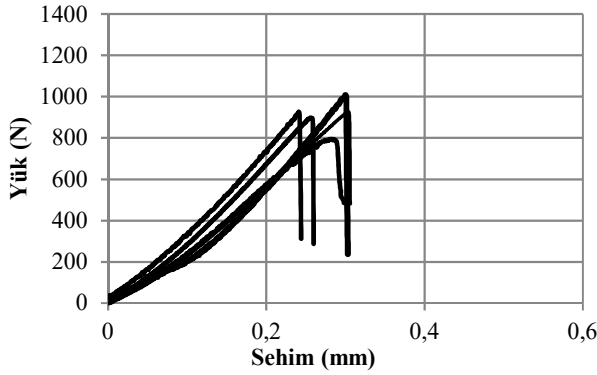
Tablo 2. Malzemelerin Özellikleri

	Cam Lifli Kumaş	Polipropilen Filtir
Çekme Dayanımı	3500 MPa	30 MPa
Özgül Ağırlık	2.55 gr/cm ³	0.92 gr/cm ³
Elastisite Modülü	75 GPa	1,1 GPa

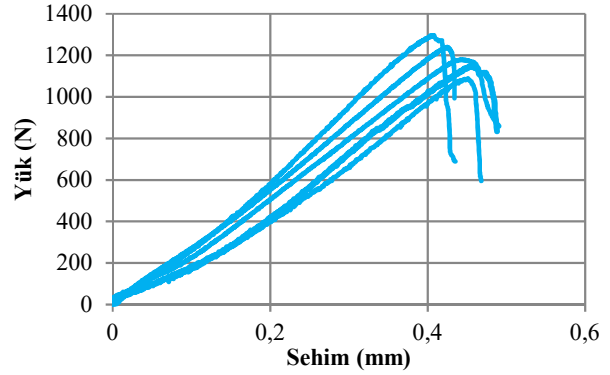
2. Deneysel Sonuçları

2.1. Mermer Numunelerin Test Sonuçları

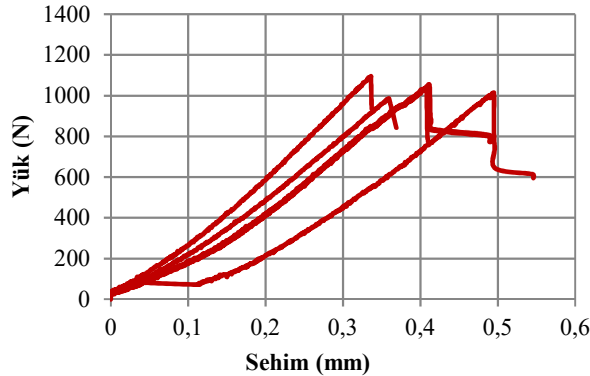
Yapılan 3 noktalı eğilme testleri neticesinde mermer numunelere ait yük-sehim grafikleri oluşturulmuş ve eğilme dayanımları hesaplanmıştır. Referans numunelerden başlamak üzere güçlendirilmiş mermer numunelerin eğilme grafikleri Şekil 3-6’da verilmiştir.



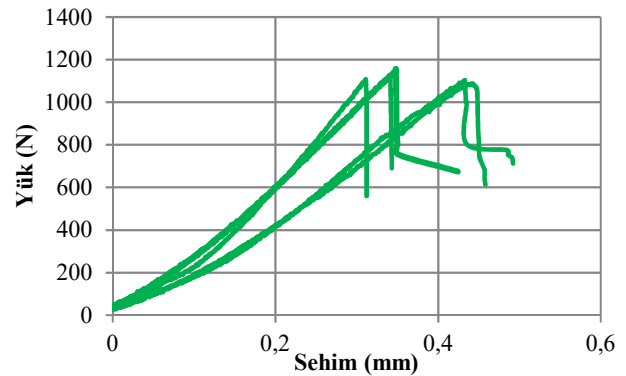
Şekil 3. Referans mermer yük-sehim grafikleri



Şekil 4. Cam lifli mermer yük-sehim grafikleri



Şekil 5. Fileli mermer yük-sehim grafikleri (Fabrika)

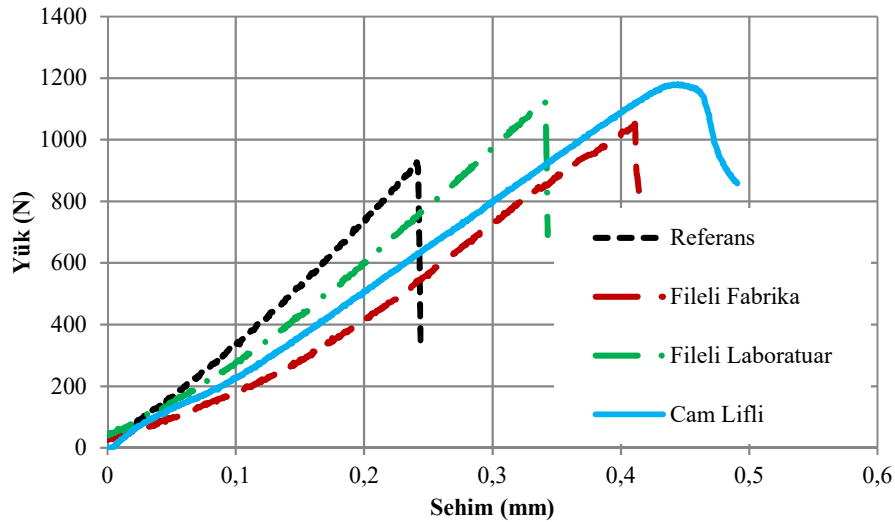


Şekil 6. Fileli mermer yük-sehim grafikleri (Laboratuvar)

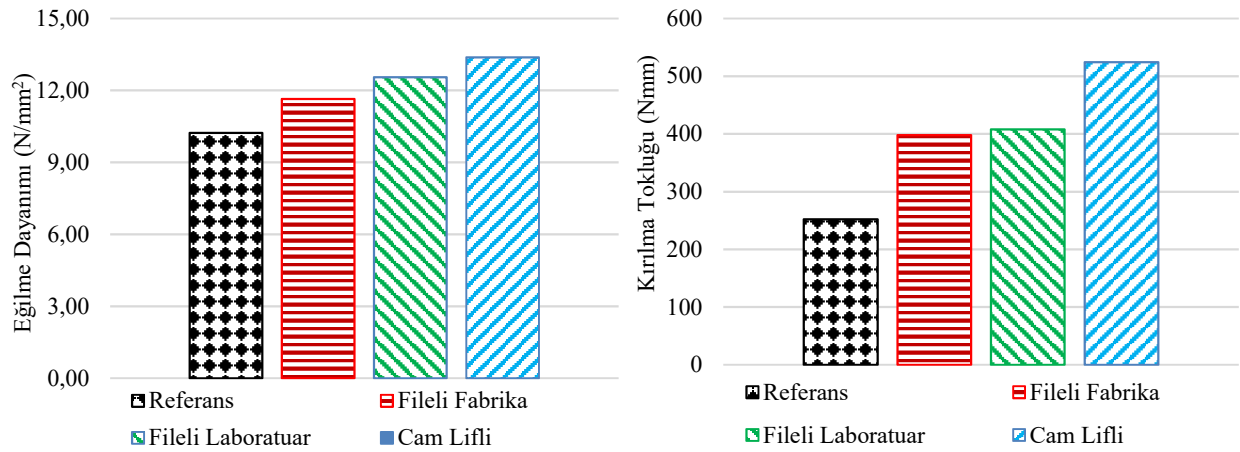
Test sonuçlarından elde edilen yük, hesaplanan eğilme dayanımları, kırılma toklukları, ve standart sapma değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Her numune türünü temsil eden yük-sehim grafikleri tek grafik üzerinde karşılaştırılarak Şekil 7’de görülmektedir. Eğilme dayanım ortalamaları ve kırılma tokluklarının karşılaştırması ise Şekil 8’de verilmiştir.

Tablo 3. Mermer eğilme test sonuçları

Numune Türü	N o	Yük (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Standart Sapma (N/mm ²)	Ortalama Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Kırılma Tokluğu (Nmm)	Standart Sapma (Nmm)	Ortalama Kırılma Tokluğu (Nmm)
Mermer Referans	1	1007	11.33	0.86	10.23	302.1	35.23	252.28
	2	926	10.42			276.9		
	3	795	8.94			228.2		
	4	920	10.35			223.3		
	5	897	10.09			230.9		
Mermer Cam Lifli	1	1296	14.58	0.90	13.38	525.7	26.29	524.48
	2	1089	12.25			485.1		
	3	1148	12.92			533.1		
	4	1176	13.23			558.8		
	5	1237	13.91			519.7		
Mermer Fabrika Fileli	1	1095	12.32	0.48	11.65	367.5	34.69	397.9
	2	985	11.08			353.6		
	3	1040	11.70			424.3		
	4	1006	11.31			416.4		
	5	1051	11.82			427.7		
Mermer Laboratuvar Fileli	1	1103	12.41	0.30	12.55	475.6	68.64	407.74
	2	1156	13.01			402.3		
	3	1125	12.66			341.8		
	4	1107	12.45			339.3		
	5	1085	12.21			479.7		



Şekil 7. Mermer yük-sehim grafikleri karşılaştırma

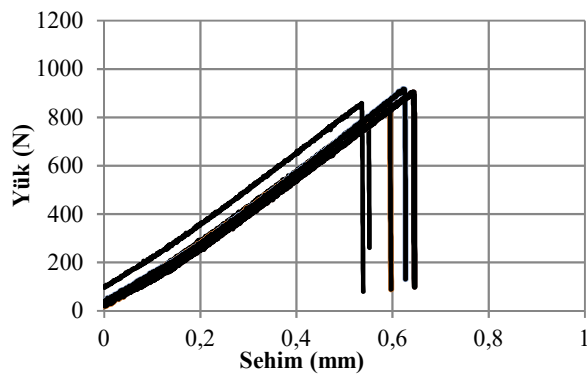


Şekil 8. Mermer numunelerin eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu karşılaştırması

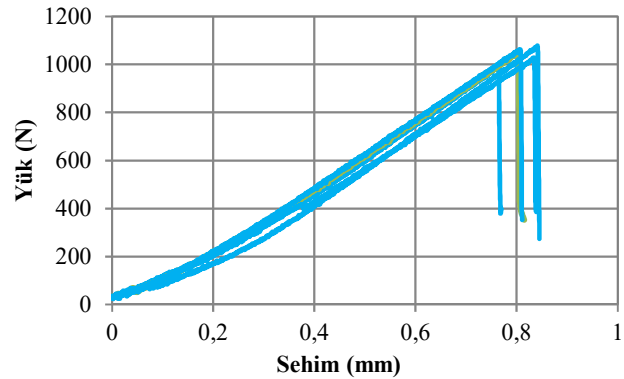
Deney sonuçları incelendiğinde referans mermer numunelerine göre eğilme dayanımları fileli fabrika üretimi numunelerde %13,8, fileli laboratuvarda üretilen numunelerde %22,7 ve cam lifli mermer numunelerinde %30,8 oranında arttığı belirlenmiştir. Kırılma tokluğu referans numune sonuçlarına göre fileli fabrika üretimi numunelerde %58, fileli laboratuvarda üretilen numunelerde %62 ve cam lifli mermer numunelerinde %108 oranında artmıştır. Cam lif ve fitil ile güçlendirilmiş numuneler karşılaştırıldığında ise cam lifli güçlendirme fabrika fitilli numunelere göre eğilme dayanımı %15, kırılma tokluğu %32 oranında ve laboratuvar fitilli numunelere göre %6, kırılma tokluğu %28,4 oranında arttığı tespit edilmiştir.

2.2. Seramik Numunelerin Test Sonuçları

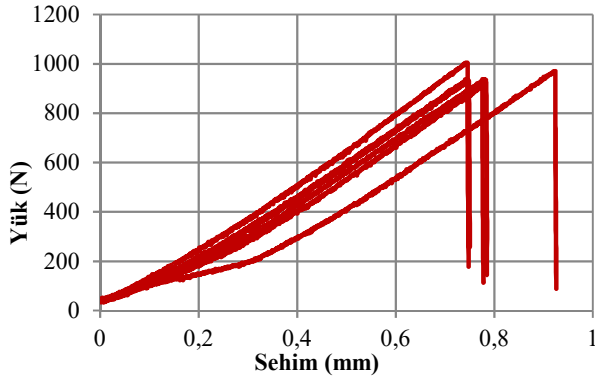
Seramik numuneler ile yapılan eğilme testleri neticesinde yük-sehim grafikleri Şekil 9-12'de, eğilme dayanımları, kırılma toklukları ve standart sapma değerleri Tablo 4'te verilmiştir.



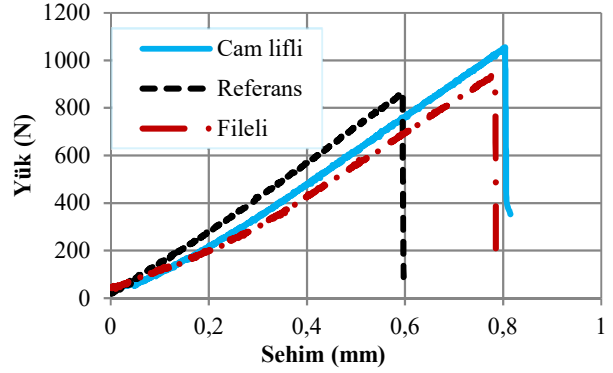
Şekil 9. Referans seramik yük-sehim grafikleri



Şekil 10. Cam lifli seramik yük-sehim grafikleri



Şekil 11. Fileli seramik yük-sehim grafikleri

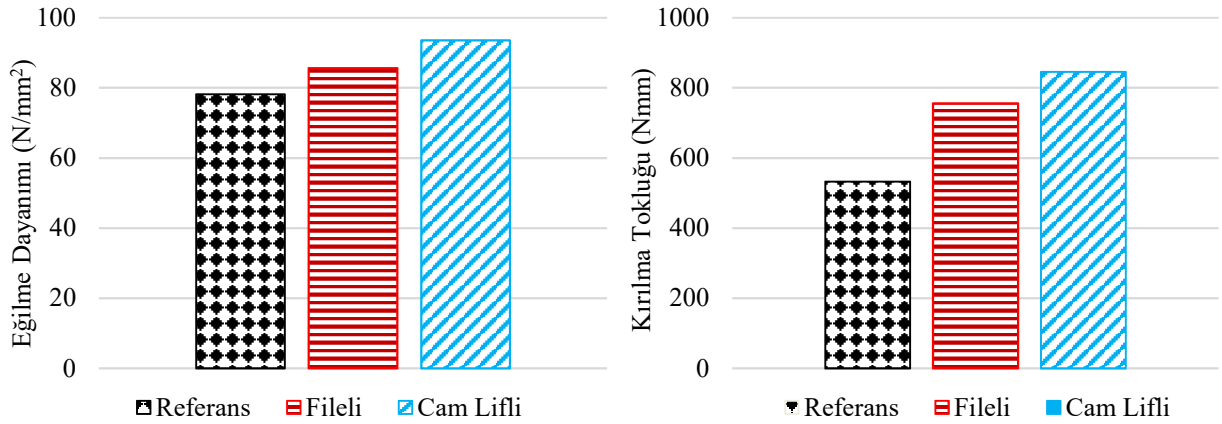


Şekil 12. Seramik yük-sehim grafikleri karşılaştırma

Tablo 4. Seramik eğilme test sonuçları

Numune Türü	No	Yük (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Standart Sapma (N/mm ²)	Ortalama Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Kırılma Tokluğu (Nmm)	Standart Sapma (Nmm)	Ortalama Kırılma Tokluğu (Nmm)
Referans	1	857	77.13	3.94	78.17	457.4	94.77	532.64
	2	804	72.36			440.8		
	3	864	77.76			514.1		
	4	915	82.35			671.6		
	5	903	81.27			579.3		
Cam Lifli	1	992	89.28	2.67	93.53	732.6	66.49	845.58
	2	1028	92.52			852.1		
	3	1060	95.40			892.4		
	4	1062	95.58			896.9		
	5	1054	94.86			852.6		
Fileli	1	935	84.15	3.21	85.63	731.3	79.91	756.06
	2	914	82.26			692.3		
	3	970	87.32			894.4		
	4	1004	90.36			746.7		
	5	934	84.06			715.6		

Numune türüne göre eğilme dayanım ortalamaları ve kırılma tokluk karşılaştırmaları Şekil 13’de verilmiştir.



Şekil 13. Seramik eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu karşılaştırması

Seramik numunelerin deney sonuçları incelendiğinde referans numunelerine göre eğilme dayanımları fileli numunelerde %9.5 ve cam lifli numunelerinde %19.5 oranında arttığı belirlenmiştir. Kırılma tokluğu referans numune sonuçlarına göre fileli seramiklerin %41.8 ve cam lifli numunelerde ise %58.6 oranında artış gerçekleşmiştir. Cam lif ile güçlendirilmiş numuneler fitilli güçlendirmeye göre eğilme dayanımında yaklaşık %9 ve kırılma tokluğunda %11.7 oranında yüksek performans göstermiştir.

3. Sonuçlar ve Öneriler

Mermer ve seramik numunelerin lifli malzemeler güçlendirilmesi konusunda yapılan eğilme testleri neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- Farklı lifler ile güçlendirilen mermer numunelerinin deney sonuçlarına göre güçlendirme yapılmamış referans mermerler ile karşılaştırıldığında, fabrikada mermer alt yüzeyine polipropilen file yapıştırılan numuneler %13.8, laboratuarda epoksi kullanılarak yapıştırılan fileli numunelerde %22.7 ve cam lif kullanılan mermer numunelerinde ise %30.8 oranında eğilme dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir.
- Mermer numunelerde kırılma tokluğu değerleri referans numnelere göre fabrikada üretilen fileli numunelerde %58, laboratuarda üretilen fileli numunelerde %62 ve cam lifli mermer numunelerinde ise %108 oranında arttığı belirlenmiştir.
- Cam lifli mermerler fabrika fitilli numunelerin eğilme dayanımından %15, kırılma tokluğu %32 oranında ve laboratuvar fitilli numunelerden ise eğilme dayanımı %6, kırılma tokluğu %28.4 oranında artmaktadır.
- Seramik numune testlerinde referans seramiklere göre eğilme dayanımları polipropilen fileli numunelerin %9.5 ve cam lifli numunelerde %19.5 oranında artmaktadır. Referans numunelerin kırılma tokluğu değerlerine göre fileli seramiklerin %41.8 ve cam lifli numunelerin %58.6 oranında artış gerçekleşmiştir. Cam lifli seramikler fitilli seramiklere göre eğilme dayanımları %9 ve kırılma tokluğu %11.7 oranında artış göstermiştir.
- Tüm numunelerde epoksi kullanılarak file ve cam lifli kumaş yapıştırılırken, güçlendirme malzemelerinin gerdirilerek yapıştırılmasının eğilme performansını artıracığı düşünülmektedir.
- Eğilme testleri sonucunda oluşan gerilmeler neticesinde tüm numunelerde güçlendirme için kullanılan liflerin kopmadığı, seramik yada mermer numunenin tespit edilmiştir. Dolayısıyla lif ve numune ara yüzeyinin geliştirilmesinin malzeme performansını artıracığı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Acar H. Doğal taşlarda çatlak tamir ve gözenek dolgu sistemleri. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem 2003) 2003; 18-19 Aralık 415-434.
- [2] Sarıışık A. ve Şentürk A. Doğaltaş tamirinde epoxy, polyester, mastik dolgulu ve çimentolu dolguların uygulanma kriterleri. Türkiye IV Mermer Sempozyumu (Mersem 2003) 18-19 Aralık 2003; 553-565.

- [3] Ning Liu, Fang Gang Liu, Guang Jin Li, Man Zhang, He Yi Ge, Jian Jun Wu.. Influence of FRP waste on the properties of unsaturated polyester resin based artificial marble. *Materials Science Forum* 2015; Vols. 809-810. pp. 264-266.
- [4] Jian Jun Wu, Ning Liu, Fang Gang Liu, He Yi Ge, Liang Yu Lv. Influence of FRP residue on the properties of epoxy based artificial granite. *Materials Science Forum* 2015; Vols. 809-810. pp. 248-251.
- [5] Zhu Jun, AI De-wu, LI Zhi-chen, LI Guo-rong. Test of bending capacity of marble strengthened with CFRP in varied humidity environment. *Journal of PLA University of Science and Technology Natural Science* 2001; 2.
- [6] Bellinia C., Polinia W., Sorrentinoa L., Turchetta S. Mechanical performances increasing of natural stones by GFRP sandwich structures. *IGF Workshop. Fracture and Structural Integrity Structural Integrity Procedia* 2016; 9:179-185.
- [7] Erdemli S. Principle of strengthening reinforced concrete structures using FRP composite material. Master of Science Dicle University. Graduate School of Natural and Applied Science June 2012.
- [8] Atmaca S. Strengthening of reinforced concrete beams using externally bonded FRP plates. Master of Science. Bogazici University 2001.
- [9] Baolin Wan, Cheng Jiang, Yu-Fei Wu. Effect of defects in externally bonded FRP reinforced concrete. *Construction and Building Materials* 2018;172: 63–76
- [10] Mohsen Heshmati, Reza Haghani, Mohammad Al-Emrani, Alann André. On the strength prediction of adhesively bonded FRP-steel joints using cohesive zone modelling. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* 2018;93: 64–78
- [11] Stehn L., Hedman-Petursson E. Resistance and thermal insulation of a composite FRP–steel beam. *Thin-Walled Structures* 2001; 39:375–394.
- [12] Kay-Uwe Schober, Annette M. Harte, Robert Kliger, Robert Jockwer, Qingfeng Xu, Jian-Fei Chen. FRP reinforcement of timber structures *Construction and Building Materials* 2015; 97: 106–118.
- [13] Antonio Borri, Marco Corradi, Andrea Grazin. A method for flexural reinforcement of old wood beams with CFRP materials *Composites: Part B* 2005; 36:143–153.
- [14] Bergner K., Tosch M., Zauer M., Spickenheuer A., Wagenführ A., Heinrich G. Process development for the manufacture of fiber reinforced wood composites (FRWC). *Construction and Building Materials* 2018; 180:275–284.