



## Evaluation of physical and mechanical properties of nonstructural composite panels used in buildings

Egemen Arabacı<sup>ID</sup>, Bekir Yılmaz Pekmezci\*<sup>ID</sup>

Istanbul Technical University, Faculty of Civil Engineering, Maslak, Istanbul, 34469, Turkey

### Highlights:

- Non-structural composite panels were experimentally studied.
- Cellulose fiber reinforced cementitious composites showed, highest strength, lowest deformation and fracture energy.
- Cementitious composite with 2.5% glass fiber has the optimum performance

### Graphical/Tabular Abstract

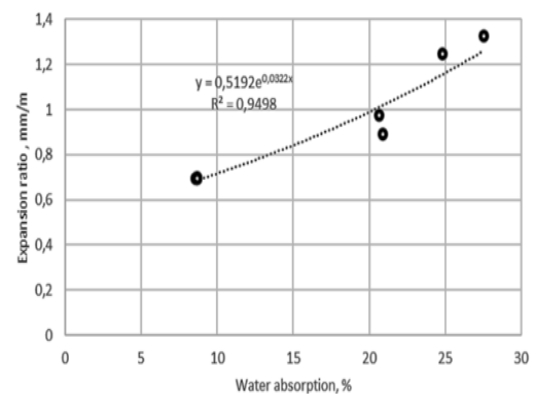
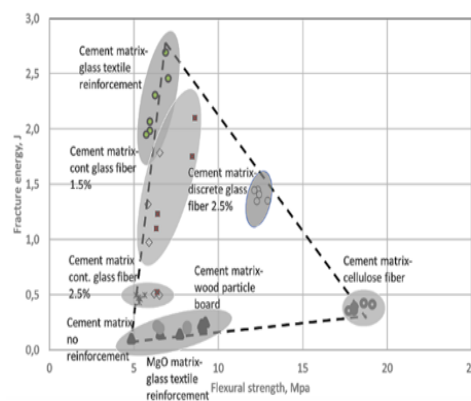


Figure A. Physical and mechanical properties of tested composites

### Keywords:

- Composite panel
- Cement-based composite
- Fiber reinforced concrete
- Textile reinforced concrete
- Flexural strength
- Tensile strength

**Purpose:** The purpose of this experimental study is to evaluate the physical and mechanical properties of composite panels used in buildings. Finding the panels having optimum properties in terms of mechanical and physical performance.

### Theory and Methods:

In this study, physical and mechanical properties of non-structural composite panels used in buildings were determined experimentally. By evaluating the results obtained from the experimental study, the performances of these panels were revealed in terms of physical and mechanical properties. While evaluating the physical performance, its properties such as water absorption and expansion under moisture are taken into consideration. In terms of mechanical properties, four-point bending strengths, fracture energies, tensile strengths and modulus of elasticity values were obtained.

### Article Info:

Research Article  
Received: 15.07.2020  
Accepted: 26.01.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.76981  
1

### Results:

Panels with optimum performance in terms of flexural strength and fracture energy have been determined. According to the results of the experimental study; While cellulose fiber reinforced cement matrix composite gives the highest strength values, cement-based textile reinforced composite panel exhibits the highest fracture energy.

### Correspondence:

Author: Bekir Yılmaz.  
Pekmezci  
e-mail:  
pekmezci1@itu.edu.tr  
phone: +90 212 285 3767

### Conclusion:

It has been concluded that glass fiber reinforced cement panels containing chopped glass fiber with 2.5% of glass fiber are the optimum solution in terms of flexural strength-fracture energy and expansion values. The formation of multiple cracks occurred in the composite produced in the industrial line with cement and glass textile. It is obtained that, it is a great advantage to have cement based and oriented fibers in textile form in the desired direction in order to obtain the preferred multiple crack formation and high toughness.



## Binalarda kullanılan yapısal olmayan kompozit panellerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi

Egemen Arabacı<sup>ID</sup>, Bekir Yılmaz Pekmezci\*<sup>ID</sup>

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Yapısal olmayan kompozit paneller deneysel olarak araştırılmıştır
- Selüloz fiber donatılı çimentolu kompozitler, en yüksek dayanım, en düşük deformasyon ve kırılma enerjisine sahiptir
- %2,5 oranında kesikli cam fiber içeren kompozit optimum performansa sahiptir

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 15.07.2020

Kabul: 26.01.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.769811

### Anahtar Kelimeler:

Kompozit panel,  
çimento esaslı kompozit,  
lif donatılı beton,  
tekstil donatılı beton,  
eğilme dayanımı,  
çekme dayanımı

### ÖZ

Bu çalışmada, binalarda kullanılan yapısal olmayan kompozit panellerin fiziksel ve mekanik özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, fiziksel ve mekanik özellikler bakımından söz konusu panellerin performansları ortaya koyulmuştur. Fiziksel performansı değerlendirilirken, su emme, rutubet altında genleşme gibi özellikleri dikkate alınmıştır. Mekanik özellikler açısından ise, dört noktalı eğilme dayanımları, kırılma enerjileri, çekme dayanımları ve elastisite modülü değerleri elde edilmiştir. Su emme ve genleşme deneyi sonuçları birlikte değerlendirilerek, bu büyüklüklerin ilişkileri ortaya koyulmuştur. Eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi bakımından optimum performansa sahip olan paneller belirlenmiştir. Deneysel çalışmanın sonuçlarına göre; en yüksek dayanımı, selüloz lifli çimento matrisli karışımlar verirken, en yüksek kırılma enerjisini ise çimento esaslı tekstil donatılı kompozit panel göstermektedir. Kesikli lif içeren cam elyaf takviyeli çimentolu panellerin ise, eğilme dayanımı-kırılma enerjisi ve genleşme değerleri bakımından optimum çözüm olduğu sonucuna varılmıştır.

## Evaluation of physical and mechanical properties of nonstructural composite panels used in buildings

### H I G H L I G H T S

- Non-structural composite panels were experimentally studied
- Cellulose fiber reinforced cementitious composites showed, highest strength, lowest deformation and fracture energy
- Cementitious composite with 2.5% glass fiber has the optimum performance

### Article Info

Research Article

Received: 15.07.2020

Accepted: 26.01.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.769811

### Keywords:

Composite panel,  
cement-based composite,  
fiber reinforced concrete,  
textile reinforced concrete,  
flexural strength,  
tensile strength.

### ABSTRACT

In this study, physical and mechanical properties of non-structural composite panels used in buildings were determined experimentally. By evaluating the results obtained from the experimental study, the performances of these panels were revealed in terms of physical and mechanical properties. While evaluating the physical performance, its properties such as water absorption and expansion under moisture are taken into consideration. In terms of mechanical properties, four-point bending strengths, fracture energies, tensile strengths and modulus of elasticity values were obtained. The results of the water absorption and expansion tests were evaluated together and the relationships of these properties were revealed. Panels with optimum performance in terms of flexural strength and fracture energy have been determined. According to the results of the experimental study; While cellulose fiber reinforced cement matrix composite gives the highest strength values, cement-based textile reinforced composite panel exhibits the highest fracture energy. It has been concluded that glass fiber reinforced cement panels containing chopped glass fiber are the optimum solution in terms of flexural strength-fracture energy and expansion values.

\*Sorumlu Yazar / Yazarlar / Corresponding Author / Authors : egemenarabaci@gmail.com; \*pekmezci1@itu.edu.tr /

Tel: +90 212 285 3767

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapıda kullanılan kompozit panel malzemeler çeşitli formdaki liflerin genellikle çimento ve diğer bağlayıcılar ile elde edilen matrisler içine gömülmesiyle elde edilmektedir. Son yıllarda kompozit panel malzemelerin yapılarda kullanımı, yapının diğer bileşenleri ile kolay uyum sağlaması, uygulama kolaylığı, stoklanabilirliği, kolay erişilebilirliği gibi nedenlerle giderek artmaktadır. Kompozit panel malzemelere olan ilginin artmasında, şantiyede yapılan kuru imalat sayesinde şantiye işçilik oranlarının ve buna bağlı olarak da sahada meydana gelebilecek kaza gibi istenmeyen durumların olasılıklarının azalması da etkili olmaktadır. Kompozit panel malzemelerin yapıdaki kullanım alanları genellikle kaplama ve tamamlayıcı ürün olmaktadır. Yeni nesil kompozit malzeme olarak adlandırılabilir olan tekstil donatılı kompozitler ise yapısal olmayan dış cephe kaplamaları, sandviç dış cephe kaplamaları [1, 2] olarak kullanılırken bununla birlikte yapısal uygulamalarda da kendine yer edinmiş ve güçlendirme sistemleri olarak kullanılmaya başlanmıştır [3]. Her iki kullanım alanında kompozitlerin davranışları deneysel olarak belirlenmiş, çeşitli hesap yöntemleri geliştirilmiş ve kompozitlerin mühendislik tasarımlarında kendine yer bulması sağlanmıştır [3, 4]. Kompozit panel malzemelerin dayanım, tokluk ve dürabilite bakımından yüksek performanslara erişmesi ile birlikte bu malzemelerin kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Kompozit malzemeler, kendi başına bazı özellikleri zayıf olan bir malzemeyi başka bir malzeme ile birlikte kullanarak zayıf özelliklerini ortadan kaldırmak suretiyle daha güçlü bir yapı oluşturmak amacıyla üretilir. Örneğin beton, basınç dayanımı oldukça yüksek bir malzeme olmasına karşın çekme dayanımı ve buna bağlı olarak eğilme dayanımı basınç dayanımına oranla oldukça düşük bir malzemedir. Bununla birlikte, betonun çekme halindeki deformasyon kapasitesi de oldukça düşük mertebededir. Betonun çeşitli mekanik etkiler altında yüksek oranda şekil değiştirebilmesi ve mekanik enerjiyi sönmülmesi için, beton içinde farklı formdaki lif donatılar kullanılmaktadır. Lif donatıların çeşitli formlarının donatı olarak kullanıldığı betonlar, çekme ve eğilme kapasitesi yüksek malzemeler haline gelirler [5]. Farklı formdaki lif kullanımıyla birlikte değişen özelliklere sahip matrislerin kullanımı da farklı ihtiyaçlara yönelik ve büyük bir alanda dağılan özelliklere sahip kompozit panel üretimlerini mümkün hale getirmiştir [6, 7]. Kompozit malzemelerde kullanılan lif donatılar, kırılmış kısa lifler, sürekli lifler ve dokunmuş tekstil formundaki lifler olabilir [8].

Çimento esaslı kompozitlerde, lifler donatı olarak kullanıldığında, daha yüksek dayanım ve dayanıklılığa sahip kompozitler elde edilebilmektedir. Böylece, kompozit daha ince kesitlerde üretilebilmektedir. Kompozitin dürabilitesinin yüksek olması ise, uzun yıllar boyunca kendi mekanik ve fiziksel özelliklerini koruyabilmenin yanında, uygulandıkları yapının da özelliklerini korumasına yardımcı olmaktadır. Bu kompozitler kendilerinin dış ortam koşullarına gösterdikleri direnç sayesinde yapıların dış ortam koşullarına karşı daha uzun yıllar dayanmasına yardımcı

olmaktadırlar. Lif donatılı kompozitlerin performansı birçok parametreye bağlıdır. Bunlar, liflerin geometrisi, boyu ve narinliği ile birlikte liflerin karışımdaki kullanım oranı olarak sıralanabilir [9]. Lif boyunun betonun mekanik ve dürabilite özellikleri üzerinde önemli ölçüde etkili olduğu daha önceki çalışmalarda ortaya koyulmuştur. Uzun liflerin oluşan çatlağın üzerine gelme olasılığı daha düşük olduğundan, çatlakların ilerlemelerini kolaylıkla engelleyemezler. Kısa lifler ise daha yüksek olasılıkla liflerin üzerine denk geleceklerinden çatlakları daha fazla köprüleyerek, kompozitin direncini arttırmaktadırlar [10]. Kısa lifler kullanıldığında kompozit içinde aynı miktarda lif kullanımı durumunda bir çatlağı köprüleyen lif miktarının artması, bu davranış üzerindeki önemli bir etken olarak vurgulanabilir. Lif donatılı kompozitlerde eğer kırılmış lif kullanılıyorsa, lif oranının artmasına bağlı olarak taze haldeki kompozitin karıştırılmasında ve kalıba yerleştirilmesinde zorluklar yaşanabilir. Bu zorlukların en önemlisi matris içerisinde fiberlerin topaklanmasıdır. Topaklanan bu fiberler, kompozit içinde kusur etkisi oluşturur. Liflerin topaklanmaması için alınması gereken önlemler arasında, matris karışımında ince agrega kullanılması, narinlik oranının belirli bir değerin üzerine çıkmaması, fiberlerin karışım kuru iken karışıma katılması, karışımda süper akışkanlaştırıcı kullanılması sayılabilir [11]. Gevrek matrislerle birlikte lif olarak genellikle [12], cam [17], aramid [13] ve PBO [14, 16, 17] bazalt [12, 15, 16], karbon [16-18] gibi lifler kompozit üretiminde kullanılmakla birlikte, bazı üretim yöntemleri ahşap yongalı veya selülozik lif donatılı kompozitlerin üretimi için daha uygundur. Ahşap yongalı paneller, ahşap yongaların çimento esaslı matris ile birbirine bağlanması sonucunda elde edilmektedirler. Bu panellerin en önemli avantajı, üretim hattının hızlı ve yüksek metrajlarda üretime izin vermesidir. Bu sayede oldukça kolay temin edilebilmektedir. Ahşap, yüz yılı aşkın bir süredir çimento esaslı malzemelerde kullanılmaktadır. Yaklaşık 90 yıldır endüstriyel olarak bu kullanım devam etmektedir. Ahşabın çimentolu matrislerde kullanımı son 40 yıl içinde önemli ölçüde hızlanmıştır. Son 40 yıl içinde, üretimde büyük kolaylıklar sağlayan asbest liflerin kanserojen olduğunun ispatlanmasından sonra ahşap lifli çimentolu matrislere olan ilgi artmıştır. Üreticiler de asbest lif donatılı çimentolu panel üretim tesislerinin bir kısmını ahşap yongalı çimentolu panel üretim tesislerine dönüştürmüştür [20]. Bu paneller çok kısa sürede inşaat sektöründe büyük ilgi görmüş ve birçok ülkede uygulanmıştır [21]. Daha sağlık riskleri ortaya çıkmamışken asbest liflere alternatif olarak selülozik lifler çimento esaslı kompozitlerin içerisinde 2. Dünya savaşı sonrası kullanılmaya başlamıştır. 1970'li yıllarda sağlık risklerinin ortaya koyulmasıyla asbest liflerin kullanımı oldukça azalmaya başlamıştır. Bunun sonucunda selülozik liflerin çimento esaslı kompozitler içinde kullanımı artmış, asbest liflerin kullanımı azalmıştır. Bazı firmalar asbest lif kullanımından, selülozik lif kullanımına geçmiştir, çimentolu kompozit panellerini selülozik lif kullanarak üretmeye devam etmiştir [22].

Lif takviyeli betonlardaki optimizasyon ihtiyaçları, liflerin kompozit içinde dokunmuş veya dokunmamış kumaş

formunda kullanılmasını da gündeme getirmiş ve tekstil donatılı betonların geliştirilmesine araştırmacılar tarafından başlanmıştır. Bu esnada üreticiler de değişen amaçlar için yapıda tekstil donatılı betonların üretimine başlamışlardır. Kesilmiş kısa fiberler, beton içerisine katıldığında düzensiz bir şekilde rastgele dağılmaktadır. Burada, fiberlerin yönleri de rastgele olmakta, ve ihtiyaç duyulan doğrultuda aktif olarak çalışan fiber oranı kısıtlı kalmaktadır. Kumaş donatılı kompozitlerde ise kumaş içindeki fiberler, istenen doğrultuda yönlendirilebilmektedir. Böylece fiberler kuvvet doğrultusunda kullanılabilir. Böylece fiberler kuvvet doğrultusunda kullanılabilir [23]. Ancak, bu kompozitlerde de kompozit performansını düşüren önemli etkiler vardır. Tekstil donatılı kompozitlerde matrisin, tekstil içine nüfuz edememesi kompozit performansını düşüren önemli bir parametre olarak gösterilmektedir. Kumaş donatılı çimento esaslı kompozitlerde, çimentolu matrisin kumaş bünyesinde bulunan fiberlerin arasında geçmesi ve kumaşın tamamının çevresini sarması, kompozitin mekanik özelliklerini arttırmaktadır [24]. Çimento esaslı matrisin fiberler arası boşluklardan geçerek kumaşın tamamına nüfuz etmesi, çimentolu matris ile kumaş arasındaki aderansı artırır. Aderanstaki artış da eğilme dayanımı gibi mekanik performansın artışına yardımcı olur. [25]. Tam tersi durumda, yani matrisin filamentlerin arasından yeterince nüfuz etmemesi durumunda, filamentlerin güçlendirme performansı azalır, buna bağlı olarak kompozitin performansı düşer [26]. Bu durumun üstesinden gelebilmek için penetrasyon oranı yüksek matrisler geliştirilmekte, bununla birlikte matrisin penetrasyonunu kolaylaştıran tekstil yapıları üzerinde de çalışılmaktadır.

Yukarıda özetlenen kompozit panel malzemeler çeşitli yöntemlerle üretilmektedirler. Üreticiler, bu metotları kullanarak üretim hatlarını oluşturmakta ve üretim hattının izin verdiği limitler dahilinde üretim yapmaktadırlar. Üretim sistemlerine uygun malzeme kullanımı sonucunda üretilen farklı kompozit malzemelerinin fiziksel, mekanik ve dürabilite özellikleri kompozit malzeme tipine göre büyük değişiklikler gösterebilmektedir. Bu kompozit malzemeler, genellikle yapısal eleman üretiminde kullanılmamaktadır. Bununla birlikte dış cephe kaplama, bölme duvarları gibi amaçlarla kullanılmakta olan kompozit malzemelerin performansı, binada kullanılan yapısal olmayan sistemlerden beklenmekte olan mekanik dayanım ve stabilitesi ile dış etkenlere karşı yüksek direnç özelliklerini etkilemektedir. Cephe kaplama malzemeleri düzlem dışı etkilere karşı stabilite göstermesi gerektiğinden, eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi büyüklükleri değerlendirmede dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte özellikle rötreye bağlı çekme şekil değiştirmesi karşısında çatlamaksızın kalabilmesi için düşük elastisite modülüne ve yüksek çekme dayanımına sahip olması beklenmektedir. Düşük su emme oranları ve düşük genleşme miktarları da düşük lineer şekil değiştirme yapmaları yönünde etkili olmaktadır. Bu deneysel çalışma kapsamında, binaların iç ve dış mekanlarında sıkça kullanılan yapısal olmayan kompozit panel malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek mevcut malzemelerin zayıf ve güçlü yönleri irdelenmiştir. Bu deneysel çalışma kapsamında, yukarıda özetlenen, inşaat sektöründe kullanılmakta olan, selüloz lifli, ahşap yongalı ve kumaş

donatılı çimento ve MgO matrisli kompozit paneller üzerinde su emme, genleşme oranının tayini, çekme ve eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında laboratuvarında üretilen kesikli ve sürekli alkali dayanımlı fiberlerin çimentolu matrisler içinde ikişer farklı oranda kullanılmasıyla elde edilen kompozit paneller de deneysel çalışma kapsamında yukarıda sıralanan deneylere tabi tutulmuştur.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDY)

### 2.1. Malzemeler ve Deney Yöntemi (Materials and Test Methods)

Deneysel çalışma kapsamında özellikleri elde edilen kompozit panel numunelerden çimento esaslı olup ahşap yongalı, selüloz donatılı, ve cam tekstil donatılı paneller ile ve MgO esaslı cam tekstil donatılı paneller, piyasada mevcut panellerdir. Bu panellerin deney numuneleri, fabrikasyon üretimden elde edilen panellerin deney ölçüsünde kesilmesiyle oluşturulmuştur. Bu numunelerin elde edildiği yukarıda bahsedilen kompozit malzemelerin üretim tesisleri oldukça büyük yatırım gerektiren ve büyük ölçekli tesisler olduğundan bu malzemeleri laboratuvarında üretmek mümkün olmamıştır. Bunun için piyasadan elde edilen ticari olarak pazarda kendine yer bulmuş olan ürünlerden numuneler alınmış ve bu numuneler üzerinde deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Sadece harç matrisinden oluşan paneller ve bu matrislere kırılmış veya sürekli cam lifi eklenmesiyle elde edilen kompozit panel numuneler laboratuvarında üretilmiştir. Bu numunelerin üretilmesinde genellikle uygulamada kullanılmakta olan ön karışımli cam lif donatılı beton karışım oranı kullanılmıştır. Üretimlerde CEMI 52,5R beyaz çimento, 0-1000 mikron kuvars kumu, polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcı ve şebeke suyu kullanılmıştır. Laboratuvarında üretilen numunelerin su/çimento oranı ve çimento dozajı sabit tutulmuştur. Elde edilen matris kullanılarak lifsiz, kırılmış lif içeren ve bir doğrultuda sürekli lif içeren kompozitler üretilmiştir. Piyasadan elde edilen ahşap yongalı, selüloz lifli ve sürekli kumaş donatılı numuneler ile laboratuvarında üretilen numunelerin karışım oranları ve lif miktarları, üretim koşullarının ve sistemlerinin farklı olması nedeniyle farklıdır. Yapılan deneysel çalışmada, laboratuvarında üretilenler de dahil olmak üzere uygulamada yaygın olarak kullanılan paneller dikkate alınarak, deneysel çalışma gerçekleştirilmiş, deneylerden elde edilen özellikleri karşılaştırılmıştır.

Endüstriyel ortamda üretilen panellerin üretiminde kullanılan hammaddeler aşağıda sıralanmaktadır. Çimento matrisli tüm panellerde, laboratuvarında üretilenler hariç, çimento olarak CEM 1 42,5 çimento kullanılmaktadır. Bununla birlikte üretilen panel tipine göre ahşap yonga ve selüloz lifler kullanılmaktadır. Tekstil donatılı panellerde cam lifleri, örülmüş kumaş formunda olup panellerde çift tabaka halinde toplam 200 g/m<sup>2</sup> cam elyafı içerecek şekilde donatı bulunmaktadır. Tekstil donatılı her iki tipte (çimento ve MgO) matris ile üretilen kompozit panellerde agrega olarak volkanik esaslı hafif agregalar kullanılmaktadır. Bunun dışındaki tüm panellerde kuvars esaslı agregalar kullanılmaktadır. Çimento esaslı panellerde bağlayıcılık çimentonun hidratasyonu ile sertleşmesi yoluyla meydana

gelirken, MgO esaslı panellerde bağlayıcılık MgO ve MgCl<sub>2</sub> arasındaki kimyasal reaksiyon sonucunda oluşmaktadır.

Numune kodları verilirken, ilk harf kompozitin matrisinin bağlayıcı cinsinin ilk harfini simgelemektedir. Buradaki Ç çimentoyu M ise MgO bağlayıcıyı göstermektedir. Tire (-) işaretinden sonra gelen simgeler ise donatı tipini ifade etmektedir. Burada AY; ahşap yonga, SL; selüloz lif, TD; cam tekstil donatı, KCL; kesilmiş veya kırılmış cam lifi, SCL ise sürekli cam lifini ifade etmektedir. KCL ve SCL kodunu takip eden rakamlar karışımdaki cam lifinin ağırlıkça yüzdesini ifade etmektedir. Matris koduna sahip numunede ise herhangi bir donatı bulunmamaktadır. Kompozitlerin bileşim özellikleri ve kalınlıkları Tablo 1’de gösterilmektedir. Laboratuvarda üretilen kompozitlerin tamamında agrega/çimento oranı ağırlıkça 1 olarak alınmıştır. Bunun sebebi cam lifli kompozit üretiminde üreticiler tarafından bu oranın kullanılıyor olmasıdır. Tüm numunelerde su/çimento oranı üretici oranlarına yakın olması bakımından 0,37 olarak seçilirken, kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkının çimento miktarına göre oranı ise %1,25 olarak seçilmiştir. Fabrika ortamında üretilen malzemelerin eğilme dayanımı ve kırılma enerjisinin belirlenmesi, çekme deneyi, su emme deneyi ile genleşme oranı tayini için hazırlanan prizma numunelerin ölçüleri

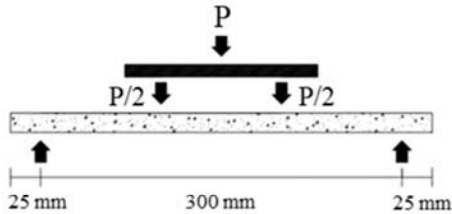
sırasıyla 350x50 mm, 350 x 40 mm, 225 x 50 mm, ve 75 x 350 mm olarak seçilmiştir. Numuneler, panellerin belirtilen ölçülerde kesilmesi ile elde edilmiştir. Laboratuvarda cam lifinin iki formu olan sürekli ve kesikli cam lifi ile üretilen numunelerin ölçüleri ise eğilme deneyi için 350 x 50 mm olarak seçilirken çekme deneyi için 350 x40 mm olarak belirlenmiştir. Bu numunelerin su emme deneyinde 225 x 50 mm ölçülerindeki numuneler kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kalınlıkları Tablo 1’de verilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan kompozit malzemelerin kalınlıklarının farklı olarak kullanılmasının iki sebebi vardır; Bunlardan birincisi; hatscek ve sürekli donatı beslemeli endüstriyel hatlarda panel üretim kalınlığının sabit olması ve panel kalınlığında yapılacak değişiklikler için tüm üretim hattında değişiklik yapılması gerektirir. İkinci sebep ise kısmen birinci sebebe bağlıdır. Tablo 1’de verilen kalınlıklar, söz konusu malzemelerin tüketicisi tarafından kullanılan ve tercih edilen, alışkanlık haline gelmiş ve piyasada söz konusu kompozit malzemeler için kullanılan kalınlıklarıdır. Burada hem üretimdeki alternatiflerin kısıtlı olması hem de piyasadaki tercihlerden dolayı bu kalınlıklar tercih edilmiştir.

Şekil 1’de dört noktalı eğilme deney sistemi verilmektedir. Her bir seriden beş numune üzerinde eğilme deneyleri

**Tablo1.** Kompozitlerin Bileşim Özellikleri ve Kalınlıkları (Mix Proportions and Thickness of The Composites)

Num.Kodu	Numune üretimi yapılan yer	Donatı Sembolü	Donatı türü	Matris türü	Kompozit içinde kullanılan donatı miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	Kalınlık (mm)	Birim hacim ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )
Ç-AY	Ü.T.	AY	Ahşap Yonga	Çimento	**	8,0	1,78
Ç-SL	Ü.T.	SL	Seliloz Lif	Çimento	**	8,0	1,43
Ç-TD	Ü.T.	TD	Cam Tekstil	Çimento	16,6	12,5	1,12
M-TD	Ü.T.	TD	Cam Tekstil	MgO	16,6	12,0	1,01
Matris	Lab.	-	-	Çimento	0	16,0	1,85
Ç-KCL-1,5	Lab.	KCL	Kesik Cam Lifi	Çimento	15	16,0	1,83
Ç-KCL-2,5	Lab.	KCL	Kesik Cam Lifi	Çimento	25	16,0	1,81
Ç-SCL-1,5	Lab.	SCL	Sürekli Cam Lifi	Çimento	12	12,0	1,74

Ü.T.: Üretim Tesisi / Lab. : Laboratuvar



(a) Dört noktalı eğilme deneyi sistemi çizim

(Four point bending test drawing)



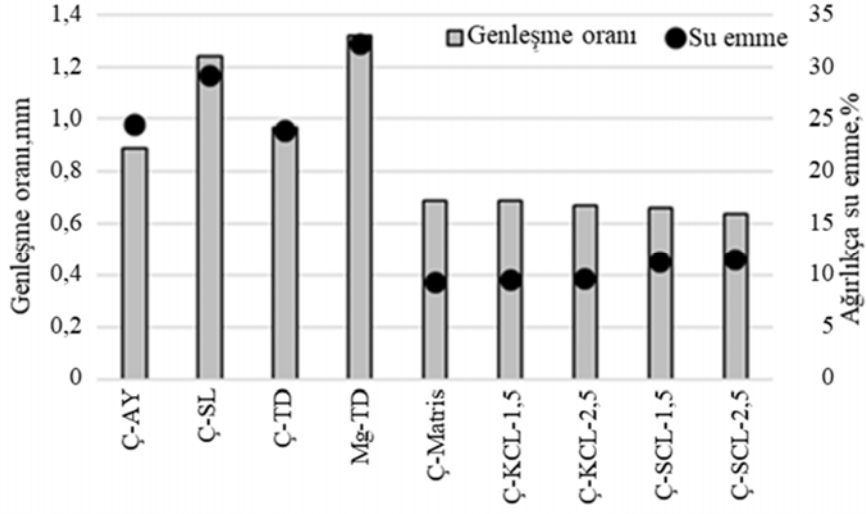
(b) Dört noktalı eğilme deney sistemi

(Four point bending test system)

**Şekil 1.** Dört Noktalı Eğilme Deney Sistemi (Four Point Bending Test System)







Şekil 3. Kompozit Panellerin Genleşme ve Ağırlıkça Su Emme Oranları (Expansion and Water Absorption Ratios of The Composites)

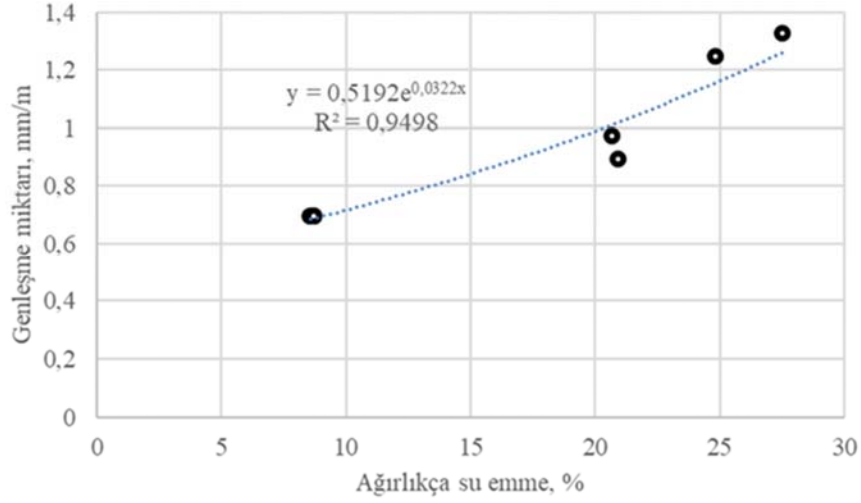
su emme kapasitesine sahip hafif agrega kullanılmış olsa da çimento matristeki düşük boşluk yapısı su emme kapasitesinin, su emme miktarını yukarıdan sınırlanmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Üretimi laboratuvarında gerçekleştirilen kesik cam lif ve sürekli cam lif donatılı çimentolu kompozit numunelerin su emme değerleri %10 mertebesinin altında elde edilmiştir. Bu değerler diğer kompozit panellere göre daha düşük mertebede kalmasının nedeni ise çimento matrisin daha düşük boşluk yapısına sahip olması ve kullanılan kuvars agregaların hafif agregalara göre düşük su emme kapasitesine sahip olmasıdır. Genleşme deneyi sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde su emme oranlarına paralel genleşme oranları elde edilmiştir. Genleşme deneyinde, rutubetin kompozit panel içine nüfuz etmesi sonucunda numune boyutunda meydana gelen değişimler elde edilmektedir. Çimento esaslı malzemelerde su emme değeri arttıkça, malzemenin rutubet altındaki boyut dağılımının arttığı bilinmektedir. Bu deneysel çalışmada incelenen paneller içerisinde en büyük şekil değiştirme MgO bağlayıcılı panelde meydana gelmiştir. Bu panellerin su emme değerlerinin de diğer panellerden daha yüksek olduğu deney sonuçlarından açıkça anlaşılmaktadır. Rutubet oranındaki genleşme miktarı yüksek su emme oranına bağlanabilir. Selüloz lifli çimentolu kompozitlerin genleşme oranları incelendiğinde ise, bu oranların MgO bağlayıcılı panellere göre daha düşük olurken diğer panellerin tümüne göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Çimento bağlayıcılı selüloz lifli panellerde bulunan yüksek orandaki selüloz liflerin bu sonuca sebep olduğu düşünülmektedir.

Selülozik lif içeren ve MgO esaslı panellerin genleşme değerleri, ahşap yongalı ve çimento esaslı kompozit panellere nazaran daha yüksektir. Bu durumun sebebi, daha yüksek su emme miktarına sahip olmaları olarak yorumlanabilir. Bununla birlikte ahşap yongalı panellerde yüksek oranda su emme durumunda, genleşmenin daha çok kalınlık doğrultusunda meydana geldiği deneyler sırasında tespit edilmiştir. Bu doğrultudaki genleşme, sebebiyle, diğer doğrultulardaki genleşme sınırlı miktarda kalmaktadır. Tüm

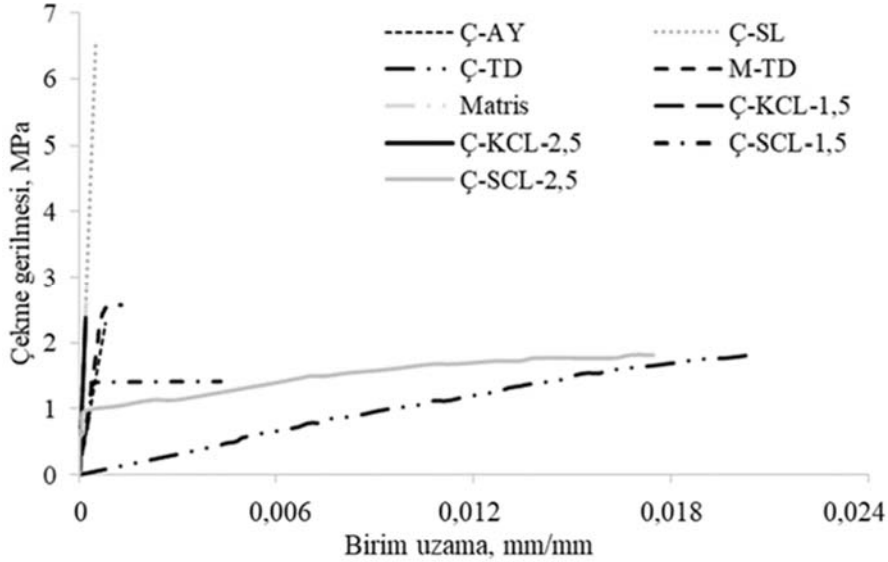
paneller içinde, en düşük genleşme oranına sahip kompozit paneller, üretimi laboratuvarında yapılan, kesik ve sürekli cam lifi içeren panellerdir.

Genleşme miktarı ile ağırlıkça su emme oranı ilişkisi Şekil 4’de verilmektedir. Bu ilişkide laboratuvarında üretilen cam lifli panellerin sonuçları birbirine oldukça yakın değerler verdiği için, bu paneller sadece bir değer olarak temsil edilmektedir. İlişkinin üstel bir fonksiyon karakterinde olduğu ve korelasyon katsayısının  $R^2=0,9498$  olduğu görülmektedir. Ağırlıkça su emme oranının artmasıyla kompozit panellerin genleşme miktarı artmaktadır. Bu beklenen durum, çimento esaslı malzemelerin su emdiğinde genleşmesine ve su kaybettiğinde büzülmesine bağlanabilir. Buradan, panellerin su kaybettiğinde, kaybedilen su miktarı ile benzer mertebelerde büzüleceği öngörülebilmektedir. Şekil 4’teki ilişkiye dayanarak su emme miktarı bilinen kompozit panellerin genleşme ve büzülme miktarlarının tahmin edilebileceği, buna bağlı olarak da özellikle dış cephede kullanımında malzemede meydana gelecek olan genleşme büzülme hareketlerinin öngörülebileceği söylenebilir.

Kompozit paneller üzerinde yapılan çekme deneyi sonuçları Şekil 5’te gösterilmektedir. Şekil 5 incelendiğinde çimento bağlayıcılı ve selüloz lifli panellerin en yüksek çekme dayanımı değerlerini gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu paneller en düşük uzama miktarına sahip panellerdir. Söz konusu kompozit panelin yüksek dayanım ve düşük uzama davranışı, panelin yük altında habersiz hasarlara uğrama olasılığının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durumun aksine, çimento bağlayıcılı ve tekstil donatılı kompozit panellerin çekme dayanımları diğer panellere kıyasla düşük ancak uzama miktarları yüksektir. Bu durum düşük yük taşıma kapasitesine rağmen panelin yüksek oranda yaptığı deformasyonlar sayesinde haberli göçme yapacağına göstergesidir. %2,5 oranında sürekli cam lifi içeren kompozitin de tekstil donatılı çimento esaslı kompozite oranla karşılaştırılabilir mertebede çekme uzaması yaptığı açıkça görülmektedir. Sürekli cam lifli



Şekil 4. Kompozitlerde Ağırlıkça Su Emme-Genleşme Miktarı İlişkisi (Water Absorption-Expansion Relation of The Composites)



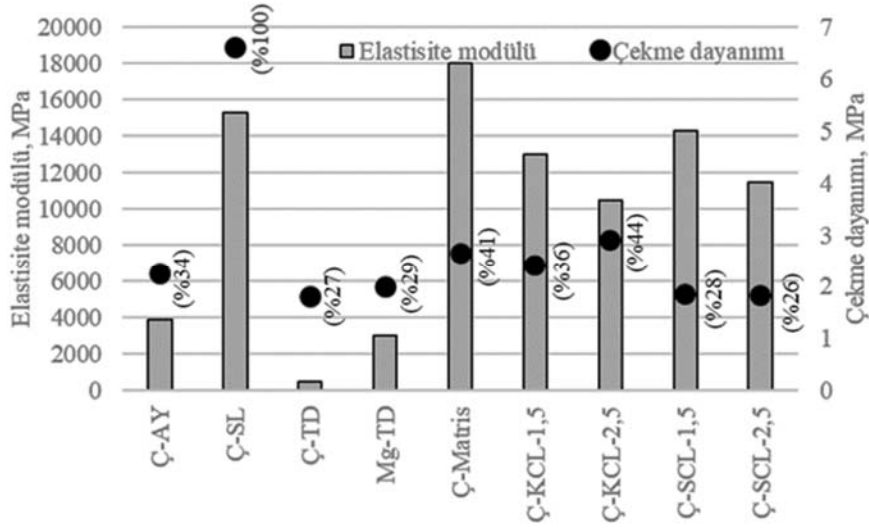
Şekil 5. Kompozitlerin Çekme Deneyinde Gerilme-Uzama ilişkisi (Stress-Strain Relations of The Composites at Tensile Test)

kompozitlerde kırılma meydana geldikten sonra yük aktarımı devam etmiştir. Buna bağlı olarak kırılma sonrasında panelin yük taşımaya devam edeceği söylenebilir. Ağırlıkça %2,5 oranında sürekli cam lifi kullanımı panellerin enerji yutma kapasitesini arttırmaktadır. %2,5 oranında kesikli cam lif içeren kompozitler de çimento esaslı selüloz fiber içeren kompozitlerden sonra en yüksek çekme dayanımına sahiptir. Elde edilen sonuçlara dayanarak, çimentolu kompozitlerin içindeki cam lifleri sürekli formda kullanarak malzemenin deformasyon kapasitesinin ve buna bağlı olarak enerji yutma kapasitesinin dikkate değer oranda arttırılabileceği sonucuna varılmıştır. Kompozitlerin ilk çatlak önceki davranışlarının matris ve matrisi oluşturan bileşenler tarafından yönetildiği yaygın olarak bilinmektedir. Bu çalışmada, üzerinde deney yapılan kompozitlerin matrislerinin de, agrega tipi, boşluk oranı ve dayanım açısından farklılıklar gösterdiği belirtildi. Farklı üretim

teknolojileri ile üretilen kompozitlerin elastisite modülleri arasındaki büyük farkların, matris tasarımındaki farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir.

Kompozitlerin çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri ile elastisite modülü değerleri Şekil 6'da verilmektedir. Şekil 6'da ayrıca kompozitlerin en yüksek dayanımlı kompozite göre bağıl çekme dayanımları da verilmektedir. Kesikli cam lifli kompozitlerde, lif oranı arttıkça elastisite modülü değerleri azalmaktadır. Bu azalma, lif ile çimento hamuru ara yüzeyi miktarının artmasına, bu fazdaki elastisite modülü değerinin her iki bileşene göre daha düşük olmasına bağlanabilir. Kesikli cam lifi içeren kompozitlerde, cam lifi oranı arttıkça aynı yük değerindeki şekil değiştirme miktarı artmaktadır. Sürekli cam lifi içeren numunelerde de elastisite modülü değeri, hiç fiber içermeyen karışımlara göre daha düşüktür. Fiber oranı %1,5 dan %2,5'a





**Şekil 6.** Kompozit Malzemelerin Çekme Dayanımı ve Elastisite Modülü Değerleri  
(Tensile Strength and Elastic Modulus Values of The Composites)

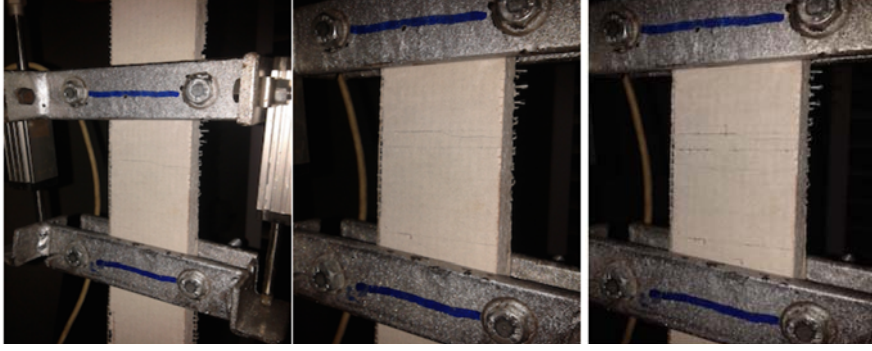
çıktığında elastisite modülü değeri yükselmektedir. Endüstriyel paneller içinde en yüksek elastisite modülü değerine selüloz lif içeren çimento matrisli panellerin sahip olduğu görülmektedir. Bu da selüloz lifli panelin yüksek kuvvetler altında en düşük deformasyonu yapan bir panel olduğunu göstermektedir.

Çekme dayanımları incelendiğinde, en yüksek dayanımı veren kompozitin selüloz lifli kompozit olduğu görülmektedir. Bağlı dayanımlar da en yüksek dayanımlı selüloz lif donatılı kompozitlere göre hesaplanıp parantez içinde verilmektedir. Selüloz lif donatılı çimentolu kompoziti, kesikli ve kesiksiz cam elyaf donatılı kompozitler ve bu kompozitlerin matrisi takip etmektedir. Lifsiz karışımın ortalama çekme dayanımı 2,71 MPa (%41) dir. Kesilmiş cam lif içeren kompozitlerin çekme dayanımı ise ağırlıkça %1,5 oranında cam lifi kullanılması durumunda 2,38 MPa (%36) olurken %2,5 oranında cam fiber kullanılması durumunda 2,89 MPa (%44) olduğu görülmektedir. Lifsiz karışıma kesikli lif eklendiğinde, çekme dayanımında dikkate değer bir artış meydana gelmediği açıkça görülmektedir. Kesikli cam lifli karışımlarda, karışımdaki lif oranı artmasının çekme dayanımı üzerinde bir artışa sebep olmadığı söylenebilir. Öyle ki ağırlıkça %1,5 oranında kesikli cam fiber içeren kompozitin çekme dayanımının lifsiz karışımdan daha düşük olduğu görülmüştür. Kesik cam lif oranı ağırlıkça %2,5 mertebesine çıktığında ise lifsiz karışıma göre ve %1,5 oranında fiber içeren karışıma göre daha yüksek çekme dayanımı değerleri elde edilmiştir. Ahşap yongalı çimento esaslı, MgO bağlayıcılı tekstil donatılı ve çimento bağlayıcılı tekstil donatılı kompozitlerin çekme deneyleri sonucunda en düşük mertebedeki çekme dayanımları elde edilmiştir. Elastisite modülü değerlerinin binalarda taşıyıcı olmayan kompozit panellerin performansı üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde yüksek elastisite modülüne sahip malzemenin düşük deformasyonlarda malzeme üzerinde büzülmeden kaynaklanan gerilmelerin daha yüksek

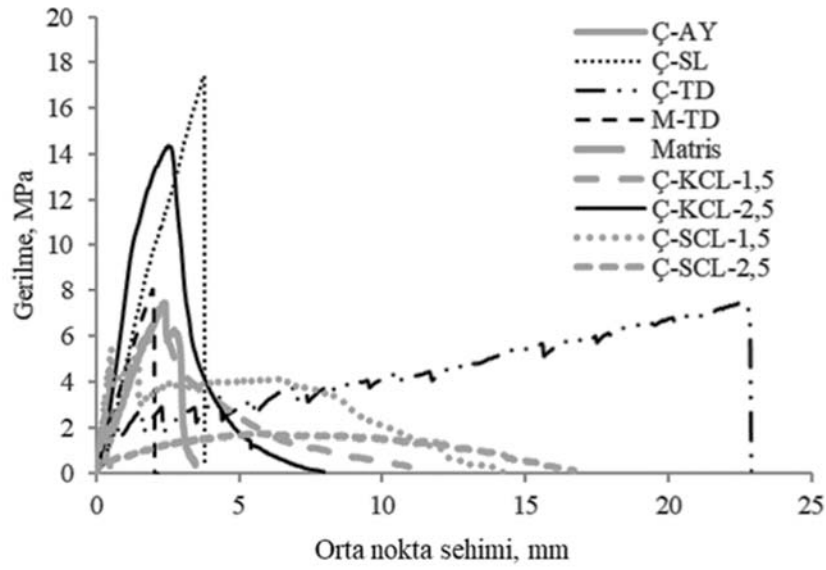
mertebede olacağı düşünülebilir. Eğer kompozit malzemenin dayanımı da düşük olursa büzülmeden kaynaklanan yüksek gerilmelerin, kompozit üzerinde çatlaklar oluşturacağı öngörülmelidir. Zira binaların cephelerinde kullanılan kompozit malzemelerde zaman içinde meydana gelen lineer çatlakların genel sebebi benzerdir. Çatlak riski, deneysel çalışma kapsamında deney uygulanan paneller içinde en yüksek, cam lifli kompozit paneller veya lifsiz kompozit panelde bulunmaktadır. Selüloz lifli panelin elastisite modülü değeri yüksek olmakla birlikte çekme dayanımı da yüksektir. Bu durum da çatlak riskini azaltmada olumlu rol oynamaktadır.

Şekil 7’de çekme deneyi sonlarına doğru deney esnasında çekilmiş olan tekstil donatılı çimento esaslı kompozite ait görüntü verilmektedir. Deney sırasındaki numune görüntüsü incelendiğinde, çekme gerilmelerinin etkisiyle numunede çok sayıda mikro çatlağın meydana geldiği görülmektedir. Çok sayıda mikro çatlağın oluşması, bu tip kompozitlerde oluşması istenen bir durumdur çünkü bu, çok sayıda mikro çatlak nedeniyle malzeme, yüksek oranda şekil değiştirme yapmaktadır. Çatlak sayısındaki artış çekme sünekliğinin artmasına sebep olmaktadır [27]. Bu da malzemenin yüksek oranda kırılma enerjisi yutmasıyla sonuçlanmaktadır.

Test edilen kompozitlerin dört noktalı eğilme deneylerinden elde edilen gerilme-orta noktadaki sehim grafikleri Şekil 8’de gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde dört noktalı eğilme deneyinde, gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin panellere göre farklılıklar gösterdiği açıkça görülmektedir. Grafik incelendiğinde sürekli cam lifi içeren çimentolu panellerin tamamının diğer tüm panellere oranla yüksek oranda deformasyon yaparak daha fazla enerji yuttukları görülmektedir. Burada tekstil donatılı çimentolu kompozitlerin yaptığı yüksek orandaki deformasyon da mutlaka göz önüne alınmalıdır. Zira cam tekstiller de cam liflerin sürekli bir formu olarak dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte ahşap yongalı ve selüloz lifli çimentolu panellerin



**Şekil 7.** Çimento Esaslı Tekstil Donatılı Kompozit Panelin Çekme Deneyi Esnasında Görüntüsü  
(Picture Taken During Tensile Test of Cement Based Textile Reinforced Composite)



**Şekil 8.** Kompozitlerin Dört Noktalı Eğilme Deneyinde Gerilme-Orta Nokta Sehim İlişkileri  
(Stress-Deflection at Mid-span Relations of The Composites at Four Point Bending Test)

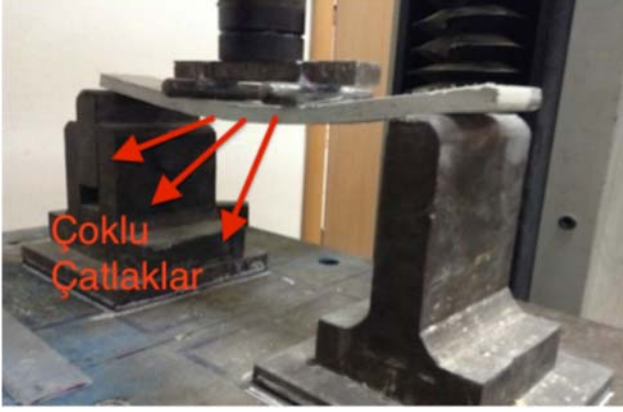
eğilme dayanımlarının diğer panellere göre dikkate değer oranda yüksek olduğu dikkati çekmektedir. Selüloz lifli panelin eğilme dayanımı 18 MPa mertebesine ulaşmaktadır. Bu paneller yüksek eğilme dayanımı sayesinde yüksek mekanik dayanım sergilemektedir ancak, yapı malzemelerinde ihtiyaç duyulan yüksek tokluk ve yüksek plastik şekil değiştirme kapasitesi gibi özelliklerin sürekli cam lif içeren çimentolu matrisli kompozitlerde kolaylıkla elde edildiği söylenebilir.

Şekil 9'da eğilme deneyi sırasında tekstil donatılı çimentolu kompozitin çekilen fotoğrafı görülmektedir. Panelin yapmış olduğu yüksek orandaki deformasyonun mertebesi şekilde kolaylıkla ayırt edilmektedir. Yüksek orandaki deformasyon, kompozit üzerinde meydana gelen çok sayıda çatlağa bağlı olarak gelişmektedir.

Kompozitlerin eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi değerleri Şekil 10'da gösterilmektedir. Şekil 10'da ayrıca kompozitlerin en yüksek dayanımlı kompozite göre bağlı eğilme dayanımları da verilmektedir. Panel numunelerinin

eğilme deneyi sonuçlarına göre çimento matrisli ve selüloz lifli panellerin eğilme dayanımları 18,37 MPa olarak elde edilmiştir. Elde edilen eğilme dayanımı değerinin diğer panellerin eğilme dayanımlarından daha yüksek mertebede olduğu açıktır. Ancak numunenin deney sırasındaki göçme moduna bakıldığında söz konusu numunenin ani göçme gösterdiği ve göçmeden önce herhangi bir plastik deformasyon yapmadığı gözlenmiştir. Şekil 8'de verilen grafik incelendiğinde kırılma öncesinde yüksek oranda deformasyon meydana gelmediği açıkça görülmektedir. Selüloz lifli çimento bağlayıcılı kompozit, kırılma aşamasına kadar 4 mm deformasyon yapmaktadır. En büyük yük değeri en yüksek deformasyon miktarında taşınmaktadır. Numune üzerinde kırılma anına kadar çoklu çatlak oluşumu gözlenmemiş olup, numune tek bir makro çatlak gelişmesi ve genişlemesi ile göçmektedir. Buna bağlı olarak kompozitin enerji yutma kapasitesi oldukça düşük mertebelerde kalmakta ve kompozit gevrek davranış sergilemektedir. Eğilme deneyi sonucunda selüloz lif donatılı çimentolu panel için elde edilen davranışın çekme deneyinden elde edilen sonuçlarla paralel olduğu

anlaşılmaktadır. Çekme deneyi sonucunda da benzer davranış göstererek, selüloz lifli panel tek bir makro çatlak sonucunda göçmüştür.



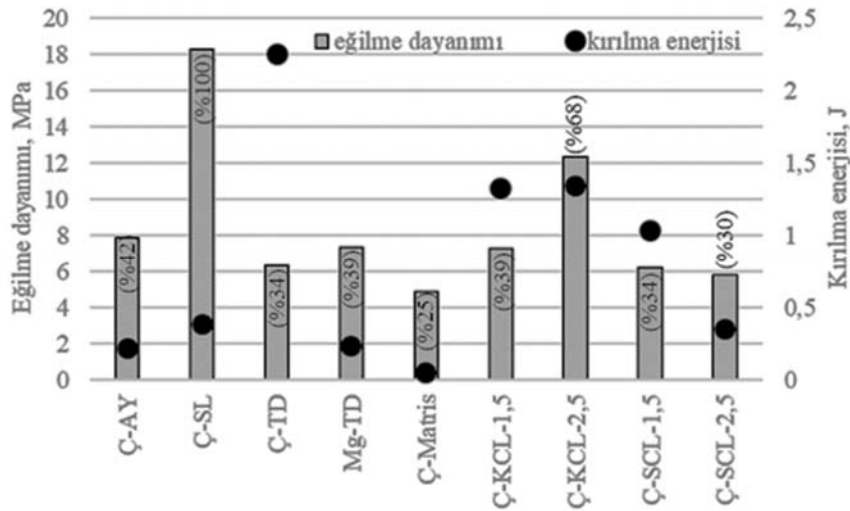
**Şekil 9.** Eğilme Deneyi Sırasında Çimento Esaslı Tekstil Donatılı Panel

(Cement Based Textile Reinforced Panel During Bending Test)

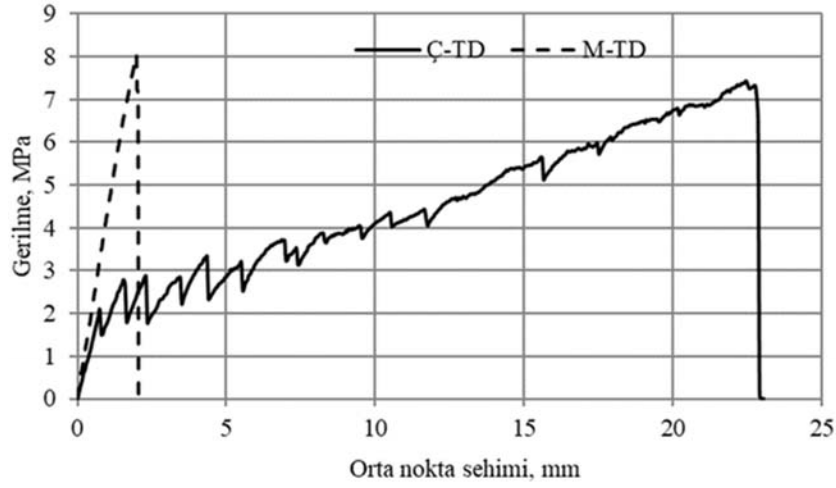
Bağıl dayanımlar en yüksek dayanımlı selüloz lif donatılı kompozitlere göre hesaplanıp parantez içinde verilmektedir. Ahşap yongalı ve çimento matrisli panellerin eğilme dayanımları 7,74 MPa (%42) olarak elde edilmiştir. Bu panellerin kırılma enerjileri ise 0,18 J'dür. Bu panellerde de çoklu çatlak oluşumu gözlenmediği için çatlakların yükselttiği kırılma enerjisi, düşük mertebelerde kalmıştır. Ahşap yonga içeren paneller tekstil donatılı panellerin yaptığı mertebede uzama yapmadığı açık olarak görülmektedir. Ahşap yongalar, diğer lifler gibi çekme doğrultusunda yük aktaramamakta, ahşap yonga ile çimentolu matris arayüzünde kayma meydana gelmemekte, ahşap yongalar kendilerinin düşük çekme dayanımına bağlı olarak çekme göçmesine uğramakta ve tüm bunlara bağlı olarak mekanik davranış yukarıda anlatıldığı gibi olmaktadır. MgO esaslı matrise sahip ve tekstil donatı içeren kompozitlerin eğilme dayanımları 7,12 MPa (%39) olarak

elde edilmiştir. Bununla birlikte söz konusu kompozit, ulaştığı en büyük yükü takiben ani kırılma ile göçmektedir. Bu davranış Şekil 8' de verilen yük-yer değiştirme ilişkisinde açıkça görülmektedir. Bu panelde, donatı olarak tekstil kullanılmasına rağmen, panel ani kırılma göstermektedir ve sünek bir davranış sergilememektedir. MgO ve çimento esaslı cam tekstil donatılı kompozitlerin performanslarının detaylı karşılaştırılması aşağıdaki paragraflarda yapılmaktadır. Şekil 11'de çimento ve MgO olmak üzere iki farklı matrise sahip ve tekstil donatılı kompozitlerin eğilme ve çekme deneyinde gerilme şekil değiştirme grafikleri verilmiştir. Çimento matrisli ve MgO matrisli kompozitlerin eğilme ve çekme davranışları incelendiğinde; MgO bağlayıcılı matrisin eğilme ve çekme dayanımlarının çimento esaslı matris içeren kompozitlere göre daha yüksek olduğu, bununla birlikte deformasyon oranlarının çimento matrisli kompozite göre çok düşük mertebelerde kaldığı açıkça görülmektedir. Eğrilerin altındaki alan hesaplandığında, çimento esaslı kompozitin tokluğunun MgO esaslı kompozit panele göre dikkate değer mertebede yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

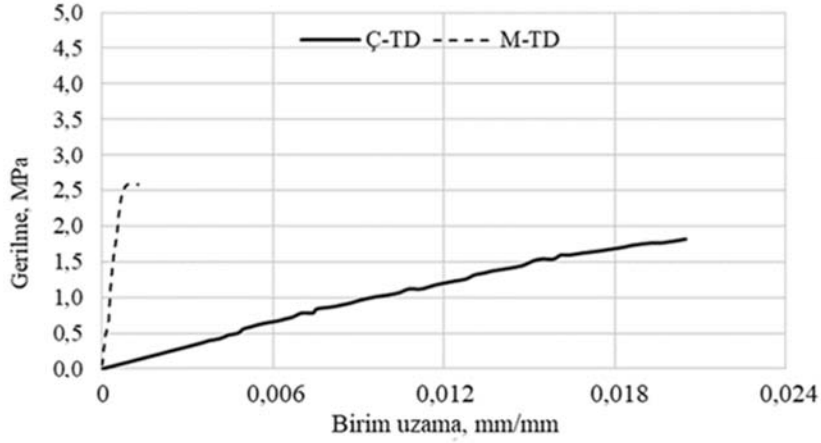
Kompozit panellerin eğilme dayanımı-kırılma enerjisi ilişkileri Şekil 12'de gösterilmektedir. Kompozit panellerin mekanik performansı mekanik dayanım ve stabilite açısından değerlendirildiğinde, eğilme dayanımının kendisinden beklenen dış yükleri taşıyabilir mertebede olması, bununla birlikte, yeterli sünekliği göstererek habersiz göçmelere izin vermemesi gerekir. Kırılma enerjisi ile eğilme dayanımı ilişkisi incelendiğinde kompozit malzemelerin çoğunlukla bir üçgen üzerine yerleştiği söylenebilir. Üçgenin sol kenarında, daha çok, eğilme dayanımı düşük olan kompozitler yerleşmişlerdir. Kırılma enerjisi ve eğilme dayanımı en düşük olan numune, hiçbir donatı içermeyen ve laboratuvarında üretimi yapılan matris numunesidir. Tekstil donatılı çimento esaslı numune ise dayanımı nispeten düşük ancak kırılma enerjisi yüksek bir kompozit olarak görülmektedir. Selüloz lifli çimentolu kompozit ise yüksek eğilme dayanımı ve düşük kırılma



**Şekil 10.** Kompozitlerin Eğilme Dayanımı ve Kırılma Enerjisi Değerleri (Flexural Strength and Fracture Energies of The Composites)

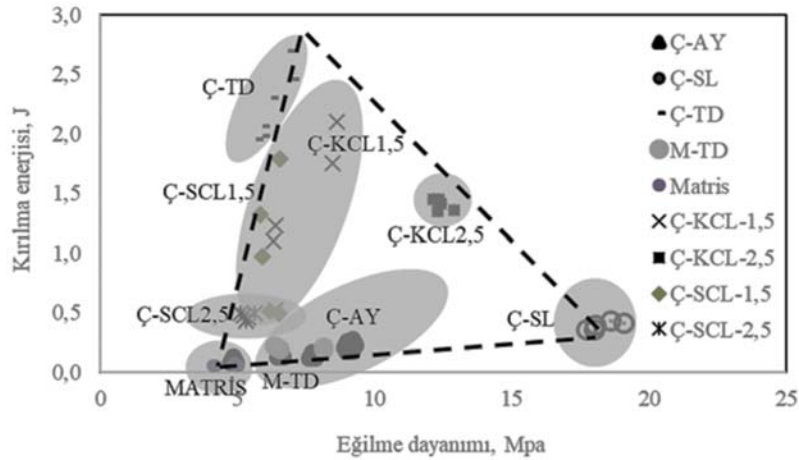


(a) Eğilme deneyi (Flexural test)



(b) Çekme deneyi (Tensile test)

**Şekil 11.** Cam Tekstil Donatılı Çimento ve MgO Esaslı Panellerin Eğilme ve Çekme Deneyi Sonuçları  
(Flexural and Tensile Test Results of Glass Textile Reinforced Cement and MgO Based Composites)



**Şekil 12.** Kompozit Panellerin Eğilme Dayanımı-Kırılma Enerjisi İlişkileri  
(Flexural Strength-Fracture Energy Relations of The Composite Panels)

enerjisi ile dikkat çekmektedir. Burada, laboratuvarıda üretimi yapılan numunelerden sürekli ve kesikli cam lifli

kompozitlerin performanslarının genişleme ve su emme oranının minimum değerinde olması bir kriter olarak

alındığında, iki parametrelili lineer optimizasyon yapılsa, kırılma enerjisi ve eğilme dayanımının ağırlıkları eşit alındığında, bir kompozitin kendinden beklenen optimum performansı sağladıkları görülmektedir. Yani kendilerinden beklenen, üzerlerine etki edecek kadar yükü taşıyabilecek, aynı zamanda ani kırılmaya izin vermeyecek kadar süneklik ve kırılma enerjisine sahip malzemelerdir.

### 3. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmıştır. Yapıda kullanılan ve yapısal olmayan kompozit panellerin su emme oranı ile şişme miktarı arasında bir ilişki bulunmaktadır. Su emme oranı yüksek olan kompozit paneller rutubet altında daha yüksek mertebede uzamaktadır.

Çoklu çatlak oluşumu çimentolu ve cam tekstil donatılı endüstriyel hatta üretilen kompozitte meydana gelmiştir. Yüksek oranda tokluk elde etmek için tercih edilen çoklu çatlak oluşumunun elde edilmesi için çimento esaslı ve fiberlerin tekstil formunda istenen doğrultuda yönlendirilmiş olmasının büyük avantaj sağladığı görülmektedir. Çimento bağlayıcılı matris ve selüloz fiberler kullanılarak üretilen kompozit paneller, yüksek eğilme dayanımı göstermesine rağmen göçme anına kadar çoklu çatlaklar belirlenmemiştir ve bu kompozitlerde gevrek bir kırılma davranışı gözlenmiştir. Bu paneller, düşük deformasyon kapasitesine bağlı olarak düşük kırılma enerjisine sahiptirler. MgO bağlayıcılı matris içeren cam tekstil donatılı kompozitin çimento esaslı bağlayıcı içeren matrisle oluşturulan kompozite göre eğilme çekme dayanımları dikkate değer oranda yüksektir. Ancak, söz konusu kompozitin tokluk değerleri cam tekstil içeren çimento esaslı bağlayıcılı matris ile üretilmiş olan kompozite göre önemli mertebede düşüktür. Çimento bağayıcı matrisli ve ahşap yonga içeren kompozitlerin yük altındaki deformasyon miktarları düşüktür. Çatlaklar oluşmaya başladıktan sonra, matris ile ahşap yonga arayüzünde yük aktarılamadığı için ahşap yongalar düşük çekme kapasitesine bağlı olarak göçmüştür. Buna sebebe bağlı olarak kompozitte oldukça düşük kırılma enerjisi ve eğilme dayanımı belirlenmiştir. Sürekli cam lif içeren çimentolu matrisli kompozitler en yüksek deformasyon değerlerini gösterirken, selüloz lif ve ahşap yonga içeren çimentolu kompozitler en yüksek dayanıma sahiptir. Bu kompozitlerin deformasyon miktarları cam lif içeren kompozitlere oranla sınırlı kalmıştır.

Su emme deneyi sonuçlarına göre en yüksek su emme değerleri MgO bağlayıcılı kompozit panellerde elde edilmiştir. Bununla birlikte çimento matrisli, selüloz ve ahşap lifli panellerin su emme oranlarının yine çimento matrisli ancak tekstil donatılı panele göre daha yüksek mertebede olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, selüloz ve ahşap liflerin yüksek su emme kapasitesine bağlanmaktadır. Çimento bağlayıcılı matrisli ve cam fiber donatılı numunelerin su emme deneyi sonuçları değerlendirildiğinde, içerisindeki fiber tipi ve oranından bağımsız olarak elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu ancak elde

edilen sonuçların endüstriden temin edilen diğer kompozit panellerden çok düşük olduğu belirlenmiştir. Genleşme oranı deney sonuçlarına göre, MgO matrisli cam tekstil donatılı kompozitin en yüksek genleşme oranını gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu panelin aynı zamanda en yüksek su emme oranına sahip panel olduğu da belirlenmiştir. Laboratuvarında üretimi gerçekleştirilen çimento esaslı cam fiber donatılı kompozitlerin genleşme oranlarının ise bu kompozitlerin su emme oranlarına paralel olarak tüm kompozitler arasında en düşük değere sahip olduğu sonucu elde edilmiştir. Düşük genleşme oranlarının, düşük su emme oranlarından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Deneysel çalışma kapsamında yapılan eğilme dayanımı, kırılma enerjisi, su emme oranı ve genleşme oranı tayini deneylerinin sonuları bir arada değerlendirildiğinde %2,5 oranında kesikli cam fiber ile üretilen kompozit panellerin, eğilme dayanımı ve süneklik oranı büyüklüklerine göre optimum performansa sahip kompozit panel olduğu ve özellikle dış cephe uygulamalarında kendinden beklenen özellikleri karşıladığı sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, bu çalışmada deneysel olarak incelenen numuneler ile sınırlı olup, varılan genel sonuçlar incelenen kompozit tipleri ile ilgili genel yargılar içermemektedir.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Portal N. W., Flansbjerg M., Zandi K., Wlasak L., Malaga K., Bending behaviour of novel textile reinforced concrete-foamed concrete (TRC-FC) sandwich elements, *Composite Structure (Compos. Struct.)* 177, 104–118, 2017.
2. Dey V., Zani G., Colombo M., Di Prisco M., Mobasher B., Flexural impact response of textile-reinforced aerated concrete sandwich panels, *Materials and Design (Mater. Des.)* 86, 187–197, 2015.
3. ACI 549.4-R20: Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix and Steel-Reinforced Grout Systems for Repair and Strengthening of Concrete Structures, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA, 2020.
4. Colombo I.G., Colombo M., Di Prisco M., Bending behaviour of textile reinforced concrete sandwich beams, *Construction and Building Materials (Constr. Build. Mater.)* 95, 675–685, 2015.
5. Ersoy, H. Y., *Kompozit Mazleme, Literatür Yayınları: 66*, İstanbul, Türkiye, 2001.
6. Gibson, F., Ronald, Principles of Composite Material Mechanics, McGraw Hills Inc., New York, USA, 1994.
7. Peled A., Bentur A., Fabric structure and its reinforcing efficiency in textile reinforced cement composites, *Composites, Part A Applied Science and Manufacturing (Composites: Part A)*, 34 (2), 107-118, 2003.
8. Çelik R., Farklı türde kumaş donatılı çimento esaslı kompozitlerin eğilme performanslarının karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.

9. Kurt G., Lif içeriği ve su/çimento oranının fibrobetonun mekanik davranışına etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
10. Betterman L.R., Quyang C., and Shah S.P., Fiber-matrix interaction in microfiber-reinforced mortar, *Advanced Cement Based Materials (Adv. Cem. Bas. Mater)*, 2, 53-61, 1995.
11. Özyurt N., Ultra yüksek dayanımlı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 2000.
12. Tetta Z.C., Triantafillou T.C., Bournas D.A., On the design of shear-strengthened RC members through the use of textile reinforced mortar overlays, *Composites Part B: Engineering, (Composites, Part B)*, 147, 178-196, 2018.
13. Trapko T., Confined concrete elements with PBO-FRCM composites, *Construction and Building Materials (Constr. Build. Mater.)* 73, .332–338, 2014.
14. D'Ambrisi A., Feo L., Focacci F., Experimental analysis on bond between PBO-FRCM strengthening materials and concrete, *Composites Part B: Engineering (Composites, Part B)*, 44 (1), 524-532, 201.
15. Lignolaa G.P., Caggegi C., Ceroni F., De Santis S., Krajewski P., Lourenço P.B., Morganti M., Papanicolaou C., Pellegrino C., Prota A., Zuccarino L., Performance assessment of basalt FRCM for retrofit applications on masonry, *Composites Part B: Engineering (Composites, Part B)*, 128 (1), 1-18, 2017.
16. Donnini J., Corinaldesi V., Mechanical characterization of different FRCM systems for structural reinforcement, *Construction and Building Materials, (Constr. Build. Mater)*, 145 (1), 565-575, 2017.
17. Younis A., Ebead U., A Study on The Bond Behavior of Different FRCM Systems, *International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, Cape Town, South Africa*, 2018
18. Donnini J., Corinaldesi V., Nanni A., Mechanical properties of FRCM using carbon fabrics with different coating treatments, *Composites Part B Engineering (Composites, Part B)* 88, 220–228, 2016.
19. ACI 239-R18, *Ultra-High-Performance Concrete: An Emerging Technology Report*, American Concrete Institute, Country Club Drive Farmington Hills, MI 48331, 2018.
20. Frybort S., Mauritz R., Teischinger A., Müller U., Cement bonded composites – a mechanical review, *Bio Resources*, 3 (2) 602-626, 2008.
21. Ajayi B., The Dimensional Stability and Strength Properties of Inorganic Bonded Particleboards Made From Eupatorium Odorata Particle, 62nd Forest Products Society Conference, St Louis, Missouri, USA, 27-35, 2008.
22. Wolfe R., Gjinolli A., Cement-bonded Wood Composites as an Engineering Material, in *The Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications*, USDA Forest Service and Forest Products Society Proceedings No. 7286, 84-91, 1997.
23. Hegger J., Voss S., Investigations on the bearing behaviour and application potential of textile reinforced concrete, *Engineering Structures (Eng. Struct.)*, 30, 2050-2056, 2008.
24. Peled A., Cohen Z., Pasder Y., Roye A., Gries T., Influences of textile characteristics on the tensile properties of warp knitted cement based composites, *Cement and Concrete Composites (Cem. Concr. Compos)*, 30, 174-183, 2008.
25. Peled A., Bentur A., Yankelevsky D., Effects of woven fabric geometry on the bonding performance of cementitious composites, *Advanced Cement Based Materials (Advn. Cem. Bas. Mat.)*, 7, 20-27, 1998.
26. Peled A., Sueki S., Mobasher B., Bonding in fabric - cement systems: effects of fabrication methods, *Cement and Concrete Research (Cem. Concr. Res.)*, 36 (9), 1661-1671, 2006.
27. Yıldırım T., Felekoğlu K.T., Gödek E., Keskinateş M., Felekoğlu B., Önal O., Investigation of multiple cracking behavior of cement-based fiber composites by digital image correlation method, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 34 (1), 479-493, 2019.