



# YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

## YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ İNŞAAT FAKÜLTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ YAPI MALZEMELERİ ANABİLİM DALI

### 1. KONU

İlgi yazının ekindeki Er Prekast Şirketi adına imzalı dilekçede Er Prekast Yapı Elemanları firmasının ürettiği Fiber Beton Takviyeli Prekast Panel ürünlerinin TS EN 1170-1, 2, 3, 4, 5, 6 ve TS ISO 8302 standartlarına uygun olarak deneylerinin yapılması ve sonuçları ile ilgili bir rapor hazırlanması istenmiştir.

### 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Cephe kaplamasında kullanılacak olan cam elyaf takviyeli çimento esaslı prekast panellerde slamp deneyi, yıkama ve püskürtme ile lif içeriğinin ölçülmesi, basit eğilme deneyi, tam eğilme deneyi, su emme ve kuru yoğunluk deneyi ile ısı yalıtım deneyleri ilgilisi tarafından üretilip laboratuvarımıza getirilen numuneler üzerinde, TS EN 1170-1 [1], TS EN 1170-2 [2], TS EN 1170-3 [3], TS EN 1170-4 [4], TS EN 1170-5 [5], TS EN 1170-6 [6] ve TS ISO 8302'e [7] göre yapılmış ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

#### 2.1 Numunelerin Hazırlanması

Taze harç deneyleri, üretici firmanın fabrikasında üretim hemen sonra yerinde gerçekleştirilmiştir. Sertleşmiş harç deneyleri için, numuneler Er Prekast Yapı Elemanları firması tarafından ilgili standartlarda belirtilen plaka boyutlarında üretilerek Yapı Malzemeleri Laboratuvarına teslim edilmiştir. Numuneler tek tiptir ve aynı karışım oranlarında üretilmiştir. Üretici firma beyanına göre; 1 m<sup>3</sup> harç içerisinde su/çimento oranı 0,36 olan karışım için 1111 kg CEM I 52,5 R beyaz çimento, 889 kg silis kumu, 667 kg 1,5 cm uzunluğunda cam elyaf lif, 400 kg su ve çimento ağırlığının %5'i oranında akışkanlaştırıcı kullanılarak üretimler yapılmıştır.

#### 2.2 Matriks Kıvamının Ölçülmesi (Slamp Deneyi)

TS EN 1170-1'e [1] göre, cam elyaf takviyeli çimentonun, lifsiz kısmını teşkil eden kum, çimento, su ve kimyasal katkıdan oluşan matriks fazında deney yapılmıştır. Deney için iç yüzeyi pürüzsüz 55±0,5 mm yüksekliğinde, iç çapı 57±0,5 mm olan plastik bir boru ve yüzeyi pürüzsüz bir plaka kullanılmıştır. Plaka ve boru parçasının iç kısmı nemli bir bez ile temizlendikten sonra, püskürtme işleminde pompa ağzından yaklaşık 200 cm<sup>3</sup> kadar alınan matriks boru parçası içerine doldurularak birkaç saniye hava kabarcıklarının çıkması beklenmiştir. Daha sonra mala ile matriksin yüzeyi düzeltilerek boru parçası yavaşça düşey olarak kaldırılmıştır. 30 s beklendikten sonra yayılan matriksin çapı ölçülerek *yayılma değeri 75 mm* olarak belirlenmiştir.

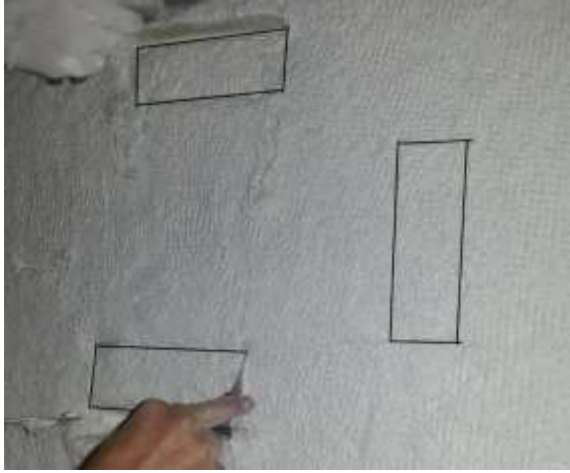
#### 2.3 Taze Cam Elyaf Takviyeli Çimentoda Lif İçeriğinin Ölçülmesi (Yıkama Deneyi)

Püskürtme cam elyaf takviyeli çimentonun lif içeriğinin belirlenmesi için TS EN 1170-2'de [2] tanımlanan yıkama deneyi yapılmıştır. Bunun için 80x80 cm boyutlarında düz bir plakanın yüzeyi, üretim koşulları (püskürtme) altında tamamen kaplanmış, 15-30 dakika sonra oluşturulan panellerin orta kısımlarından 150±2 mm x 50±2 mm boyutlarında üç adet numune Şekil 1a'da gösterildiği gibi kesilmiştir.



# YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

3 mm elek göz açıklığına sahip elekler tartıldıktan sonra numuneler sırası ile eleklere yerleştirilmiş ve tekrar tartılmıştır. Matriksin tamamen temizlenmesi için numuneler akarsu ile yıkanmıştır. İçerisinde sadece lif kalan elekler (Şekil 1b) 105±5 °C etüvde 4 saat kadar bekletilerek kurutulmuş ve elekler liflerle birlikte tekrar tartılmıştır. Hesaplanan kütlece yüzde lif içerikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Buna göre ortalama **lif içeriği (G<sub>c</sub>) %3,32** olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1a-b: Yıkama deneyinde kesilmiş numune ve elek üzerindeki lif miktarı

Çizelge 1: Kütlece yüzde lif içerikleri

| Numune Kodu | G <sub>c</sub> , % | Ortalama G <sub>c</sub> , % |
|-------------|--------------------|-----------------------------|
| 1           | 3,40               | 3,32                        |
| 2           | 3,41               |                             |
| 3           | 3,11               |                             |



# YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

## 2.4 Püskürtme Cam Elyaf Takviyeli Çimentonun Lif İçeriğinin Ölçülmesi

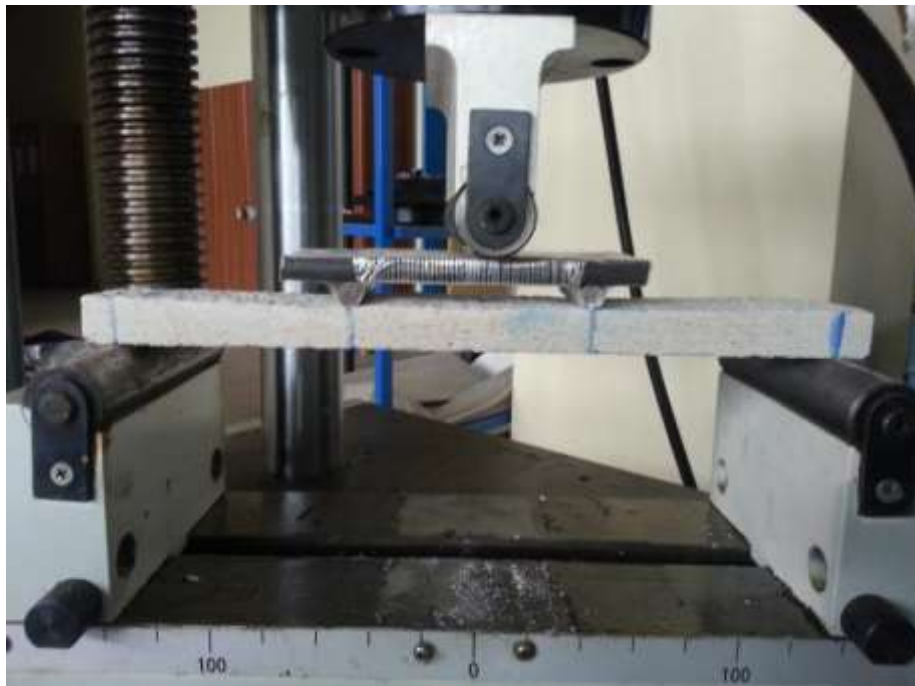
TS EN 1170-3'de [3] açıklanan deney metodu ile imalat esnasında püskürtme cam elyaf takviyeli çimentonun lif içeriği tayin edilmiştir. Öncelikle yaklaşık 10 litre kapasiteli boş bir kap ve üretimde kullanılacak cam elyaf rulosu tartılmıştır. Daha sonra püskürtme vanası ve kronometre 30 saniyeden az olmamak koşuluyla çalıştırılarak kap doldurulmuş ve ağırlığı belirlenmiştir. Cam elyaf rulosu tekrar tartılarak ilgili standart Madde 6'da tanımlanan şekliyle lif içeriği hesaplanmıştır. Buna göre, kütlece yüzde ***lif içeriği (Gc) %5,38*** olarak belirlenmiştir.

## 2.5 Eğilme Dayanımı Tayini (Basit Eğilme Deneyi)

Cam elyaf takviyeli çimento numunelerinin eğilme dayanımını belirlemek amacıyla TS EN 1170-4'e [4] göre üretici firma tarafından 500x800mm boyutlarında üretilerek laboratuvarımıza teslim edilen numunelerden 7. günde kesilen parçalarda dört noktalı eğilme deneyi yapılmıştır.

Numune kalınlıkları ortalama  $20 \pm 2$  mm olduğu için standartta belirtilen sınır şartlarına göre, deney parçalarının uzunlukları (l) 325 mm, kalınlıkları (b) 50 mm, mesnet açıklığı (L) 300 mm olarak belirlenmiştir.

Üretici firma tarafından 2. gününde laboratuvarımıza teslim edilen paneller 6 günlük olana kadar, gerçek imalatı temsil edecek şekilde  $20 \pm 2$  °C ve %65 bağıl nem koşullarında depolanmıştır. Panellerin kesilmesi ile elde edilen 8 adet numune daha sonra  $20 \pm 2$  °C'de su dolu tank içerisinde 24 saat bekletilmiştir. Deney parçaları su dolu tanktan çıkarıldıktan ½ saat içerisinde Şekil 2'de gösterildiği gibi deneye tabi tutulmuşlardır. Yük,  $10 \pm 1$  N/s'lik hızla yavaş olarak yüklenmiştir. Deney esnasında okunan maksimum değer FMOR, kırılma yükü olarak kaydedilmiştir.





# YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

**Şekil 2:** Eğilme dayanımı deney düzeneği kırılmadan sonra deney parçalarının kalınlığı ve genişliği kırılmanın olduğu yerden ölçülmüş, daha sonra her bir numune tartılarak  $105\pm 5$  °C 'ye ayarlı etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Eğilme dayanımı ve su içeriği değerleri ilgili standart Madde 6'da belirtildiği şekilde hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 2:** Eğilme dayanımı ve su içeriği değerleri (7. gün)

| Numune Kodu | Eğilme Dayanımı, $\sigma_{MOR}$ (MPa) | Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa) | Su İçeriği, W (%) | Ortalama Su İçeriği (%) |
|-------------|---------------------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------|
| T1          | 8,70                                  | 11,32                          | 13,8              | 13,9                    |
| T2          | 10,62                                 |                                | 14,0              |                         |
| T3          | 11,62                                 |                                | 13,8              |                         |
| T4          | 11,34                                 |                                | 13,6              |                         |
| B1          | 11,29                                 |                                | 13,7              |                         |
| B2          | 11,62                                 |                                | 14,0              |                         |
| B3          | 10,94                                 |                                | 13,7              |                         |
| B4          | 14,47                                 |                                | 14,3              |                         |

## 2.6 Eğilme Dayanımı Tayini (Tam Eğilme Deneyi)

Cam elyaf takviyeli çimento numunelerinin gerilme ve deformasyon performansını belirlemek amacıyla TS EN 1170-5'e [5] göre 7. ve 28. günde, üretici firma tarafından 500x800mm boyutlarında üretilerek laboratuvarımıza teslim edilen 2 adet panel numuneden kesilen parçalarda dört noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Numune kalınlıkları ortalama 20 mm olduğu için standartta belirtilen sınır şartlarına göre, deney parçalarının uzunlukları (l) 325 mm, kalınlıkları 50 mm, mesnet açıklığı (L) 300 mm olarak belirlenmiştir. Üretici firma tarafından 2. gününde laboratuvarımıza teslim edilen paneller 6 günlük olana kadar, gerçek imalatı temsil edecek şekilde  $20\pm 2$  °C ve %65 bağıl nem koşullarında depolanmıştır. Panellerin kesilmesi ile elde edilen ilk 8 adet numune, 7 günlük olmaları için  $20\pm 2$  °C'de su dolu tank içerisinde 24 saat bekletilmiştir. İkinci panelden elde edilen 8 adet numune 21 gün boyunca  $20\pm 3$  °C ve %60±5 bağıl nem ortamında tutulduktan sonra  $20\pm 3$  °C sıcaklığında su ile dolu tank içerisinde 24 saat daha tutularak 28. günde deney gerçekleştirilmiştir. Deney parçaları su dolu tanktan çıkarıldıktan ½ saat içerisinde deneye tabi tutulmuşlardır. Yükün uygulanma hızı deformasyon kontrollü olarak  $0,03\pm 0,003$  mm/s olarak ayarlanmıştır. Deney parçasının tamamıyla kırılmasına kadar deneye devam edilmiştir. Deney esnasında okunan maksimum değer FMOR, kırılma yükü olarak kaydedilmiştir. Kırılmadan sonra deney parçalarının kalınlığı ve genişliği kırılmanın olduğu yerden ölçülmüş, daha sonra her bir numune tartılarak  $105\pm 5$  °C 'ye ayarlı etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Eğilme dayanımı, deformasyon ve su içeriği değerleri ilgili standart Madde 6'da belirtildiği şekilde hesaplanmış, 7. gün için sonuçlar Çizelge 3'te ve 28. gün için sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir. Numunelere ait örnek yük-sehim eğrisi Şekil 3'te görüldüğü gibidir.



# YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

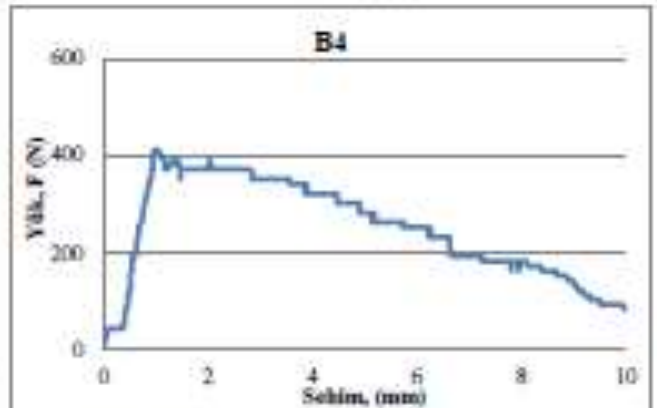
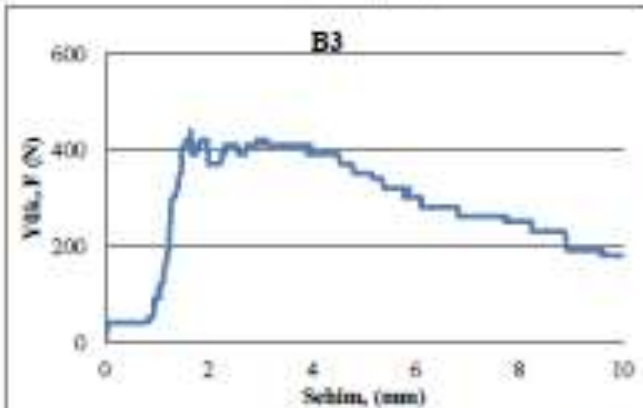
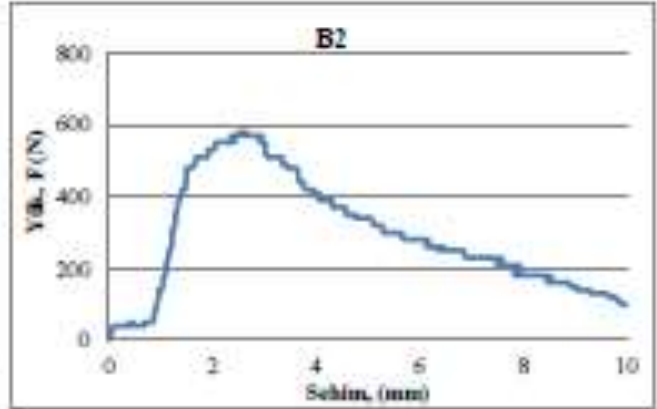
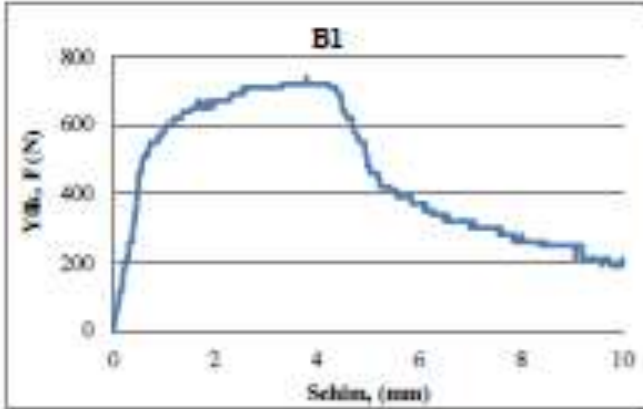
Sehimin en yüksek değerinin belirlenmesi zor olduğundan, eğrinin eğiminin azalmaya başladığı bölgeyi incelendikten sonra her numune için yaklaşık 10 mm toplam sehim miktarından sonra grafik okuması durdurulmuştur. Çizelge 3'te maksimum yük altındaki sehim miktarları verilmiştir.

Çizelge 3: Eğilme dayanımı, deformasyon ve su içeriği değerleri (7. gün)

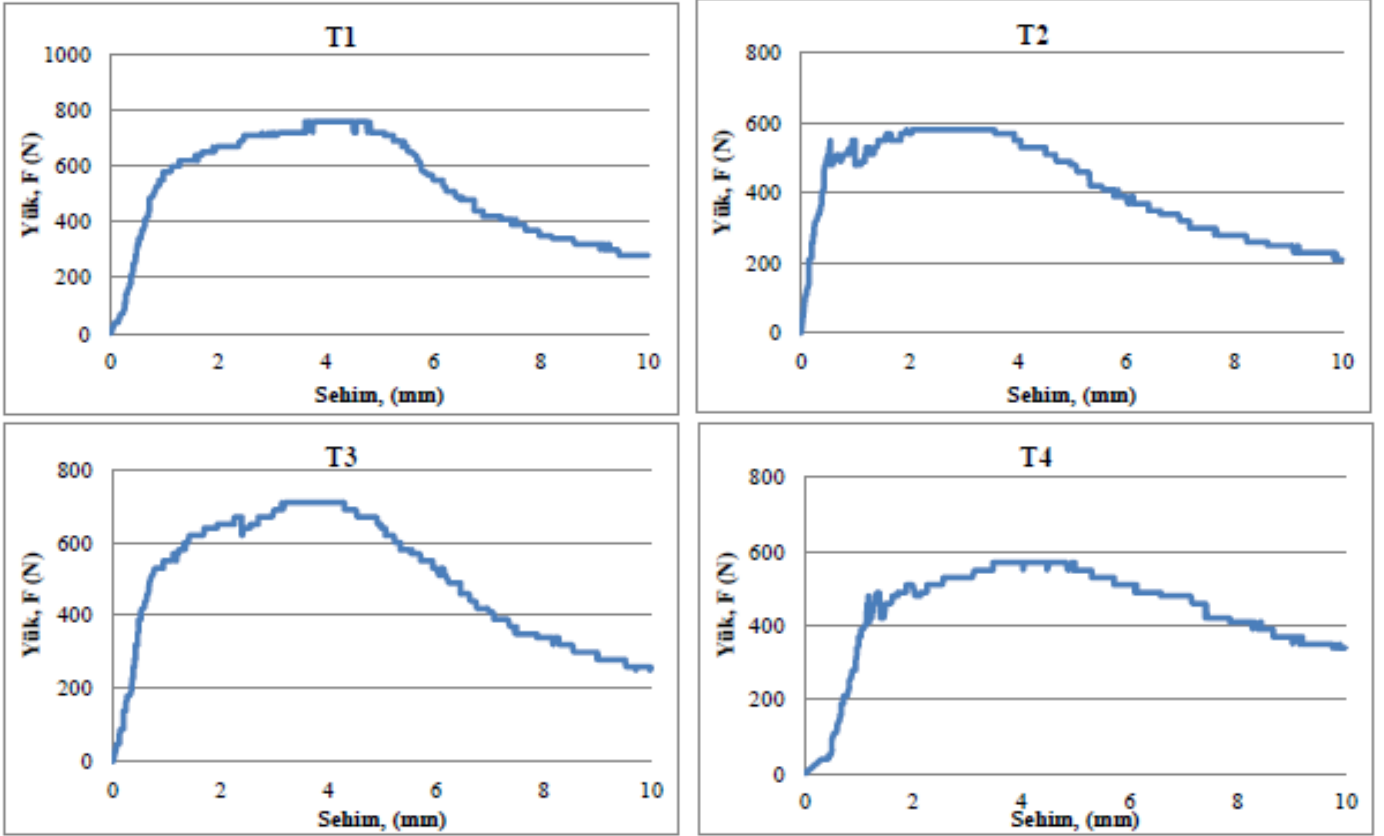
| Numune Kodu | Eğilme Dayanımı, $\sigma_{MOB}$ (MPa) | Ortalama Eğilme Dayanımı, MPa | Maksimum Yük Altında Sehim, mm | Deformasyon, $\epsilon_{MOB}$ | Ortalama Deformasyon  | Su İçeriği, W (%) | Ortalama Su İçeriği (%) |
|-------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| T1          | 9,94                                  | 8,88                          | 3,96                           | $4,45 \times 10^{-3}$         | $3,44 \times 10^{-3}$ | 15,5              | 15,2                    |
| T2          | 7,90                                  |                               | 3,94                           | $4,33 \times 10^{-3}$         |                       | 15,1              |                         |
| T3          | 10,40                                 |                               | 4,14                           | $4,39 \times 10^{-3}$         |                       | 15,0              |                         |
| T4          | 9,03                                  |                               | 4,20                           | $4,26 \times 10^{-3}$         |                       | 14,8              |                         |
| B1          | 11,22                                 |                               | 3,80                           | $3,94 \times 10^{-3}$         |                       | 15,1              |                         |
| B2          | 9,43                                  |                               | 2,92                           | $2,98 \times 10^{-3}$         |                       | 15,7              |                         |
| B3          | 6,72                                  |                               | 1,98                           | $2,09 \times 10^{-3}$         |                       | 15,6              |                         |
| B4          | 6,43                                  |                               | 1,06                           | $1,08 \times 10^{-3}$         |                       | 15,2              |                         |

Çizelge 4: Eğilme dayanımı ve su içeriği değerleri (28. gün)

| Numune Kodu               | Eğilme Dayanımı, $\sigma_{MOB}$ (MPa) | Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa) | Su İçeriği, W (%) | Ortalama Su İçeriği (%) |
|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------|
| * Deney devam etmektedir. |                                       |                                |                   |                         |



*Bu belge, ön bilgi mahiyetindedir. Deneyler devam ettiği için sonuç raporu daha sonra ilgisine teslim edilecektir.*



Şekil 3: Yük-sehim eğrileri

## 2.7 Suya Daldırma Yoluyla Su Emme ve Kuru Yoğunluk Tayini

TS EN 1170-6'a [6] göre cam elyaf takviyeli çimento bileşimdeki malzemenin su emmesi ve kuru yoğunluğunu tayin edilmiştir. Üretici firma tarafından üretimin 2. gününde laboratuvarımıza teslim edilen paneller 6 günlük olana kadar, gerçek imalatı temsil edecek şekilde  $20 \pm 2$  °C ve %65 bağıl nem koşullarında depolanmıştır. Uzunluğu  $225 \pm 2$  mm, genişliği  $50 \pm 2$  mm olacak şekilde kesilen 4 adet deney parçası 6 gün müddetle depolama koşullarında saklandıktan sonra 24 saat  $20 \pm 3$  °C deki oda sıcaklığında bekletilmiştir.

Dört deney parçası  $20 \pm 3$  °C'de su ile dolu düz tabanlı tank içerisine uzunlukları doğrultusundaki kenarlarının üzerinde yerleştirilmiştir. Parçaların yüzeyleri en az 20 mm olacak şekilde su ile kaplanmıştır. Numuneler 7 gün boyunca suda bekletildikten sonra yüzeyi nemli bir bezle silinerek tartılmıştır. Daha sonra deney parçaları sabit kütle değerine ulaşmaya kadar etüv içerisinde 24 saat bekletilerek su emme değeri hesaplanmıştır. Su emme değerleri Çizelge 5'te verilmiştir.



# YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5: Su emme ve kuru yoğunluk değerleri

| Numune Kodu | Su Emme Değeri (%) | Ortalama Su Emme Değeri (%) | Kuru Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Ortalama Kuru Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------------|---|
| T1          |                    |                             |                                    |   |
| T2          |                    |                             |                                    |   |
| T3          |                    |                             |                                    |   |
| T4          |                    |                             |                                    |   |
| B1          |                    |                             |                                    |   |
| B2          |                    |                             |                                    |   |
| B3          |                    |                             |                                    |   |
| B4          |                    |                             |                                    |   |

\* Deney devam etmektedir.

## 2.8 Isı İletim Değeri

Isı iletim katsayısının belirlenmesi için TS ISO 8302'ye uygun [7], çift deney parçalı cihaz kullanılmıştır (Şekil 4). Deney için, üretici firma tarafından tarafımıza teslim edilen 2 adet 500\*500\*50 mm'lik plak numuneler kullanılmıştır. Cihaz, 500\*500mm boyutlarında bakır sıcak plaka ve çelik soğuk plakalardan oluşmaktadır. Numuneler alt ve üst kısmında çelik plakalar olacak şekilde yerleştirilmiştir. Sıcak plakada 6 adet, soğuk plakada ise 2 adet (merkezde) termokupl bulunmaktadır. Sıcaklığın numunelerde homojen olarak yayılması için yaklaşık 7 saat gerekmektedir. 7 saatin sonunda voltmetre yardımı ile her termokupl için karşılık gelen mikrovolt değerleri ölçülmüş ve standart yardımı ile  $\mu V$  değerleri sıcaklık ( $^{\circ}C$ ) değerlerine çevrilmiştir. Deney kararlı hal şartları dikkate alınarak gerçekleştirilmiş ve 7. gün ısı iletim katsayısı hesaplanmıştır. Numunenin 7. günde ısı iletkenlik değeri oda sıcaklığında 0,64 W/m oC olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4: Isı iletim katsayısı çift deney parçalı cihaz



# YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

## 3. SONUÇ

Er Prekast Yapı Elemanları firması tarafından üretilerek Yapı Malzemeleri

Laboratuvarına teslim edilen panel numuneler üzerinde gerçekleştirilen taze harç ve 7. gün sertleşmiş harç deneyleri sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- Cam elyaf takviyeli çimento numunelerin taze harç özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan slamp deneyi sonucundan, matriks fazın yayılma değeri 75 mm olarak ölçülmüştür.
- Lif içeriğinin belirlenmesi amacıyla yapılan yıkama deneyi sonucunda 3 adet numunenin ortalama lif içeriği kütlece %3,32, püskürtme cam elyaf takviyeli çimentonun lif içeriğinin ölçülmesi için kullanılan bir başka deneyde kütlece lif içeriği %5,38 olarak hesaplanmıştır.
- Numunelerin eğilme dayanımların belirlenmesi için yapılan dört noktalı basit eğilme deneyi 8 adet deney parçası üzerinde gerçekleştirilmiş, ortalama eğilme dayanımı 11,32 MPa ve ortalama su içeriği %13,9 olarak belirlenmiştir.
- Deformasyon kontrollü yapılan dört noktalı tam eğilme deneyinde deney parçalarının eğilme dayanımları, maksimum kuvvete karşılık gelen deformasyon değerleri ve yük-sehim eğrileri elde edilmiştir. 7 günlük numunelerin ortalama eğilme dayanımı 8,88 MPa, ortalama deformasyon değeri  $3,44 \times 10^{-3}$  ve ortalama su içeriği %15,2 olarak hesaplanmıştır. 28 günlük numunelerin deneyleri devam etmektedir.
- Numunelerin 7. gün ısı iletim katsayısı değeri 0,64 W/m oC'dir.

## 4. KAYNAKLAR

- [1] TS EN 1170-1/Mart 1999, "Ön Yapımlı Beton Mamuller-Cam Elyaf Takviyeli Çimento (CTÇ) Deney Metodu Bölüm 1: Matriks Kıvamının Ölçülmesi-Slamp Deneyi Metodu".
- [2] TS EN 1170-2/Mart 1999, "Ön Yapımlı Beton Mamuller-Cam Elyaf Takviyeli Çimento (CTÇ) Deney Metodu Bölüm 2: Taze CTÇ'de Lif İçeriğinin Ölçülmesi-Yıkama Deneyi".
- [3] TS EN 1170-3/Mart 1999, "Ön Yapımlı Beton Mamuller-Cam Elyaf Takviyeli Çimento (CTÇ) Deney Metodu Bölüm 3: Püskürtme CTÇ'nin Lif İçeriğinin Ölçülmesi".
- [4] TS EN 1170-4/Mart 1999, "Ön Yapımlı Beton Mamuller-Cam Elyaf Takviyeli Çimento (CTÇ) Deney Metodu Bölüm 4: Eğilme Dayanımı Tayini-Basit Eğilme Deneyi Metodu".
- [5] TS EN 1170-5/Mart 1999, "Ön Yapımlı Beton Mamuller-Cam Elyaf Takviyeli Çimento (CTÇ) Deney Metodu Bölüm 5: Eğilme Dayanımı Tayini-Tam Eğilme Deneyi Metodu".
- [6] TS EN 1170-6/Mart 1999, "Ön Yapımlı Beton Mamuller-Cam Elyaf Takviyeli Çimento (CTÇ) Deney Metodu Bölüm 6: Suyu Daldırma Yoluyla Su Emme ve Kuru Yoğunluk Tayini".
- [7] TS ISO 8302/Nisan 2002, "Isı Yalıtımı-Kararlı Halde Isıl Direncin ve İlgili Özelliklerin Tayini-Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı"