



Geleceğin Taşımacılık Altyapısı İçin Çeşitli Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Ürünlerle Donatılan Demiryolu Beton Traversleri Hakkında Bir İnceleme

Reşat KÖROĞLU*¹, Ömer Faruk ERKENDİRCİ²

¹ TCDD Uşak EKAY Kontrolörlüğü, Uşak, Türkiye

² Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Uşak, Türkiye

*resatkoroglu@tcdd.gov.tr

(Alınış/Received: 04.07.2024, Kabul/Accepted: 10.07.2024, Yayınlama/Published: 31.07.2024)

Öz: Bu çalışma kapsamında farklı cam elyaf takviyeli kompozit ürünler kullanılarak konvansiyonel öngerilmeli beton travers mukavemet değerlerine ulaşarak milli ve daha düşük maliyetlerde ürünler almak için deneyler yürütülmüştür. Yapılan test ve analizler sonucunda cam elyaftan mamul dokuma kumaş, keçe kumaş, çeşitli ebatlarda kırpıntılar (kesik elyaf katkıları) ve dairesel çubuklar (donatılar) kullanılarak imal edilen test numunelerinin Dywidag normunda öngermeli beton traversler için istenilen kriterleri yakalayamadığı görülmüştür. Bununla birlikte söz konusu değerlere en yüksek oranda yaklaşan ve fayda/maliyet açısından en yüksek verim alınan cam elyaf dairesel çubukların ebatları ve beton dökümü sırasındaki dizilişleri ile beton reçetesi (beton karışım oranı) üzerine çalışmaların genişletilebileceği ve geleceğin taşımacılık altyapısı için milli, daha düşük maliyet ve daha yüksek kullanım ömrünü yakalamak adına önemli katkıları olacağı değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Demiryolu, Beton travers, Cam elyaf, Kompozit malzeme

A Review on Railway Concrete Sleepers Reinforced with Various Glass Fiber Reinforced Composite Products for Future Transportation Infrastructure

Abstract: In this study, experiments were conducted using different types of glass fiber reinforced composite materials to achieve the strength values of conventional prestressed concrete sleepers, aiming to produce national products at lower costs. As a result of the tests conducted, it has been observed that the test samples manufactured using woven fabric made of glass fiber, felt fabric, various sizes of chopped fibers and rods did not achieve the conventional prestressed concrete sleeper criteria of Dywidag norms. Nevertheless, the studies on the size of the glass fibre rods, which approach the values in question at the highest efficiency in terms of benefit/cost and their arrangement during concrete casting and concrete mixture ratio can be expanded. This will make important contributions to achieving national lower cost and higher service life for the transport infrastructure of the future.

Keywords: Railway, Concrete sleeper, Glass fiber, Composite material

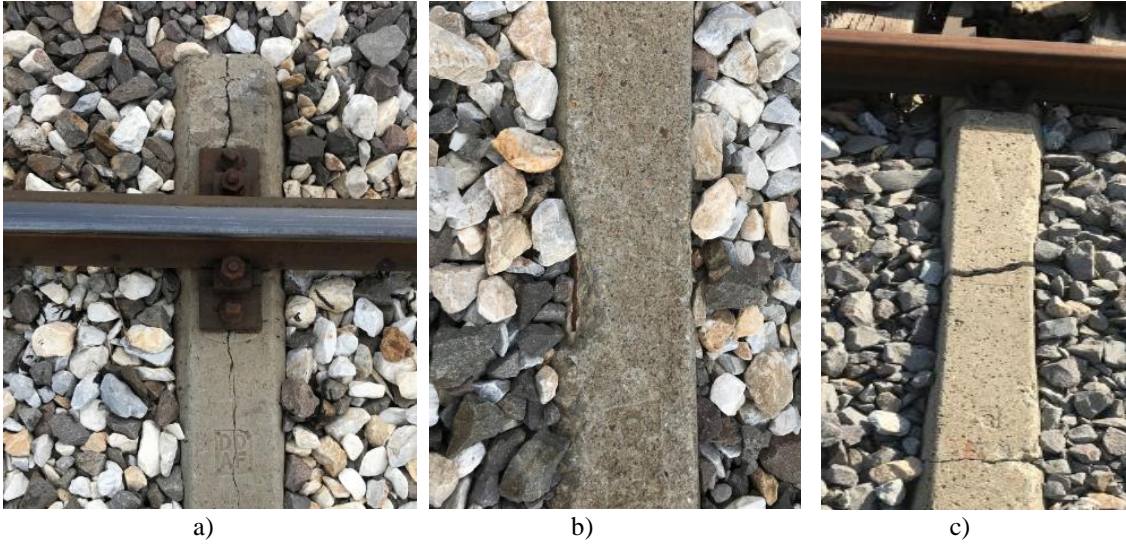
1. Giriş

Günümüzde, demiryolu taşımacılığı, çevresel sürdürülebilirlik, verimlilik ve güvenilirlik gibi önemli endişeleri ele almak için kritik bir çözüm olarak ön plana çıkmaktadır. Demiryolu aracından raya, raylardan da kendi üzerine gelen kuvvetleri uygun şekilde altyapıya ileten, yolun açıklığını koruyarak ekseninde tutan, düşey ve yatay yöndeki harekete dayanacak şekilde imal edilen elemanlara travers adı verilmektedir. Demiryolu hatlarında genellikle ahşap, demir (çelik) ve beton traversler kullanılmakta olup planlanan servis ömürleri sırasıyla ortalama 20 yıl, 50 yıl ve 50 yıldır [1, 2]. Son yıllardaki teknolojik ilerlemelerle yeni imalat yöntemleri geliştirilerek kompozit travers üzerine de çalışılmaktadır [3]. Ahşap traverslerin dinamik yüklemelere dayanıklı, mükemmel elektrik ve ses yalıtımına sahip olmasına karşın maliyetlerinin yüksek olması, çevresel şartlar nedeniyle ömürlerinin kısa oluşu, böceklerin zarar verme ihtimali ve hammaddesi için gerekli çevresel tahribat nedeniyle kullanımı giderek azalmaktadır. Demir

Atıf için/Cite as: R. Köroğlu, Ö.F. Erkendirci, "Geleceğin taşımacılık altyapısı için çeşitli cam elyaf takviyeli kompozit ürünlerle donatılan demiryolu beton traversleri hakkında bir inceleme," *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 20, ss. 97-106, Temmuz 2024. doi: 10.47072/demiryolu.1510246

traversler ise ahşap traverslere göre daha yüksek servis ömrü ve kısmen daha hafif olmaları gibi bazı avantajlar sunmasına rağmen bakımının zor olması, sinyalizasyonlu hatlarda elektrik izolasyon güçlüğü ve korozyon gibi nedenlerle kullanımı giderek azalmış ve yeni tip travers ihtiyacı doğmuştur. Bu olumsuz gelişmeler paralelinde ahşap ve çelik travers yerine günümüzde beton travers kullanımı giderek yaygınlaşmış ve ülkemizde kullanım oranı % 98'e ulaşmıştır [4].

Demiryolu üstyapısının temel taşı olan traversler, zamanla karşılaşılan çeşitli sorunlarla mücadele etmektedir. Bu sorunların başında Şekil 1'de örnekleri sunulan enine ve boyuna istikamette çatlama, donatı korozyonu, yüzey aşınması (ray mesnedinde veya travers tabanından soyulma) ve paspayı atması (servis yükleri altında, deray nedeniyle veya hattın bakım/montajı esnasında meydana gelen darbeler nedeniyle) gelmektedir.



Şekil 1. Beton traverslerde karşılaşılan bazı sorunlar a) Boyuna çatlama b) Paspayı atması c) Travers merkezinde enine çatlama

Bu zorluklara çözüm olarak, son yıllarda cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin demiryolu traversleri için alternatif bir seçenek olarak ortaya çıkması dikkat çekicidir. Bu yeni malzemelerin yüksek dayanıklılığı, düşük bakım gereksinimi ve uzun ömürlü performansı demiryolu traverslerinde de kullanım potansiyeline sahiptir.

Kompozit malzeme, en az iki farklı malzemenin büyük boyutlarda birleşerek oluşturduğu bir yapıdır. Bu malzemenin temel işlevi, tek başına kullanılmayan veya birbiriyle karışamayan malzemeleri bir araya getirerek hafiflik, esneklik, mukavemet, maliyet gibi özellikleri optimize etmektir. Kompozit malzemenin yapısı genellikle iki ana bileşenden oluşur: birincisi matris adı verilen ve polimerler, metaller, metal alaşımları, seramikler gibi malzemelerden yapılan bileşen olup bu bileşen malzemeyi bir arada tutar ve esneklik, tokluk gibi özellikler kazandırır. Diğer bileşen ise takviye malzemesi olarak da adlandırılan ve çelik, karbür, aramid gibi malzemelerden oluşup malzemenin mukavemetini artırır.

Kompozit malzemeler, hem yüksek mukavemet özellikleri hem de hafiflikleri nedeniyle çeşitli endüstri alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Havacılık ve uzay teknolojileri, savunma sanayi, otomotiv, inşaat, ulaşım ve sağlık gibi birçok sektörde geniş bir uygulama yelpazesi bulunmaktadır.

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler, kompozit malzemelerin önemli bir bölümünü oluşturur. Bu malzemeler, yüksek mekanik dayanımlı ve güçlü kompozit malzemelerin üretilmesini sağlayan

liflerin takviye malzemesi olarak kullanılmasıyla elde edilir. İnce elyaflar genellikle matris olarak kullanılarak bu malzemeler üretilir. Elyafın yoğunluğu, kompozit malzemenin özelliklerini doğrudan etkiler. Bir yüke maruz kaldığında, elyaf takviyeli kompozit malzeme, yükü matris malzemesinden takviye malzemesine ileterek büyük çoğunluğunu takviye malzemesinin karşılamasını sağlar. Elyaf takviyeli kompozitlerde elyafın homojen dağılımı, malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini doğrudan etkiler. Ayrıca, kullanılan elyafın türü, malzemenin dayanımı ve rijitliği gibi özelliklerini artırırken, kompozit malzemenin çalışma sıcaklığına olan uygunluğunu da sağlar.

Beton travers ve kompozit malzemeler üzerine çeşitli araştırmalar yapan araştırmacılardan Aktaş vd. [5] çok çeşitli donatılar kullanarak ürettikleri beton traverslerin sönümlene özelliklerini incelemişler, lamine karbon elyaf takviyeli poliüretan donatıların sıradan B70 tipi traverslere oranda %50'nin üzerinde bir sönümlene oranlarına sahip olduklarını, bu durumun ise traversin servis ömrünü uzatırken bakım ihtiyacı ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerini düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Çeçen vd. [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] klasik beton traverslerin güncel literatürde geçen çeşitli sorunları ve son dönemde geliştirilen çözümlerden bahsedilerek, sorunların yerli karbon ve cam fiber takviyeli polimer hammaddeler kullanılarak çözülebilmesini ray mesnedinde statik yüklemeli pozitif moment deneyleri yaparak araştırmışlar, demiryolu üstyapı elemanlarından olan beton traverslerin literatürde geçen çeşitli sorunlarına değinerek çözümleri için halihazırda kullanılan çelik donatılar yerine karbon fiber takviyeli polimerlerin (carbon fiber reinforced polymers, CFRP) kullanımını araştırmışlar ve bu çalışmalarında klasik dairesel donatı yerine maliyeti daha düşük olan lamine form kullanmışlardır. Ayrıca üretmiş oldukları traversler üzerinde yapılan TS EN 13230-3 statik eğilme testleri ve ANSYS sonlu eleman analizlerine göre de servis ömürleri açısından gayet verimli sonuçlar elde etmişler, ön gerilmeli ve öngerilmemiş beton traversler karşılaştırılmış, ön gerilmeli traverslerin dezavantajlarını gidermek için karbon fiber takviyeli donatılar kullanılarak traversin servis ömrünü uzatma, bakım ihtiyaçlarını azaltma ve çevreye verilen zararı azaltma hedeflenmiş, B70 tipi öngerilmeli beton traverslerde yerli polipropilen elyaf donatı kullanılarak servis ömrü, sönümlene performansı ve rezonans direncinin artırılması hedeflenmiş ve ürettikleri elyafli ve elyafsız traversleri TS EN 13230-2'de yeni bir travers tasarımı sırasında istenilen yüklem-kaldırma-tekrar yüklem gibi kademeli artışlı statik eğilme testi, modern modal testi ve yüksek hızlı darbe testlerine tabi tutarak gerekli incelemelerini yapmışlar, karbon fiber takviyeli polimer donatılar kullanarak ürettikleri beton traversleri yüklem-boşaltma-yeniden yüklem şeklindeki testlerini uygulayarak elde ettikleri sonuçları, sıradan B70 tipi beton traversin sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda da yeni tip donatılı beton traverslerin yük taşıma kapasitesinin ve servis ömrünün daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlar, beton travers üretiminde donatı olarak yerli karbon fiber takviyeli poliüretan kullanıldığında üretilen traversin beton traverslerin merkez negatif eğilme performansı, öngerilmeli olarak üretilen B70 tipi traverslerle karşılaştırılmış, çalışma sonucu yapılan değerlendirmede, yerli karbon fiber takviyeli poliüretan kullanılarak üretilen traverslerin yorulma esaslı tasarım yükünün, B70 tipi öngerilmeli traverslere oranla neredeyse 2 katına çıktığını tespit etmişler, bunun yanında üretilen traverslerde herhangi bir öngerilme uygulanmadığı ve etriye kullanılmadığı halde, B70 tipi öngerilmeli traversin kırılma yükünün üzerindeki yüklemelerde dahi, meydana gelen çatlak genişliklerinin 0,05 mm'nin altında kaldığını tespit etmişler, demiryolu traverslerinin tekrarlı darbe yükleri altındaki davranışlarını incelemek adına karbon fiber takviyeli poliüretan donatılı traversler ile çelik donatılı beton traversleri karşılaştırmışlardır. Buna göre karbon fiber takviyeli poliüretan donatılı traverslerin tekrarlanan darbe yüküne karşı direncinin çelik donatılı traverslere göre çok daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca bu traverslerin servis ömürlerinin daha uzun olması, çevre üzerindeki etkilerinin ve bakım ihtiyaçlarının daha az olduğu tespitlerini yapmışlar, çok çeşitli donatılar kullanarak beton travers numuneleri ürettiklerini, bu ürünlerin yüklem-boşaltma-tekrar yüklem testleri ve tek aşamalı statik yüklem testlerini yaparak traverslerdeki deformasyonları gözlemlemiş, bu yeni ürünlerin, sıradan B70 tipi beton traverslerden daha iyi performans gösterdiklerini tespit etmişlerdir. Ferdous vd. [14] partikül dolgululu reçine ve cam elyaf takviyeli

kompozit kullanılarak üç farklı demiryolu traversi üretmiş, ürünleri çeşitli testlerden geçirerek karşılaştırmalar yapmışlardır. Hameed vd. [15] demiryolu traverslerinin betonunda agreganın hacimsel olarak % 15'ini kırıntı kauçuk ile değiştirerek deneysel bir araştırma yaparak test ve analizlerden çıkan sonuçlarla karşılaştırma yapmışlardır. Li vd. [16] beton traverse ait Amerikan, Avrupa ve Çin standartlarını karşılaştırarak tartışmıştır. Shokrieh vd. [17] traverslerin kompozit malzemelerle yük kapasitesini arttırmayı hedeflemiş, donatılı ve donatısız traversler üreterek testler yapmış ve sonlu elemanlar yöntemiyle de karşılaştırmalar yapmışlardır. Tacim vd. [18] demiryolu traverslerinin ahşap, çelik, beton, plastik ve kompozit olmak üzere beş türde üretilse de genellikle öngermeli beton traversler kullanıldığını belirtmişler, ancak bu traverslerde gerek travers istifleme sırasında oluşan hasarları gerekse üretim esnasında çeşitli sebeplerden kaynaklı kalıp yan yüzeylerinde hacimsel boşluklar ve segregasyon gibi hasarların meydana geldiğini, bu durumun da uzun süre açık havada çeşitli hava şartlarına maruz kalan beton traverslerde deformasyona sebep olması nedeniyle öngermeli beton traverslerde dayanıklılık (durabilite) ve dayanım sorunları ile çözüm önerilerini incelemiştir.

Bu çalışmanın amacı, cam elyaf takviyeli çeşitli kompozitler kullanılarak demiryolu traversleri imal ederek özelliklerini incelemek ve geleneksel traverslerle karşılaştırarak geleceğin demiryollarında kullanılabilecek milli, daha düşük maliyetli ve daha uzun kullanım ömrü olan traversler elde edilip edilemeyeceğini araştırmaktır.

Dolayısıyla çalışma, demiryolu altyapısının sürdürülebilirliği ve verimliliği için yenilikçi çözümler arayan araştırmacılar ve mühendisler için önemli bir kaynak olacaktır.

2. Metot

Bu çalışmada TCDD Afyon Beton Travers Fabrikasında bulunan üretim hattında B70 tipi beton travers kalıpları ve küp numunesi hazırlama kalıpları kullanılarak farklı donatılar içeren beton travers ve test numuneleri imal edilmiş ve bu numuneler için basınç testi ve üç nokta mesnet deneyleri yapılarak fabrikada üretimi devam eden geleneksel B70 tipi demiryolu beton traverslerinin sonuçları karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Üretim sırasında gerek küp numuneleri gerekse imal edilen beton traverslerde halihazırda kullanılan beton reçetesi (karışım oranları) kullanılmıştır.

2.1. Donatı olarak cam elyaf dokuma kumaş kullanılan test numunelerinin hazırlanması

200x200x200 mm ölçülerindeki test küpü numunesine cam elyaftan imal dokuma kumaş, keçe kumaş, farklı ölçülerde kırpıntılar (kesik elyaf beton katkıları) ve son olarak cam elyaf çubuklar (dairesel donatılar) kullanılmıştır. Cam elyaf ürünleri kalıp içerisinde ilki kalıp tabanından 35 mm, diğeri ise ilk setten 100 mm sonra olmak üzere toplam 2 set halinde kullanılmıştır. Dokuma kumaşın bir setinde kalıp boyunca uzanan, 180x180 mm ölçüsünde ve 10x10 mm gözölçüsünde çit teli bir kat olarak uzatılmış, üzerine yine aynı en ve boyda 300 gr/m² dokuma kumaş ikinci katı meydana getirmiş, üçüncü katta çit teli, dördüncü katta dokuma kumaş ve son olarak beşinci katta çit teli şeklinde bir set oluşturulmuştur. Kumaş ve telin beton travers imalatındaki ölçüsü ise 150 mm x 2500 mm şeklinde olup uygulama sırasındaki görüntüsü Şekil 2.a.'de görülmektedir.

2.2. Donatı olarak cam elyaf keçe kumaş kullanılan test numunelerinin hazırlanması

Takviye olarak cam elyaf keçe kumaşın kullanımı da tıpkı dokuma kumaşla aynı kat ve set şeklinde olmuştur. Seçilen cam elyaf keçe ise 300 gr/m² ölçüsünde olup uygulama sırasındaki görüntüsü Şekil 2.b.'de görülmektedir.



Şekil 2. Farklı donatılarla beton dökümü a) Cam elyaf dokuma kumaş b) Cam elyaf keçe kumaş

2.3. Donatı olarak cam elyaf kırıntıları kullanılan test numunelerinin hazırlanması

Takviye olarak cam elyaf kırıntısı seçilirken uzunluk olarak 3 mm ve 12 mm ölçüsünde olan iki farklı malzeme kullanılmış, her bir malzeme için de ayrı ayrı yapılan üretimlerde 5 kg/m^3 dozunda kırıntı kullanılarak Şekil 3.' deki gibi üretimler yapılmıştır. Bu üretimler yine iki set halinde ve her bir set tel-kırıntı-tel-kırıntı-tel şeklinde yapılmıştır. Şekil 4.a' da donatı olarak 12 mm cam elyaf kırıntısının kullanıldığı test küpü örneği verilmiştir.



Şekil 3. Donatı olarak cam elyaf kırıntıları kullanılarak kalıplara beton dökümü

2.4. Donatı olarak cam elyaf çubuk kullanılan test numunelerinin hazırlanması

Takviye olarak cam elyaf dairesel çubuk kullanılmasında çapı 5 mm olan ürünler tercih edilmiş, deney küpü numunelerinde 17 cm boyunda ve bir sette aralarında dörder santimetre bulunan Şekil 4.b' deki gibi toplam 4 adet çubuk kullanılarak yine toplam 2 set şeklinde kullanılmıştır. Beton travers üretiminde ise traversin boyuna doğru uzatılan 2 metre boyunda ve her bir sette aralarında dörder cm bulunan toplam 4 adet çubuk kullanılarak yine toplamda 2 set şeklinde kullanılmıştır. Dairesel çubuklar için bu diziliş sebebi beton reçetesindeki maksimum agrega tane büyüklüğünün 32 mm olması nedeniyle betonun kalıba homojen bir şekilde dağılabilmesini sağlamak için donatılar arasına en az 40 mm boşluk bırakılması gerektiği değerlendirilmiştir.



Şekil 4. Test küpleri ve hazırlanışı a) 12 mm kırpıntı cam elyaf b) Cam elyaf çubuk ile küp numunesi hazırlama

Yapılan imalatlarda her bir setin arasındaki mesafenin 100 mm olarak seçilmesinin sebebinin mevcut B70 tipi beton traversin içerisinde yer alan çelik gergi çubuklarının arasındaki mesafenin de 100 mm olmasıdır.

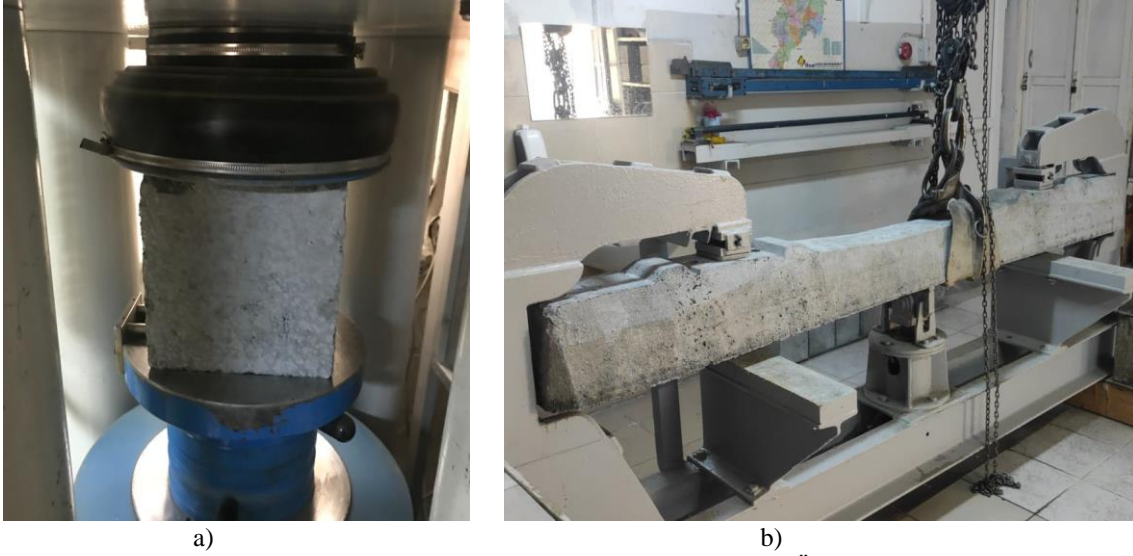
Kullanılan bu cam elyaf malzemeler ile B70 tipi beton traverslerde kullanılan çelik donatının bazı mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre yüksek mukavemet gerektiren uygulamalarda cam elyaf tercih edilebilirken yapısal sağlamlık ve dayanıklılık söz konusu olduğunda çeliğin daha avantajlı olacağı değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Cam elyaf ve çeliğin bazı mekanik özelliklerin karşılaştırılması

Parametre	Çelik	Cam elyaf
Çekme Mukavemeti (MPa)	1570	2400
Elastisite Modülü (GPa)	205	69
Yoğunluk (gr/cm ³)	7,85	2,6

2.5. Uygulanan testler

İmalatı yapılan test küp numuneleri Şekil 5.a'daki gibi basınç dayanım testine, beton traversler ise Şekil 5.b'deki gibi üç nokta eğilme testine tabi tutulmuştur.



Şekil 5. Uygulanan test düzenekleri a) Basınç dayanım testi b) Üç nokta eğilme testi

3. Bulgular

İmalatı yapılan her bir küp testi numunesi 1 ve 28 günlük teste tabi tutulduğunda elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Yapılan çalışmaya göre cam elyaf keçe kumaş ile cam elyaf kırptılarının 1 günlük test sonucu Dywidag öngerilimli beton traverslere mahsus ani kalıptan çıkarma usulüne göre imalat talimatında [19] belirtilen minimum değerleri olan 480 kgf/cm^2 nin altında kaldığı, cam elyaf dokuma kumaş ve cam elyaf çubukların sonuçlarının ise minimum değer üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Yine cam elyaf keçe kumaş ve cam elyaf kırptılarının 28 gün sonraki testlerinde Dywidag Normu minimum değeri olan 600 kgf/cm^2 nin altında kaldığı, diğer donatıların ise bu değer üzerinde sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Cam elyaf kırptılarının üretim sırasından homojenize olarak dağıtılamaması ve kırptı içeren setlerin küpü kesitinde bir engel oluşturarak Şekil 6.’daki gibi küp numunesinde meydana getirdiği çatlaklar nedeniyle dayanımını düşürdüğü değerlendirilmiştir. Cam elyaf keçe kumaşın da yine numune içerisinde bir katman oluşturduğu ve betona nüfuz edemediği için yine küp numunelerinin dayanımını düşürdüğü değerlendirilmiştir. Buna göre çalışmalarda kullanılan cam elyaf içeren bu malzemelerin travers betonunda farklı proseslerle kullanılabileceği mümkün olmakla birlikte, bu çalışmada uygulanan teknikle üretimlerinin adı geçen normda istenilen basınç dayanım değerleri açısından sorun oluşturacağı söylenebilir.

Tablo 2. 1 ve 28 günlük beton basınç deneyi sonuçları

Kullanılan Cam Elyaf Türleri	1 Günlük (kgf/cm^2)	28 Günlük (kgf/cm^2)
Dywidag Normuna Göre olması gereken minimum değer	480	600
Dokuma Kumaş	482	639
Keçe Kumaş	314	507
3 mm Kırptı	416	577
12 mm Kırptı	430	599
Cam Elyaf Çubuk	657	673



Şekil 6. Basınç testi sırasında küp numunelerinin arasındaki setler boyunca meydana gelen çatlaklar

İmalatı yapılan beton traverslerin üç nokta eğilme testi sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. Yapılan çalışmaya göre hiçbir beton travers numunesinin Dywidag Normunda [19] belirtilen minimum 4500 Kg yüke ulaşmadan kırıldığı tespit edilmiştir. Bunlardan cam elyaf dokuma kumaş donatının beton dökümü sırasında kalıp içerisinde yer alması gereken plastik dübellere nedeniyle kesilmesi nedeniyle mukavemetinde düşüş meydana geldiği, ayrıca tel-kumaş setlerinin kalıp içerisinde bir engel oluşturduğu, bunun yanında dökülen beton reçetesindeki su oranının da çok düşük olması nedeniyle beton ile cam elyafın tam olarak nüfuz edemediği (aderansın düşük kaldığı) değerlendirilmiştir. Cam elyaf çubuklarından imal edilen beton traverslerde yine dökülen beton içerisindeki su oranının düşük olması veya donatıların yüzeyinde nervür veya kumlama olmaması veya donatıların çelik malzemeye göre elastisite modülünün çok daha düşük kalması nedeniyle performansının düşük kaldığı değerlendirilmiştir. Ancak küp numunelerine uygulanan basınç testlerinde beklenenin üzerinde bir mukavemet göstermesi ileride çubuk yüzey özellikleri, çapı, sayısı ve dizilişinde yapılacak değişikliklerle yeniden teste tabi tutularak beklenen mukavemetin sağlanması araştırılması gereken konular olarak belirlenebilir. Ayrıca karşılaştırma esnasında öngörülmesi gereken beton traverslerden istenilen yük kapasitesi değerleri kullanılmıştır. Halbuki üretilen traversler öngörülmesiz bir beton travers kategorisine girmektedir. Ancak günümüze kadar öngörülmesiz beton traversler genellikle Fransız ekolüyle ikiz blok geometri ile üretilmiş ve yekpare (monoblok) bir öngörülmesiz beton travers TCDD hatlarında kullanılmamış olduğundan buna yönelik bir taşıma kapasitesi değeri henüz belirlenmemiştir. Dolayısıyla farklı donatı tip ve özellikleriyle araştırmaların genişletilmesi önerildiği gibi, yekpare geometri beton traversler için dizayn kriterleri belirlenmesi yönünde de çalışmaların genişletilmesi faydalı olacaktır.

Tablo 3. Üç Nokta Eğilme deneyi sonuçları

Kullanılan Cam Elyaf Türleri	Göçme Gerçekleşinceye Kadar Ulaşılan En Yüksek Yük Değeri (Kg)
Dywidag Normuna Göre olması gereken minimum değer	4500
Dokuma Kumaş	1150
Keçe Kumaş	1000
3 mm Kırpıntı	956
12 mm Kırpıntı	1023
Cam Elyaf Çubuk	1204

4. Sonuç

Bu çalışmada demiryolu beton traverslerinde hali hazırda kullanılan çelik donatılar yerine farklı malzemeler kullanılarak gerek traversin dayanımını gerekse maliyetini düşürmek için cam elyaf

ürünlerinden dokuma kumaş keçe kumaş, çeşitli boyutlarda kırpıntı (kesik elyaf) ve cam elyaf çubuklar kullanılarak test küpü numuneleri ve beton traversler üretilmiştir. Çelik donatı kullanılmaksızın üretilen bu traverslerde, donatı olarak kullanılan 300 gr/m² cam elyaf keçe kumaş ile 3 mm ve 12 mm ölçülerinde cam elyaf kırpıntılarında imal numuneler, gerek test küpü numunesinin 1 ve 28 günlük basınç testlerinden gerekse beton traverslerin üç nokta eğilme testinden geçemediği tespit edilmiştir. Donatı olarak 300 gr/m² cam elyaf dokuma kumaş kullanıldığında basınç testlerinden olumlu netice alınsa da üç nokta eğilme testinden ön gerilmeli beton traversler için Dywidag normunda istenilen taşıma kapasitesinin çok altında değerler elde edildiği tespit edilmiştir. Son olarak çapı 5 mm olan cam elyaf çubukların donatı olarak kullanıldığı basınç testinde Dywidag normunda istenilen kapasite değerinin üzerine çıkılsa da eğilme testinde nispeten daha iyi olmakla birlikte adı geçen normda ön gerilmeli beton traversler için istenen değer çok altında sonuçlar alınmıştır. Bu sonuçların muhtemel sebepleri olarak beton reçetesindeki su oranının çok düşük olması, kullanılan ürünlerin beton yerleştirilebilirliği açısından sorunlar meydana getirmesi, cam elyaf donatıların nervür veya kumlamanın olmaması, bu donatının çelik malzemeye göre elastisite modülünün çok daha düşük olması olarak değerlendirilmiştir. Buna göre; çalışmada kullanılan tüm cam elyaf ürünlerinin travers betonunda farklı proseslerle kullanılabilmesi mümkün olmakla birlikte, bu çalışmada uygulanan tekniklerle üretimlerinin adı geçen normda istenilen dayanım kriterlerini sağlamak adına yetersiz kalacağı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla çalışmaların farklı donatı tip ve özellikleriyle ve yekpare geometri ve/veya kompozit donatılı beton traversler için yeni dizayn kriterleri belirlenmesi dahil genişletilmesi önerilir.

Teşekkür

Bu çalışmadaki katkılarından dolayı TCDD Afyon Beton Travers Fabrikası Müdürü Serkan ORUÇ, fabrika teknik personelinden Erdoğan MUTLU ve Ümit AKCİ ile birlikte tüm çalışma arkadaşlarına teşekkürlerimizi bildiririz.

Kaynakça

- [1] R.H.Crawford, "Greenhouse gas emissions embodied in reinforced concrete and timber railway sleepers," *Environmental Science & Technology*, vol. 43, no.10, pp. 3885-3890, June 2009, doi: 10.1021/es8023836
- [2] W. Ferdous, A. Manalo, G. V. Erp, T. Aravinthan, S. Kaewunruen, A. Remennikoy, "Composite railway sleepers – Recent developments, challenges and future prospects," *Composite Structure*, vol. 134, pp. 158-168, Sep 2015, doi: 10.1016/j.compstruct.2015.08.058
- [3] G. Tacim, "Öngermeli beton travers üretiminde kendiliğinden yerleşen beton kullanımının araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Afyon Kocatepe Üni., Afyonkarahisar, 2019
- [4] T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü, "Faaliyet raporu 2023," 2023.[Çevrimiçi]. Erişilebilir: <https://static.tcdd.gov.tr/webfiles/userfiles/files/istrapor/2023faaliyetrpr.pdf> [Erişim tarihi:02.07.2024]
- [5] B. Aktaş, F. Çeçen, H. Öztürk, M.B. Navdar, İ.Ş. Öztürk, "Comparison of prestressed concrete railway sleepers and new LCR concrete sleepers with experimental modal analysis," *Engineering Failure Analysis*, vol. 131, 105821, Jan 2022, doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105821
- [6] F. Çeçen, B. Aktaş, "Yeni Nesil Demiryolu Traversleri ve Yerli FRP Donatı Kullanımının Deneysel Araştırması," *Demiryolu Mühendisliği*, vol.13, pp.53-64, Ocak 2021, doi: 10.47072/demiryolu.803452
- [7] F. Çeçen, B. Aktaş, "Lamine CFRP donatılı traverslerin deneysel ve sonlu eleman analizleriyle incelenmesi," *Demiryolu Mühendisliği*, vol.14, pp.26-38, Temmuz 2021, doi: 10.47072/demiryolu.869946
- [8] F. Çeçen, B. Aktaş, "Modal and harmonic response analysis of new CFRP laminate reinforced concrete railway sleepers," *Engineering Failure Analysis*, vol.127, 105471, May 2021, doi: 10.1016/j.engfailanal.2021.105471

- [9] F. Çeçen, B. Aktaş, “B70 Tipi Demiryolu Traverslerinde Polipropilen Fiber Kullanımının Deneysel İncelenmesi,” *Demiryolu Mühendisliği*, vol.15, pp. 158-169, Ocak 2022, doi: 10.47072/demiryolu.990316
- [10] F. Çeçen, B. Aktaş, “Incremental LUR tests of new LCR concrete railway sleepers,” *Engineering Failure Analysis*, vol.130, 105793, Sep 2021, doi: 10.1016/j.engfailanal.2021.105793
- [11] F. Çeçen, B. Aktaş, H.Öztürk, İ.Ş.Öztürk, M.B. Navdar, “Karbon-Fiber Plaka Donatılı Traverslerin, B70-Tipi Öngerilmeli Beton Traverslerle Karşılaştırmalı İncelenmesi,” *Demiryolu Mühendisliği*, vol.15, pp. 97-110, Ocak 2022, doi: 10.47072/demiryolu.1028740
- [12] F. Çeçen, B. Aktaş, H.Öztürk, M.B. Navdar, İ.Ş.Öztürk, “Behaviour of new LCR and ordinary prestressed concrete railway sleepers under repeated impact loads,” *Construction and Building Materials*, vol.319, 126151, Dec 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.126151
- [13] F. Çeçen, B. Aktaş, H.Öztürk, İ.Ş.Öztürk, M.B. Navdar, “Comparison of new LCR and ordinary prestressed concrete railway sleepers with LUR tests,” *Construction and Building Materials*, vol. 321, 126414, Jan 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126414
- [14] W. Ferdous, A. Manalo, O. Alajarmeh, A.A. Mohammed, C. Salih, P.Yu, M. M.Khotbehsara, P. Schubel, “Static behaviour of glass fibre reinforced novel composite sleepers for mainline railway track,” *Engineering Structures*, vol.229, 111627, Dec 2020, doi:10.1016/j.engstruct.2020.111627
- [15] A.S.Hameed, A.P. Shashikala, “Suitability of rubber concrete for railwaysleepers,” *ScienceDirect*, vol.8, pp. 32-35, Feb 2016, doi: 10.1016/j.pisc.2016.01.011
- [16] X.F. Li, S.I. Doh, G.Q. Jing, B.W. Chong, A.L. Suil, S.C. Chin, “A comparative review on American, European and Chinese standard for railway concrete sleeper,” *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 124, 103073, Sep 2021, doi: 10.1016/j.pce.2021.103073
- [17] M.M. Shokrieh, M. Rahmat, “On the reinforcement of concrete sleepers by composite materials,” *Composite Structures*, vol. 76, no.4. pp. 326-337, 2006, doi: 10.1016/j.compstruct.2005.05.005
- [18] G. Tacim, C. Gürer, A.R. Boğa, “Öngermeli beton traverslerde karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerleri,” *Demiryolu Mühendisliği*, vol. 9, pp. 10-19, 2019
- [19] Dywidag, *Öngerilmeli beton traverslere mahsus ani kalıptan çıkarma usulüne göre imalat talimatı*, 1976

Özgeçmiş



Reşat KÖROĞLU

TCDD Uşak Emniyet ve Kalite Yönetimi (EKAY) Kontrolörlüğünde EKAY Kontrolörü olarak görev yapan yazar, Uşak Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitiminin tez aşamasındadır. Demiryollarındaki 25 yıllık iş tecrübesiyle milli ve ekonomik demiryolu beton traversleri geliştirmek adına çalışmalar yapmaktadır.

E-Posta: resatkoroglu@tcdd.gov.tr



Ömer Faruk ERKENDİRCİ

Lisans eğitimini ODTÜ, Yüksek Lisans eğitimini Gaziantep Üniversitesinde, Doktora eğitimini Selçuk Üniversitesinde tamamlamış, Beykent ve İstanbul Aydın Üniversitelerinde yaptığı çalışmalar sonrasında halen Uşak Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde çalışmaktadır.

E-Posta: omer.erkendirci@usak.edu.tr

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Yazarların katkıları: Reşat KÖROĞLU: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazılım. Ömer Faruk ERKENDİRCİ: Kaynaklar, Doğrulama, Kontrol.