

PAPER DETAILS

TITLE: Fiziksel Geri Dönüşüm İle Elde Edilmiş Tekstil Tipi Cam Elyaf Boyutu ve Miktarının Çimento Esaslı Harçların Mekanik Dayanımına Etkisi

AUTHORS: Lütfullah Gündüz,Sevket Onur Kalkan,Ugur Uzgan,Ömer Sert

PAGES: 1342-1357

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3586031>

Fiziksel Geri Dönüşüm İle Elde Edilmiş Tekstil Tipi Cam Elyaf Boyutu ve Miktarının Çimento Esaslı Harçların Mekanik Dayanımına Etkisi

Lütfullah GÜNDÜZ¹, Şevket Onur KALKAN^{2*}, Uğur UZGAN³, Ömer SERT⁴

^{1,2}İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35620, İzmir

^{3,4}Glass Fiber Geri Kazanım San. Tic. A.Ş., İzmir

¹<https://orcid.org/0000-0003-2487-467X>

²<https://orcid.org/0000-0003-0250-8134>

³<https://orcid.org/0009-0000-6011-3929>

⁴<https://orcid.org/0009-0003-1249-1089>

*Sorumlu yazar: sevetonur.kalkan@ikcu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 07.12.2023

Kabul tarihi: 21.02.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

Anahtar Kelimeler:

Geri dönüşüm tekstil

Cam elyaf

Çimento harcı

Lif takviye

Basınç dayanımı

Eğilmede çekme dayanımı

ÖZ

Çimento bağlayıcılı malzemelerin gevrek ve çekme kuvvetlerine karşı dayanımının nispeten düşük olduğu bilinmektedir. Çimentolu malzemeler taşıyabileceği yük ve sönümleyebileceği enerji sınırına ulaştıkları zaman ani kırılmalar meydana gelir. Çimentolu harçların bu tür mekanik özellikler sergilemesi, kullanım amacına da bağlı olarak istenmeyen bir durum olarak değerlendirilebilmektedir. Çimento bağlayıcılı ürünlerde çekme yüklerini daha fazla karşılabilmek, süneklik kazandırabilmek ve daha fazla enerji sönümletebilmek amacıyla farklı elyaf türleri ürün karışım tasarımında yer bulabilmektedir. Bu deneysel çalışmanın amacı, rüzgâr türbin kanadı üretiminde oluşan kirlenmemiş/bozulmamış kumaş atık/artıkların fiziksel geri dönüşüm ile farklı boyutlarda elde edilen tekstil tipi cam elyafların çimentolu harçlarda değerlendirilebilmesidir. Bu bağlamda, fiziksel geri dönüştürülmüş tekstil tipi cam elyaflar 3, 6, 12 ve 14 mm uzunlukta olacak şekilde boyutlandırılmış ve her biri ayrı ayrı ağırlıkça %0, %0,25, %0,50, %0,75, %1,00, %1,25 ve %1,50 oranlarında çimento harçlarında kullanılmıştır. Tüm test örneklerinin yayılma çapı, basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneysel olarak test edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, beklendiği gibi, lif boyu ve lif miktarı yayılma değerlerini azaltan bir faktör olarak tespit edilmiştir. Eğilmede çekme dayanım sonuçlarına göre bu lifler arasından optimum dayanım sonucunu veren lif uzunluğunun 6 mm olduğu görülmüştür. Buna karşın, lif uzunluğu ve kullanım miktarının basınç dayanımını düşürebilen bir etki sergileyebileceği gözlemlenmiştir.

Effect of Physically Recycled Textile Type Glass Fiber Size and Amount on the Mechanical Strength of Cement-Based Mortars

Research Article

Article History:

Received: 07.12.2023

Accepted: 21.02.2024

Published online: 25.06.2024

Keywords:

Recycled textile

Glass fiber

Cement mortar

Fiber reinforcement

Compressive strength

Flexural strength

ABSTRACT

It is known that cement-bonded materials are brittle and have relatively low resistance to tensile forces. Sudden fractures occur when cementitious materials reach the load they can carry and the energy they can absorb. The fact that cementitious products exhibit such mechanical properties can be considered as an undesirable situation, depending on the intended use. In cement binder products, different fiber types can be included in the product mixture design in order to absorb more tensile loads, provide ductility and absorb more energy. The aim of this experimental study is to use textile type glass fibers obtained in different sizes by physical recycling of uncontaminated fabric waste/residues generated in the production of wind turbine blades in cementitious mortars. In this context, physically recycled textile type glass fibers were sized to be 3, 6, 12 and 14 mm long and each was individually

evaluated in cement mortars at 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 and 1.50 wt.%. Flow table, compressive strength and flexural strength of all samples were tested experimentally. According to the study results, as expected, fiber length and fiber amount were found to be factors that reduce the flow diameter values. According to the results of flexural strength, it was seen that the fiber length giving optimum strength among these fibers was 6 mm. On the other hand, it has been observed that fiber length and usage amount may have an effect that can reduce the compressive strength.

To Cite: Gündüz L., Kalkan ŞO., Uzgan U., Sert Ö. Fiziksel Geri Dönüşüm İle Elde Edilmiş Tekstil Tipi Cam Elyaf Boyutu ve Miktarının Çimento Esaslı Harçların Mekanik Dayanımına Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1342-1357.

1. Giriş

Portland çimentosu ile yapılan çimento bağlayıcılı yapı malzemeleri günümüzde dünyada en yaygın kullanılan inşaat malzemesi türü olarak bilinmektedir. Bu yapı malzemelerinin üretiminde bağlayıcı olarak hidrolik çimento, inert malzeme olarak ise ince agrega ve/veya kaba agrega kullanılmakta olup, yapı malzemesinin doğası genelde kompozit bir malzeme karakteristiği sergilemektedir (Al-Ghaban ve ark.,2018). Betonun özelliklerini olumlu yönde iyileştirmek amacıyla belirli bir uzunluk/çap (incelik oranı) oranına sahip cam, çelik ve polipropilen gibi lifler yaygın olarak kullanılmaktadır. Homojen olarak dağılan lifler betonda oluşan çatlakları önler ve betondaki çatlakların ilerlemesini yavaşlatarak betonun mukavemetine ve dayanıklılığına olumlu katkı sağlar. Ayrıca betonda lif kullanılarak betonun enerji yutma kapasitesi artırılabilir (Nataraja ve ark., 2000; Akyüncü, 2021). Beton veya harç karışımlarına elyaf türü malzemelerin özellikle cam elyafın eklenmesi, matristeki çatlakların genişlemesini ve gelişmesini etkili bir şekilde önleyebildiği farklı çalışmalarda rapor edilmiştir (Mahdi, 2014; Al-Ghaban ve ark., 2018; Şenses ve ark., 2023). Bu karışımlar genellikle “cam elyaf takviyeli beton veya harç” isimleriyle adlandırılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, elyaf takviyeli çimento kompozitlerin daha sık kullanılmasıyla inşaat malzemelerinin sağlamlığı ve dayanıklılığı artırılmaktadır. Bu gelişmelere bağlı olarak inşaat malzemelerinin büzülme, çatlama, aşınma ve yıpranma olasılığı azalmaktadır (Mahdi, 2014; Al-Ghaban ve ark., 2018; Şenses ve ark., 2023).

Cam elyaf takviyeli harç, sıradan harçtan farklı özelliklere sahip yeni bir yapı malzemesi olarak kabul edilmektedir. Cam elyaf takviyeli harçlarda, karışıma ilave edilen cam elyafların harcın çekme mukavemeti ve eğilme mukavemetini önemli ölçüde iyileştirdiği ve basınç mukavemetinden az oranda etkilendiği yapılan deneysel çalışmalarda belirlenmiştir (Mahdi, 2014). Çimento esaslı harçlara cam elyaf eklenmesi, harcın mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilmesi, karışımın su/çimento oranı, elyafların çimento matrisine oranı (katkı olarak kullanım miktarı), matristeki elyafların uzunluğu, geometrisi, dağılımı, yönelimi ve elyaf mukavemeti vb. faktörlere bağlı olabilmektedir (Al-Ghaban ve ark., 2018). Elyaf ile güçlendirilmemiş harç gibi kırılgan matrisler, çekme yükü taşıma kapasitelerini kaybeder. Çimento esaslı malzemelere lif eklenmesinin, çimentolu matrislerin dayanıklılığını artırabildiği ve çatlakları önemli ölçüde durdurmaya hizmet ettiği kabul edilmiştir. Lif takviyeli çimento harcının performansındaki artış, liflerin çatlama oluşumuna karşı direnç gösterdiği noktaya bağlanabilir (Sree ve ark., 2018). Harçlarda bu özelliklerin gelişimi, harcın yapı

malzemesi olarak kullanılan alanlarında dayanıklılığını artırmasının yanı sıra performansını ve hizmet ömrünü iyileştirmek için önemli bir parametre oluşturmaktadır.

Günümüzde çimento matrisli kompozitlerde çeşitli tipte lif malzemelerin kullanılmasının fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine bir dizi laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Çimento harcı matrisinin sıvı ve gazların içinden geçmesine izin veren gözenekli yapısı sıvanın dayanıklılığını daha da azaltır. Cam elyaflar mekanik mukavemeti artırıp geçirgenliği azaltarak malzemenin kullanım ömrünü uzatır. Cam elyaf, yüksek mukavemeti ve dayanıklılığı nedeniyle harç karışımında kullanım için tercih edilen bir elyaf seçeneğidir. Harcın performansını, mukavemetini ve ömrünü önemli ölçüde artırmak amacıyla kullanılabilecek önemli bir elyaf türüdür. Çimento esaslı harçların mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek amacıyla zaman içerisinde farklı araştırmacılar polipropilen, PVA, cam elyaf vb. gibi farklı orijinli elyaf eklemenin etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmalarda genel bulgu bağlamında, çimento matrisli kompozitlere elyaf eklenmesi, plastik büzülme çatlaklarını azaltırken, çekme ve basınç mukavemetini arttırabilmektedir (Nandurkar ve ark., 2023). Örneğin; Tassew ve Lubell (2014), fosfatlı çimento bağlayıcı kullanılarak üretilen seramik betona doğranmış cam elyaf ilavesinin basınç dayanımı ve elastikiyet modülü üzerinde çok az etkiye sahip olduğunu ancak eğilme dayanımını ve doğrudan kesme dayanımını önemli ölçüde arttırdığını belirlemişlerdir. Bu durum, biri kum ve diğeri hafif genleşmiş kil agregaları içeren her iki seramik beton matris türünde ve %0 ile %2 arasında değişen lif hacim oranlarında gözlemlenmiştir. Çalışma ayrıca seramik betonun basınç, eğilme ve kesme altındaki tokluğunun lif içeriğinin artmasıyla arttığını, işlenebilirliğin ise azaldığını belirlemişlerdir (Tassew and Lubell, 2014). Chung (2000), çimento matrisli kompozitlere kısa karbon fiber eklenmesi konusu üzerine araştırmalar yapmış ve fiber eklenmesinin düşük termal iletkenlik, yüksek korozyon direnci ve düşük kuruma büzülme davranışı ile çekme ve eğilme özelliklerinde çekici bir iyileşme olduğunu ortaya koymuştur. Fathi ve ark. (2017) betonun davranışını çeşitli yüzdelerde arttırmak için cam elyafının betona eklenmesini önermişlerdir. Singh (2014) ve Patil ve ark. (2016) yeni bir yapay inorganik malzeme olan cam elyafın, geniş hammadde kaynaklarına sahip, kolay seri üretilebilen, düşük birim ağırlığının yanı sıra ısı ve ses yalıtımı da sağlayan bir malzeme olduğunu rapor etmişlerdir (Patil ve Burile, 2016; Fathi ve ark., 2017). Bu nedenle cam elyafı, beton katkısı olarak diğer elyafların yerine geçebilecek büyük bir potansiyele sahip olduğunu vurgulamışlardır. Sanjeev ve Sai Nitesh (2020) tarafından yapılan araştırma çalışmasında da modifiye edilmemiş betonla karşılaştırıldığında, cam elyaf ile modifiye edilmiş beton, mekanik performans ve özellikler açısından daha iyi sonuçlar göstermiştir. Çökme düşüşündeki azalmayla birlikte basınç, yarmada çekme mukavemeti ve eğilme mukavemet değerlerinde belirgin birer artış olduğu belirtilmiştir (Akyüncü, 2021). Ahsan Habib ve ark. (2013), sentetik elyaflarla (cam, naylon ve polipropilen elyaflar) takviyeli harçların mekanik özelliklerini incelemişler, cam elyaf hariç diğer elyaflarla yapılan harç kompozitlerinin basınç dayanımında artış olduğunu belirlemişlerdir. Rai ve Joshi (2014), betona ek olarak kullanılan çelik elyaf, cam elyaf, doğal elyaf ve polimer elyaf üzerinde çalışmalar yapmışlar ve bu çalışma bulgularında elyaf eklemenin betonun çatlamasını önlenmesi, tokluğu, şok direncini ve plastik büzülmeye karşı direnci arttırmanın

etkili bir yol olduğunu tanımlamışlardır. Şenses ve ark. (2023), cam elyaf gibi elyaflar, beton veya çimento esaslı malzemelere yeterli miktarda eklendiğinde malzeme içerisinde oluşan gerilimlerin daha etkili bir şekilde dağıtılmasına yardımcı olabildiğini belirtmişlerdir. Spesifik olarak, malzeme içinde çatlaklar oluştuğunda, fiberler çatlaktaki gerilimleri malzemenin herhangi bir çatlağın oluşmadığı çevre bölgelerine ileterek çatlakların daha fazla yayılmasının önlenmesine yardımcı olabildiğini vurgulamışlar ve özellikle cam elyafların, yüksek sertlik dereceleri ve aşınmaya karşı dirençleri sebebiyle beton uygulamalarında kullanımlarının uygun olduğunu belirtmişlerdir (Şenses ve ark., 2023).

Günümüzde genellikle 3 farklı cam elyaf çeşidi üretilmektedir. Bunlar; izolasyon tipi cam elyafı (cam yünü), tekstil tipi cam elyafı ve optik cam elyafıdır. Sürekli cam elyaf, sürekli filament cam elyaf, takviye edici cam elyaf veya E-cam elyafı olarak da adlandırılan tekstil tipi cam elyafı, plastiklerde, lastik veya kauçuk çimentoda ve diğer malzemelerde mukavemet artırıcı olarak kullanılır. İzolasyon cam elyafı veya cam yünü olarak adlandırılan izolasyon tipi cam elyaf, genel olarak binalarda yalıtım amacıyla kullanılır. Optik cam elyaf türü ise çoğunlukla haberleşme alanlarında kullanılmaktadır (Eti Holding, 2003). Tekstil tipi cam elyafı yüksek çekme ve çarpma dayanımına sahip, ağırlıkça hafif, kimyasal reaksiyonlara karşı oldukça dirençli ve düşük maliyetle üretilebilen bir malzemedir. Bu özellikler tekstil tipi cam elyafın son yıllarda geleneksel malzemeler ve metallerin yerine gittikçe artan oranlarda kullanılan plastiklerde ve kompozitlerde takviye elemanı olarak kullanılmasını teşvik etmektedir (Eti Holding, 2003). Genel bir değerlendirme olarak tekstil tipi cam elyaflar; alümino-kalsiyum-borosilikat cam formunda olup, en fazla %7 oranında alkali ve %8 civarında bor bileşiği içerebilirler. Yüksek çekme ve çarpma mukavemetine sahip, ısı direnci yüksek, düşük su emme kabiliyetine sahip bir özellik gösterir.

Tekstil tipi cam elyafın sektörel alanlarda kullanılmasında, farklı türevlerde üretilmiş elyaf formlarının kullanımları şeklinde görülebilmektedir. Bu alanlardan biri de rüzgâr türbinlerinin kanat imalatında cam elyaf kumaş kullanımıdır. Kanat imalatında kullanılan cam elyaf kumaşlardan imalat sırasında artık kumaş malzemeler kalabilmekte ve cam elyaf elde edilmesi için bileşimleri sebebiyle endüstriyel bağlamda önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Kirlenmemiş/bozulmamış bu kumaş artıklarının fiziksel geri dönüşüme uğratan proseslerle farklı boyutlarda tekstil tipi cam elyaflara dönüşümünün sağlanması önemli ve yenilikçi ekonomik bir yaklaşımdır. Bu elyafların fiziksel dönüşümle elde edildiği kumaşlarda kaplama ve katkı ajanı olarak kullanılan silan varlığı, elyaf malzemenin farklı kimyasal ortamlardaki etkileşim ve alkali ortamlara direncini de iyileştiren bir faktör olarak da görülebilmektedir. Bu bağlamda, bu türev elde edilmiş cam elyaf malzemeler, normal piyasa koşullarında endüstriyel olarak görülebilen cam elyaf malzemelerin katkı olarak kullanıldığı çimentolu kompozitlerde teknik performansı daha üstün karakteristik özellikler gösterebilmektedir. Bu cam elyaflar, inşaat sektöründe farklı yapı malzeme türevlerinin üretimlerinde önemli bir katma değer oluşturabilecek endüstriyel bir elyaf malzeme potansiyelini oluşturmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, rüzgâr türbinlerinin kanat imalatında kullanılmak üzere cam elyaf kumaş ve iplik kullanılarak kompozit üretim yapan firmaların kirlenmemiş/bozulmamış kumaş çıktılarının fiziksel

dönüşüme uğratan işlemlerle elde edilmiş farklı uzunluklardaki (3 mm, 6 mm, 12 mm ve 14 mm) tekstil tipi cam liflerinin katkı olarak kullanıldığı çimento esaslı harç örneklerinde cam elyaf uzunluğu ve kullanım miktarının, harcın mekanik özelliklerine etkisi bir dizi deneysel analizlerle incelenmiştir. Bu incelemede cam elyaf katkılı çimento esaslı harçların kıvam ve yayılma analizleri eğilmede çekme ve basınç dayanımı olarak iki ayrı mekanik test değerleri incelenmiştir. Elde edilen bulgulardan, fiziksel dönüşümle elde edilmiş cam elyafların çimento esaslı harç ürünlerde kullanılabilirliği üzerine karşılaştırmalı teknik irdelemeler yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

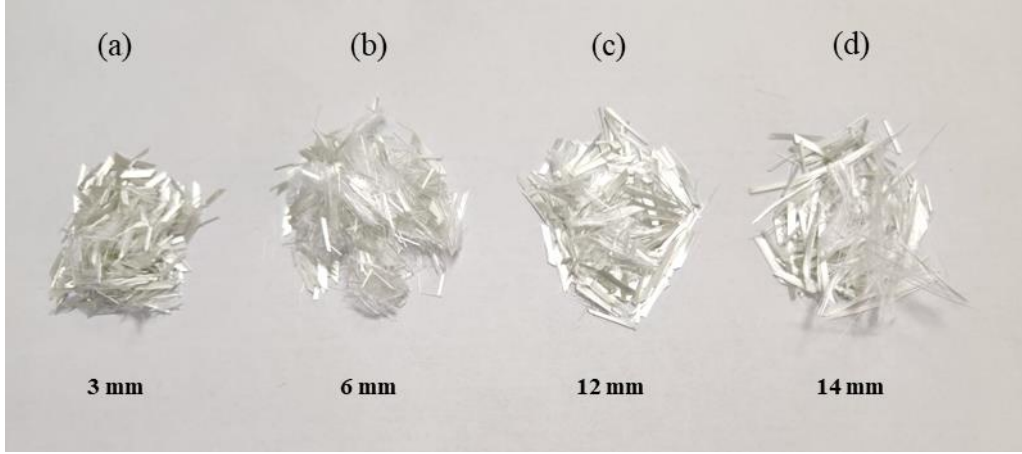
2.1. Test Örneklerinde Kullanılan Malzemeler

Fiziksel geri dönüşümle elde edilmiş tekstil tipi cam elyaf katkılı harç (TTCEKH) test örneklerinin hazırlanmasında özgül ağırlık değeri ortalama 3,0 g/cm³ olan CEM I 42.5 R tipi çimento ana bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Ana agrega olarak TS EN 196-1 (2016) standardına uygun CEN standart kum (Tablo 1) piyasa koşullarından temin edilerek kullanılmış olup, karma suyu olarak da normal şebeke suyunun kaynama ve soğutma yöntemleri kullanılarak damıtılması yoluyla elde edilen, minerallerden yoksun saf su kullanılmıştır.

Tablo 1. TS EN 196-1 (2016) standardına uygun CEN standart kumun özellikleri.

Tane Büyüklüğü Dağılımı, Kare Göz Açıklığı	Standart olarak öngörülen (Elekte Kalan Yığılımlı)	Çalışmada kullanılan Kum
2,00 mm	%0	%0,00
1,60 mm	%7±5	%6,98
1,00 mm	%33±5	%33,15
0,50 mm	%67±5	%67,19
0,16 mm	%87±5	%88,25
0,08 mm	%99±1	%98,48
Rutubet Oranı	<%0,20	%0,06

Çimento esaslı harç örneklerinde fiziksel geri dönüşümle elde edilmiş tekstil tipi cam elyaf boyutu ve kullanım miktarının, harcın mekanik özelliklerine etkisini analiz etmek amacıyla 4 ayrı boyut tekstil tipi cam elyaf (TTCE) kullanılmıştır. Bu boyutlar: 3 mm, 6 mm, 12 mm ve 14 mm'dir. Çalışma kapsamında kullanılan TTCE malzemeler, rüzgâr türbinlerinin kanat imalatında kullanılmak üzere cam elyaf kumaş ve iplik kullanılarak kompozit üretim yapan firmaların kirlenmemiş/bozulmamış kumaş çıktılarının fiziksel dönüşüme uğratan proseslerle elde edilmiş farklı boyutlardaki özenle sınıflandırılmış cam elyaflardır. Bu TTCE malzemelerin özgül ağırlığı 2,58 g/cm³, elyaf çapları 13-15 (±%15) mikron, çekme dayanımı >3200 MPa, Elastisite Modülü ≥70 GPa, nem oranı <%0,15, iplik oranı <%0,20 ve uygulama sıcaklığı -60 °C ile 650 °C arasındadır. TTCE malzemelerin boyut değerine göre uzunluk tolerans değerleri ise 3 mm TTCE için ±1,2 µm, 6 mm TTCE için ±1,5 µm, 12 mm TTCE için ±2 µm ve 14 mm TTCE için ±2,1 µm'dir. Test örneklerinin hazırlanmasında kullanılan TTCE malzemelerin genel görünimleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. TTCE malzemelerin genel görünümü; (a) 3 mm TTCE, (b) 6 mm TTCE, (c) 12 mm TTCE, (d) 14 mm TTCE

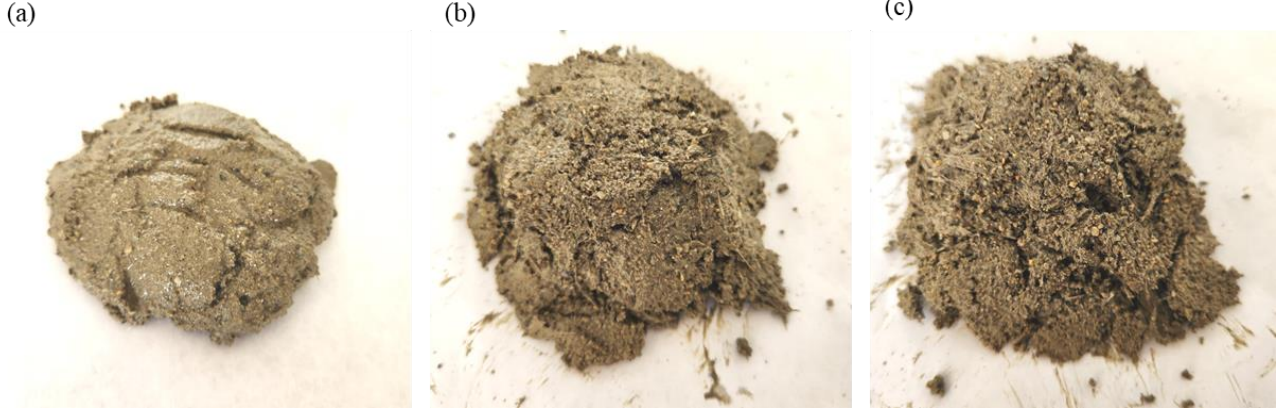
2.2. TTCEKH Karışım Tasarımı ve Test Örneklerin Hazırlanması

Çimento esaslı harç örneklerinde fiziksel geri dönüşümle elde edilmiş tekstil tipi cam elyaf boyutu ve kullanım miktarının, harcın mekanik özelliklerine etkisini analiz etmek amacıyla öncelikle karışım tasarımında herhangi bir elyaf katkı içermeyen kontrol harcı tasarımı yapılmış olup, çalışma kapsamında K0 olarak kodlanmıştır. Bununla birlikte her bir boyut için (3 mm, 6 mm, 12 mm ve 14 mm) TTCE katkının 6 farklı ağırlıkça kullanım oranında (%0,25, %0,50, %0,75, %1,0, %1,25 ve %1,5) kullanıldığı 6'şar ayrı karışım tasarımları yapılmıştır. Çalışma programında böylece toplamda 25 ayrı karışım tasarımı yapılmıştır. Tüm karışımlarda standart bir karışım oranı kullanılmış olup, örneğin 450 g çimento, 1350 g standart kum ve 225 g karma suyu (çimento/kum: 3,00 oranı; 1 birim çimento/3 birim kum) sabit yaklaşım olarak uygulanmıştır. Bu karışımlara TTCE malzeme ilave yöntemiyle eklenerek kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan malzeme ve kullanım miktarları Tablo 2'de verilmiştir. Tüm karışımlarda Su/Çimento oranı sabit tutulup $w/c=0,50$ oranında karışım suyu ile örnekler hazırlanmıştır. Karışımların hazırlanmasında boyutlandırılmış TTCE lif katkıları, kuru formda önceden tartılarak hazırlanmış toz karışım şeklindeki harç karışımına ilave edilerek, ortalama 3 dakika düşük devirli bir karıştırıcı ile karıştırılarak elyaf malzemelerin karışım içerisinde ön açılım işlemi yapılmıştır. Sonrasında belirlenen sabit su/çimento oranında karışıma karma suyu eklenerek karıştırma işlemine 3 dakika boyunca homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmaya devam edilmiştir. Elde edilen taze harç yaklaşık 5 dakika dinlendirilip tekrar 30 saniye kadar ilaveten karıştırıldıktan sonra yaş harç, test örneklerinin kalıplanması ve ayrıca yaş harç ölçümleri için hazır hale getirilmiştir. Her bir yaş harç tasarımına ait TTCEKH örneklerinin öncelikle yayılma tablası yöntemi kullanılarak kıvam değerlendirmelerinin yapılabilmesi amacıyla yayılma değerleri test edilmiştir.

Tablo 2. TTCEKH test örneklerinin karışım bileşenleri (ağırlıkça, %)

Karışım	Çimento (%)	Standart Kum (%)	TTCE (%)	Su (%)	TTCE Uzunluğu	Su/Çimento Oranı	Çimento/Kum Oranı
T0	22,22	66,67	0,00	11,11	-	0,50	3,00
T3_0.25	22,17	66,50	0,25	11,08	3 mm	0,50	3,00
T3_0.50	22,11	66,34	0,50	11,06	3 mm	0,50	3,00
T3_0.75	22,06	66,17	0,75	11,03	3 mm	0,50	3,00
T3_1.00	22,00	66,00	1,00	11,00	3 mm	0,50	3,00
T3_1.25	21,94	65,83	1,25	10,97	3 mm	0,50	3,00
T3_1.50	21,89	65,67	1,50	10,94	3 mm	0,50	3,00
T6_0.25	22,17	66,50	0,25	11,08	6 mm	0,50	3,00
T6_0.50	22,11	66,34	0,50	11,06	6 mm	0,50	3,00
T6_0.75	22,06	66,17	0,75	11,03	6 mm	0,50	3,00
T6_1.00	22,00	66,00	1,00	11,00	6 mm	0,50	3,00
T6_1.25	21,94	65,83	1,25	10,97	6 mm	0,50	3,00
T6_1.50	21,89	65,67	1,50	10,94	6 mm	0,50	3,00
T12_0.25	22,17	66,50	0,25	11,08	12 mm	0,50	3,00
T12_0.50	22,11	66,34	0,50	11,06	12 mm	0,50	3,00
T12_0.75	22,06	66,17	0,75	11,03	12 mm	0,50	3,00
T12_1.00	22,00	66,00	1,00	11,00	12 mm	0,50	3,00
T12_1.25	21,94	65,83	1,25	10,97	12 mm	0,50	3,00
T12_1.50	21,89	65,67	1,50	10,94	12 mm	0,50	3,00
T14_0.25	22,17	66,50	0,25	11,08	14 mm	0,50	3,00
T14_0.50	22,11	66,34	0,50	11,06	14 mm	0,50	3,00
T14_0.75	22,06	66,17	0,75	11,03	14 mm	0,50	3,00
T14_1.00	22,00	66,00	1,00	11,00	14 mm	0,50	3,00
T14_1.25	21,94	65,83	1,25	10,97	14 mm	0,50	3,00
T14_1.50	21,89	65,67	1,50	10,94	14 mm	0,50	3,00

Daha sonra tüm yaş TTCEKH örnekleri 40x40x160 mm³ boyutlarında çelik prizma kalıplara dökülmüştür. Yaş harçlar kalıplara iki tabaka şeklinde yerleştirilmiştir. Her bir tabaka 60 defa sarsma ile sarsma tablasında sıkıştırılmıştır. Her bir karışım tasarımından 15'er adet numune üretilmiştir. Dökümden sonra, numunelerin her biri, kalıptan çıkarmadan önce laboratuvarında 24 saat bekletilmiş olup, kalıplardan çıkarılan test örneklerinin 1 günlük birim hacim kütle değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Kalıptan çıkarılan tüm numuneler test gününe kadar 23±2 °C'lik bir ortamda doğal kür işlemine tabi tutulmuştur. 28 gün sonrasında, testler için kürlemesi tamamlanan numuneler öncelikle havalandırılmalı bir etüvde kurutularak, birim hacim kütle değerleri ölçülerek kaydedilmiş ve her bir test örneğinin TS EN 1015-11 standardında öngörülen prensiplere göre 40×40×160 mm boyutlarındaki prizma test örnekleri üzerinde sırasıyla eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı analizleri yapılmıştır. Taze yaş formunda hazırlanan TTCEKH karışımlarının harç kıvamlarına ilişkin genel görümleri sembolik Şekil 2'de ve 28 gün kür sonrası prizma formu TTCE katkılı test örneklerinin temsili görüntüsü ise Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 2. TTCE katkılı harç örneklerin yaş harç formu genel görünümü; (a) T3_0.50 harcı, (b) T6_0.75 harcı, (c) T14_1.25 harcı



Şekil 3. TTCE katkılı çimento esaslı test örneklerinin 28 gün sonra genel görünümleri

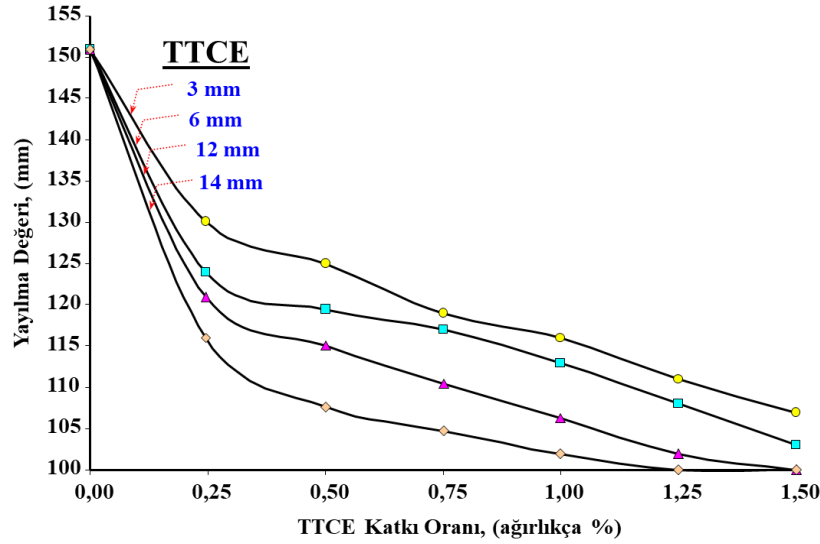
3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

3.1. Yayılma – Kıvam Tayini

Taze yaş formunda hazırlanan tüm TTCEKH karışımlarına ait örneklerin karma, 5 dakikalık dinlenme ve 30 saniye kadar ilaveten karıştırılma işlemi sonrasında TS EN 1015-3 standardına uygun olarak yayılma tablası test düzeneği kullanılarak ölçülen yayılma değerleri Şekil 4'te TTCE sembolik olarak gösterilmiştir. TTCE kullanım oranı ve boyutuna bağlı grafiksel analizi ise Şekil 5'te verilmiştir.

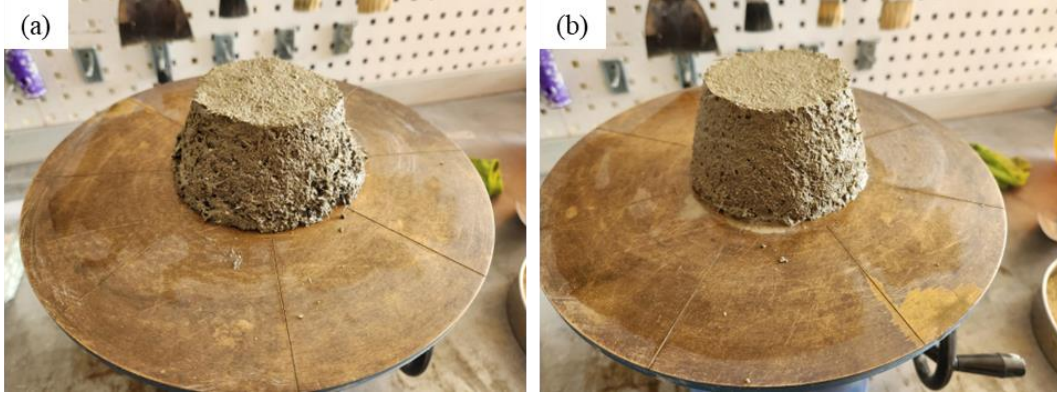


Şekil 4. TTCE katkılı harç örneklerin yayılma testi genel görünümü; (a) T0 kontrol harcı, (b) T3_0.50 harcı, (c) T12_0.75 harcı



Şekil 5. TTCE katkılı harç örneklerin yayılma testi bulguları

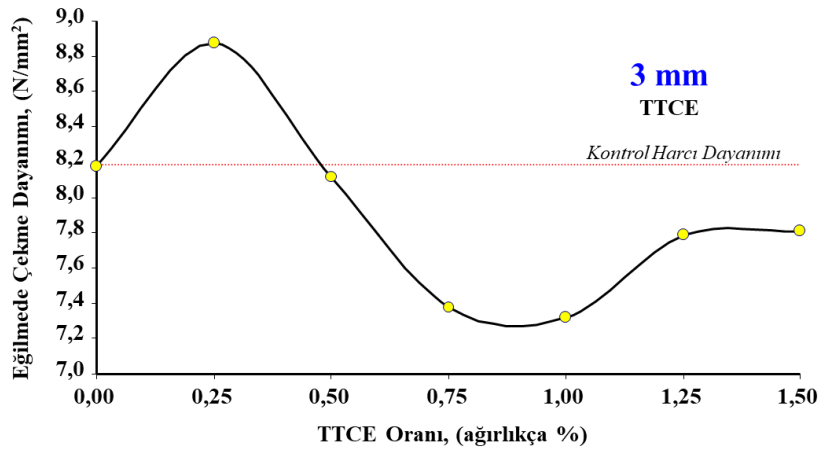
T0 kodlu kontrol harcı örneğinin yayılma değeri 151 mm olarak belirlenmiştir. TTCE katkılı tüm karışım tasarımlarına ait harç örneklerin yayılma değeri, kontrol örneği değerinden daha düşüktür. Şekil 5 irdelendiğinde TTCE ilavesinin harcın yayılma değerini ve dolayısıyla kıvamını genel olarak düşürmektedir. Bu da harcın işlenebilirliğini zayıflatmaktadır. Bununla birlikte, bir diğer bulgu ise TTCE boyunun artışı, ağırlıkça eşdeğer orandaki bir harç tasarımında kısa uzunluk değerindeki elyafa göre daha az miktarda lif katkısı yer almasına rağmen, harcın yayılma değerinin düştüğü görülmektedir. Benzer etkileşimler Toklu ve ark. (2022), Qureshi ve Ahmed (2013), ve Erkek (2020) tarafından yapılan araştırma bulgularında da değinilmiştir. Yayılma tablası ile yapılan ölçümlerde genel bir yaklaşım olarak harcın işlenebilirlik sınırının 130 mm olduğu kabul edilecek olur ise, lif uzunluğu arttıkça artan lif kullanım miktarına da bağlı olarak bu değer altında yayılma değerlerinin elde edildiği gözlenmektedir. 130 mm yayılma değerinin altında yayılma – kıvam karakteristiği gösteren harç örneklerinin yayılma olmaksızın doğrudan kalıplara yerleştirebileceği düşünülebilir. Yayılma testleri sürecinde gözlenen bir diğer durum ise, elyaf katkı miktarı arttıkça lifin topaklanma olgusu oluşturduğu, bunun aşılması için ise karışımın daha fazla su miktarına ihtiyaç duyduğu gözlenmiştir. Lif uzunlukları arttıkça, lif boyu uzanımlarında su zerreciklerinin daha fazla tutunum sergilediği ve matris yapıda lifler arasında kalan bölümlerde daha fazla boşluk, gözenek oluşarak, bu gözeneklerde suyun tutulması sebebiyle de işlenebilirliğin azaldığı gözlenmiştir. Özellikle 12 mm ve 14 mm TTCE boyutlu harç tasarımlarında ağırlıkça %1,25'in üzerinde kullanımı, bu su/çimento oranındaki harç kıvamının Şekil 6'da gösterildiği üzere yayılma eğiliminin çok küçük olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. TTCE boyutunun harcın yayılmasına olan etkisi – genel görünümü; (a) T12_1.25 harcı yayılması, (b) T14_1.50 harcı yayılması

3.2. Eğilmede Çekme Dayanımı Analizi

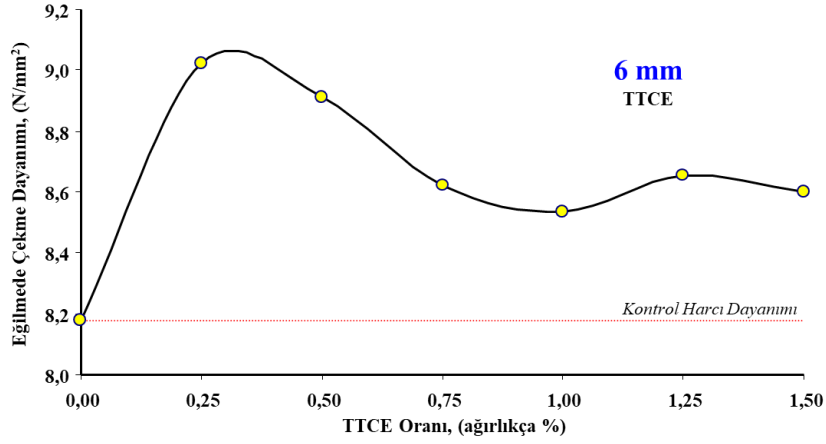
T0 kodlu kontrol harcı örneğinin 28 gün sonrası eğilme dayanımı ortalama 8,18 N/mm² olarak belirlenmiştir. Farklı elyaf uzunluğunda hazırlanan TTCE katkıli karışım tasarımlarının eğilmede çekme dayanım değerleri, elyaf katkının uzunluğu ve katkı oranına bağlı olarak kontrol örneği değerinden farklılıklar göstermektedir. TTCE katkıli test örneklerinin elyaf katkı oranına bağlı 28 gün sonrası eğilme dayanımı değerleri, 3 mm, 6 mm, 12 mm ve 14 mm için sırasıyla Şekil 7 – Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 7. TTCE katkıli harç örneklerin 3 mm lif katkı oranı – eğilmede çekme dayanımı ilişkisi

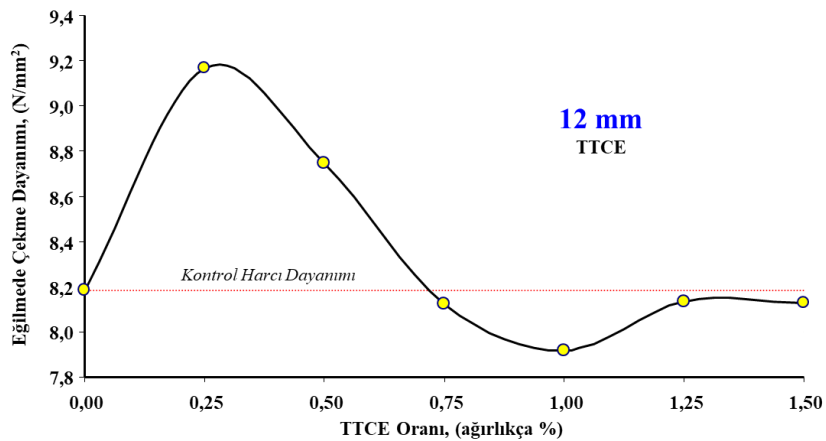
Şekil 7 irdelendiğinde görüldüğü üzere, kontrol harcı eğilmede çekme dayanım değeri referans alındığında harç karışımında ağırlıkça %0,45 oranına kadar 3 mm uzunlukta TTCE kullanımı, referans değerden daha iyi sonuçlar vermektedir. Ancak, bu oran değerinden daha yüksek oranda elyaf katkı kullanımının referans değere göre eğilmede çekme dayanımını düşürdüğü görülmektedir. Bu düşüşün elyaf uzunluğunun kısa olması sebebiyle, matris yapıda eğilme yükü altında lif ile agrega taneleri arasında düşük kohezyon oluşmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Ağırlıkça %0,90 oranında 3 mm TTCE kullanımı, harcın eğilmede çekme dayanımını yaklaşık %10 oranında düşürmektedir. Bununla birlikte, ağırlıkça %0,90 ve üzerinde lif katkı kullanımıyla matris yapıda lif miktarı sebebiyle

oluşan heterojen sarmal bir lif yoğunluğu oluşturmamasından dolayı harcın eğilmede çekme dayanımının iyileşmeye başladığı da gözlenmiştir.



Şekil 8. TTCE katkılı harç örneklerin 6 mm lif katkı oranı – eğilmede çekme dayanımı ilişkisi

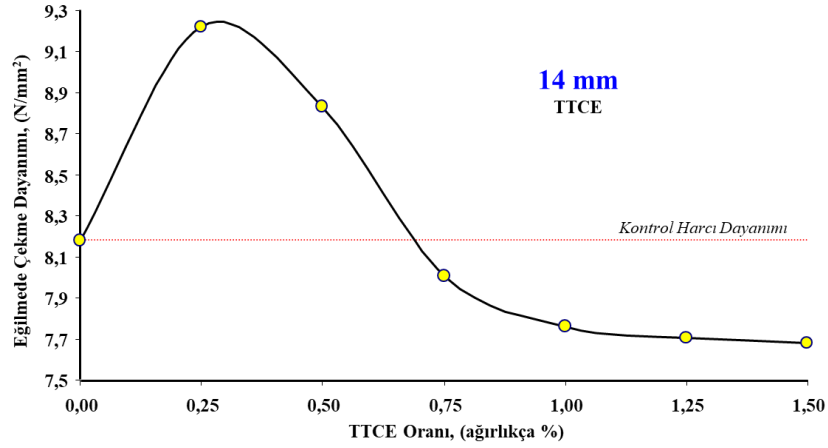
Şekil 8 irdelendiğinde görüldüğü üzere, harç karışımında tüm oranlarda 6 mm TTCE kullanımı, referans değerden daha iyi sonuçlar vermektedir. Eğilmede çekme dayanımı en yüksek değeri ağırlıkça %0,25 oranında 6 mm TTCE kullanımlı test örneklerinde elde edilmiş olup, kontrol harcına göre %10,3'lük bir değer artışına sebep olmuştur. Bu orandan daha yüksek miktarlarda 6 mm elyaf kullanımının harcın eğilmede çekme dayanımını yaklaşık %6 kadar düşürmektedir. 6 mm boyutunda harç bileşimine katılan TTCE lif katkıları hamur içerisinde düzgün dağılan ve rastgele yönlendirilen lifler olması sebebiyle eğilmede çekme gerilmelerine karşın matris yapıda önemli birer donatı vazifesi gördüğü gözlenmiştir. Ağırlıkça %0,50 - %1,50 oran aralığında 6 mm TTCE lif kullanımının harcın eğilmede çekme dayanımını sırasıyla %8,9, %5,4, %4,3, %5,8 ve %5,1 oranında iyileştirdiği belirlenmiştir.



Şekil 9. TTCE katkılı harç örneklerin 12 mm lif katkı oranı – eğilmede çekme dayanımı ilişkisi

Şekil 9 irdelendiğinde, ağırlıkça %0,75 oranına kadar 12 mm uzunlukta TTCE kullanımının farklı oranlarda da olsa harcın eğilmeye karşı direncini artırdığı görülmektedir. 12 mm TTCE kullanımlı test örneklerinde eğilmede çekme dayanımının en yüksek değeri ağırlıkça %0,25 oranında elde edilmiş olup,

kontrol harcına göre %12,1'lik bir değer artışına sebep olmuştur. Bununla birlikte ağırlıkça %0,50 oranında TTCE lif katkısının ise %6,9'luk bir eğilmede çekme direnç artışı oluşturduğu belirlenmiştir. Ancak, bu oran değerinden daha yüksek miktarlarda elyaf lif katkı kullanımının ise, harcın eğilme dayanımını düşürdüğü görülmektedir. Bu düşüşün elyaf uzunluğunun büyüklüğü sebebiyle, matris yapıda lif yüzeylerinden eğilme yükü etkisinde kısmi sıyrılmaların oluşmaya başladığı ve bunun da matris yapının eğilmeye ve çekmeye karşı direncini düşürdüğü şeklinde yorumlanmıştır.

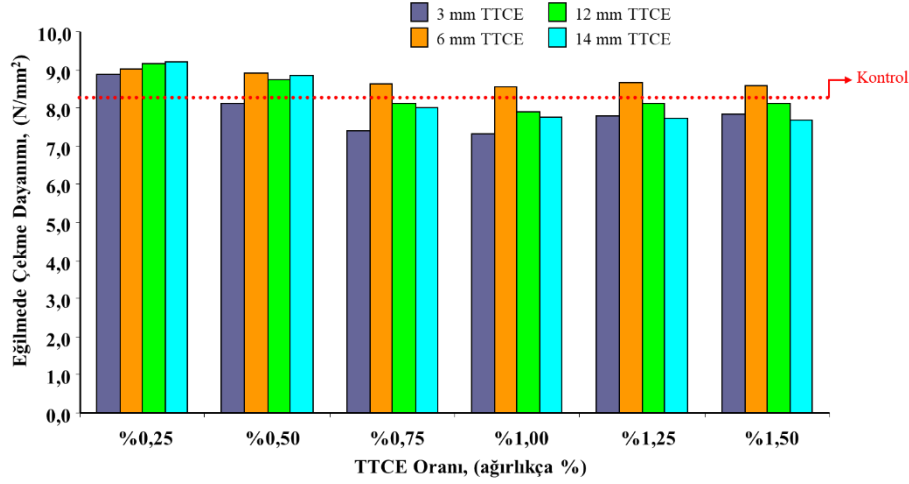


Şekil 10. TTCE katkılı harç örneklerin 14 mm lif katkı oranı – eğilmede çekme dayanımı ilişkisi

12 mm uzunlukta TTCE kullanımlı harç örneklerinin eğilmede çekme dayanımı karakteristiğine benzer şekilde, ağırlıkça %0,70 oranına kadar 14 mm uzunlukta TTCE kullanımının farklı oranlarda da olsa harcın eğilmede çekmeye karşı direncini artırdığı görülmektedir. 14 mm TTCE kullanımlı test örneklerinde eğilmede çekme dayanımının en yüksek değeri ağırlıkça %0,25 oranında elde edilmiş olup (Şekil 10), kontrol harcına göre %12,7'lik bir değer artışına sebep olmuştur. Bununla birlikte ağırlıkça %0,50 oranında TTCE lif katkısının ise %8'lik bir eğilmede çekme direnç artışı oluşturduğu belirlenmiştir. Ancak, bu oran değerinden daha yüksek miktarlarda elyaf lif katkı kullanımının ise, harcın eğilme dayanımını düşürdüğü görülmektedir. Lif uzunluğunun artışı, matris yapıda lif yüzeylerinden eğilme yükü etkisinde daha büyük miktarlarda sıyrılmaların oluşmaya başlamasına, lif miktarına bağlı olarak matris yapıda düzensiz şekilde sarmallaşan lifler arasında daha fazla gözenek oluşmasına ve matris yapının eğilmeye ve çekmeye karşı direncinin azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Diğer bir değişle, harç bileşimine katılan TTCE lif katkıların uzunluğu arttıkça, hamur içerisinde düzensiz dağılan, rastgele yönelen lif pozisyonu, artan düzensiz geometrili boşluk oluşumları ve matris yapı – lif yüzeylerinde sıyrılma yönünde zayıf kohezyon oluşması sebebiyle eğilmede çekme gerilmelerine karşın zayıf bir donatı vazifesi gördüğü gözlenmiştir.

Harç bileşimine katılan TTCE lif katkıların uzunluğunun harcın eğilmede çekme direncine etkisinin daha anlamlı irdelenebilmesi bağlamında Şekil 11'de verilen grafiksel ilişki irdelendiğinde, düşük lif katkı oranlarında lif uzunluğu artışının daha etkin olduğu görülmektedir (ağırlıkça %0,25 TTCE katkılı).

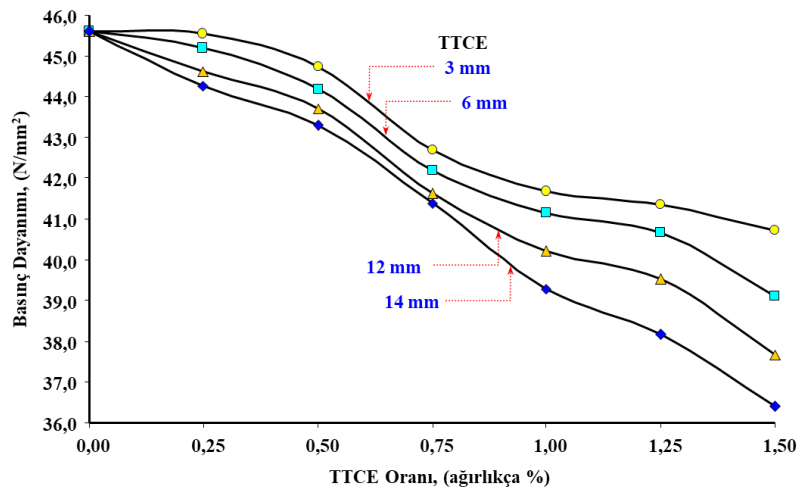
Ayrıca, şekilde kırmızı çizgi kontrol harcının basınç dayanımını temsil etmektedir. Ağırlıkça %0,25 TTCE oranının bütün lif uzunlukları için harcın eğilmede çekme dayanımı arttırdığı açıkça görülebilmektedir. Bununla birlikte, lif katkı oranı artırıldıkça, uzun lif boylarının giderek eğilmede çekme dayanımına olumsuz etkileri gösterdiği belirlenmiştir. Çalışma kapsamında 4 farklı uzunlukta kullanılan TTCE katkıları arasından optimum dayanım sonucunu veren lif uzunluğunun 6 mm olduğu görülmüştür. Ayrıca, harç bileşimine katılan lif katkı oranı – lif uzunluğunun eş zamanlı artışı, eğilmede çekme dayanımlarını önemli ölçüde düşürdüğü görülebilmektedir.



Şekil 11. TTCE katkılı harç örneklerin lif katkı oranı – eğilmede çekme dayanımı ilişkisi

3.3. Basınç Dayanımı Analizi

T0 kodlu kontrol harcı örneğinin 28 gün sonrası basınç dayanımı ortalama 45,6 N/mm² olarak belirlenmiştir. TTCE katkılı tüm karışım tasarımlarına ait harç örneklerin basınç dayanımı değeri, kontrol örneği değerinden daha düşüktür. TTCE katkılı harç örneklerin lif katkı oranı – basınç dayanımı ilişkisi Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. TTCE katkılı harç örneklerin lif katkı oranı – basınç dayanımı ilişkisi

Şekil 12 irdelendiğinde görüldüğü üzere, tüm eşdeğer lif katkı oranı değerlerinde lif uzunluğu arttıkça harcın basınç dayanımı da düşmektedir. Karışıma eklenen 3 mm uzunluğundaki lif katkı oranı ağırlıkça %0,25 iken harcın basınç dayanımı referans dayanım değerine göre %0,1'lik bir düşüş göstermektedir. Karışıma eklenen bu uzunluktaki lifin katkı oranı ağırlıkça %1,50'ye artırıldığında harcın basınç dayanımı %2,9 oranında düşmektedir. Benzer şekilde 6 mm uzunluğundaki lif katkı oranı ağırlıkça %0,25 iken harcın basınç dayanımı referans dayanım değerine göre %0,9'luk bir düşüş göstermektedir. Karışıma eklenen bu uzunluktaki lifin katkı oranı ağırlıkça %1,50'ye artırıldığında harcın basınç dayanımı %14,2 oranında düşmektedir. Karışıma eklenen liflerin uzunluğundaki artış, basınç dayanımı düşüşünü daha da etkinleştirmekte olup, 12 mm ve 14 mm lif uzunlukları için %0,25 oranında lif kullanımında sırasıyla, %2,2 ve %2,9 oranlarında düşüş oluşurken, %1,50 oranında lif kullanımında da sırasıyla, %17,4 ve %20,2 oranlarında dayanım değerleri düşmüştür. Standart kum kullanımı ile yapılan çimento esaslı harç karışımlarında cam elyaf liflerin katkı olarak kullanımları üzerine yapılan literatürdeki çalışma bulgularında, harcın basınç dayanımını genel bir eğilimle düşüren bir etki sergilediği görülebilmektedir. Benzer etkileşimler Toklu ve ark. (2022)'nin yaptığı çalışma bulgularında da 3 mm, 6 mm ve 12 mm cam elyaf liflerin uzunluk artışının harcın 28 günlük basınç dayanımında düşüşlere neden olduğu belirtilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, rüzgâr türbin kanadı üretiminde kullanılan tekstil tipi cam elyafların fiziksel geri dönüşüm ile yeniden boyutlandırılmış ve çimento harçlarında elyaf takviyesi olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre;

1. Lif uzunluğu arttıkça artan lif kullanım miktarına da bağlı olarak bu değer altındaki yayılma değerlerinin oldukça azalabileceği tespit edilmiştir. Özellikle 12 mm ve 14 mm lif boyutlu harç tasarımlarında ağırlıkça %1,25'in üzerinde lif kullanımı, yayılma değerlerinin çok küçük olduğunu göstermektedir.
2. 3 mm lifler için %0,50 lif kullanımına, 6 mm lifler için tüm kullanım oranlarında, 12 mm lifler için %0,75 lif kullanımına ve 14 mm lifler için yaklaşık %0,75 lif kullanımına kadar harçların eğilmede çekme dayanımlarının kontrol karışımına oranla artabildiği gözlemlenmiştir.
3. Lif uzunluğunun ve lif kullanım oranının çimento harcında basınç dayanımını azaltabildiği gözlemlenmiştir. En az basınç dayanım kaybı (%0,1) en kısa (3 mm) ve en az kullanım oranında (%0,25) iken, en yüksek basınç dayanım kaybı (%20,2) en uzun lif (14 mm) ve en fazla kullanım oranındadır (%1,50).

Çalışma çıktıları değerlendirildiğinde, rüzgâr türbin kanadı üretiminde kullanılan tekstil tipi cam liflerinin inşaat sektöründe çimentolu ürünlerde eğilme dayanımlarını artırıcı bir takviye olarak kullanılabileceği kanaatine ulaşılmıştır. Çalışma sonucuna göre, kullanılan boyutlar ve oranlar arasında optimum lif uzunluğu ve kullanım oranı 6 mm ve eğilme ve basınç dayanımları birlikte göz önüne alındığında %0,50 kullanım oranı olarak değerlendirilebilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Lütfullah Gündüz: Araştırma için fikir ve hipotezin oluşturulması, sonuçlara ulaşmak için yöntemlerin planlanması, makalenin organizasyonu ve seyrinin gözetimi, bulguların analizi, makale yazımı.

Şevket Onur Kalkan: Deneylerin yapılması, verilerin düzenlenmesi, yazma-orijinal taslak hazırlama, makale yazımı-incelenmesi ve düzenlenmesi.

Uğur Uzgan: Metodoloji, makale için önem taşıyan malzeme sağlanması, makale incelenmesi ve düzenlenmesi.

Ömer Sert: Makale için önem taşıyan malzeme sağlanması, makale incelenmesi ve düzenlenmesi.

Kaynakça

Akyüncü V. Investigation of mechanical and permeability properties of fiber mortars. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies* 2021; 6(1): 29-35.

Al-Ghaban AM., Jaber HA., Shaher AA. Investigation of addition different fibers on the performance of cement mortar. *Engineering and Technology Journal* 2018; 36(9): 957-965.

Chung DDL. Cement reinforced with short carbon fibers: A multifunctional material. *Composites: Part B* 2000; 31: 511-526.

Erkek O. Lifli betonların davranışının deneysel olarak incelenmesi. Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2020.

Eti Holding. Tekstil tipi cam elyafı ön fizibilite etüdü, Planlama ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı, Nisan 2003, Ankara, p105.

Fathi H., Lameie T., Maleki M., Yazdani R. Simultaneous effects of fiber and glass on the mechanical properties of self-compacting concrete. *Constr. Build. Mater.* 2017; 133: 443-449.

Habib A., Begum R., Alam MM. Mechanical properties of synthetic fibers reinforced mortars. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 2013; 4(4): 923-927.

Mahdi RS. Experimental study effect of using glass fiber on cement mortar. *Journal of Babylon University/Engineering Sciences* 2014; 22(1): 162-181.

Nandurkar BP., Bahoria BV., Kranti J., Hinge P. Effectiveness of glass fiber-reinforced mortar for improving durability in structures. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)* 2023; 42(11): 1-17.

Nataraja M., Dhang N., Gupta A. Toughness characterization of steel fiber-reinforced concrete by JSCE approach. *Cement and Concrete Research* 2000; 30(4): 593-597.

Patil TR., Burile AN. Comparative study of steel and glass fiber reinforced concrete composites. *International Journal of Science and Research* 2016; 5(5): 690- 694.

- Qureshi LA., Ahmed A. An investigation on strength properties of glass fiber reinforced concrete. International Journal of Engineering Research and Technology 2013; 2(4): 2567-2572.
- Rai A., Joshi YP. Applications and properties of fiber reinforced concrete. Journal of Engineering Research and Applications 2014; 4(5): 123-131.
- Sanjeev J., Sai Nitesh KJN. Study on the effect of steel and glass fibers on fresh and hardened properties of vibrated concrete and self-compacting concrete. Materials Today: Proceedings 2020; 27: 1559–1568.
- Singh VK. Effect of polypropylene fiber on properties of concrete. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology 2014; 3(12): 312-317.
- Sree RK., Satyanarayana KW., Anil NC., Naidu PS. Effect of glass fibre on fly - ash based concrete. International Journal of Scientific Development and Research (IJSDR) 2018; 3(12): 57-65.
- Şenses AM., Aydın T., Filazi A. Enhancing cement mortar with glass fiber additives: effects and benefits. 2nd International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences ICENSOS, 4-6 April 2023, sayfa no:301-306, Konya.
- Tassew ST., Lubell AS. Mechanical properties of glass fiber reinforced ceramic concrete. Constr. Build. Mater. 2014; 51: 215-224.
- Toklu K., Avşar YE., Cihan MT., Bıçakçı E. Cam lifi uzunluğu ve oranının çimento harçlarının mekanik özelliklerine etkisi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi UMAGD 2022; 14(1): 95-102.