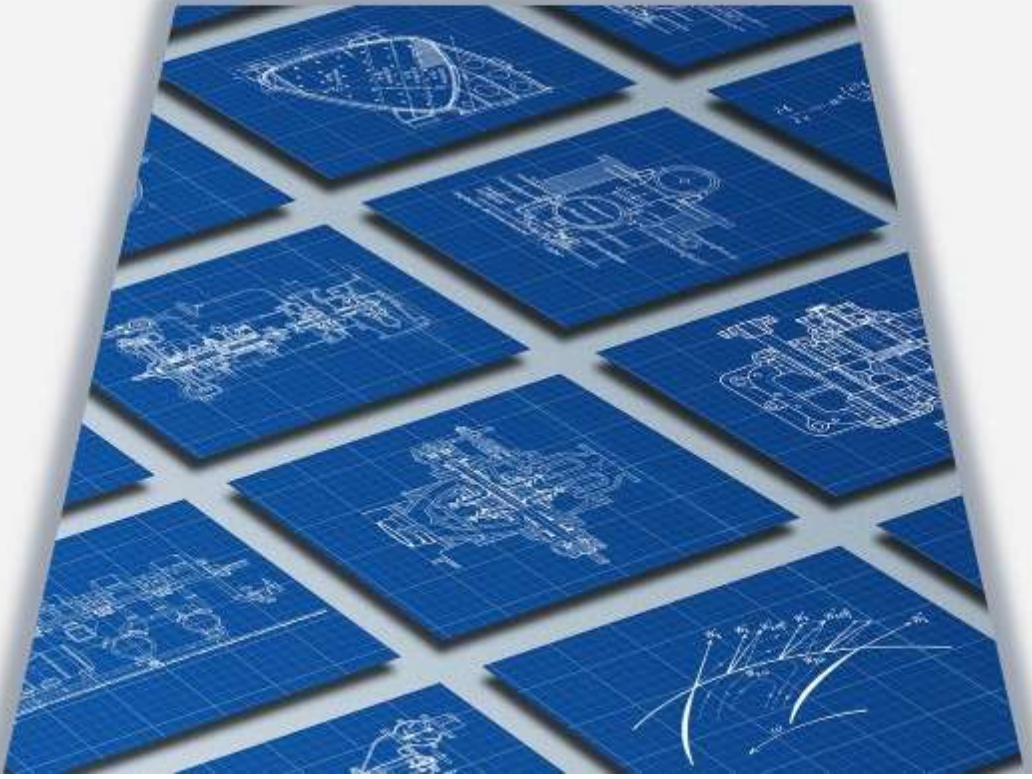




All Sciences Academy

MÜHENDİSLİKTE TREND VE YENİLİKÇİ ARAŞTIRMALAR



*MÜHENDİSLİKTE
TREND VE
YENİLİKÇİ
ARAŞTIRMALAR*

Editör

Dr. Öğr. Üyesi Umut ÖZKAYA





Mühendislikte Trend ve Yenilikçi Araştırmalar
Editör: Dr. Öğr. Üyesi Umut ÖZKAYA

Dizayn: All Sciences Academy Design

Basım Tarihi: Şubat 2026

Yayıncı Sertifika Numarası: 72273

ISBN: 978-625-8676-58-7

© All Sciences Academy

www.allsciencesacademy.com

allsciencesacademy@gmail.com

İÇERİK

1. Bölüm	7
Diyarbakır İli Ulaşım Analizi ve Ulaşım Sorunları Çözüm Önerileri <i>Fatih KARABAĞ, Furkan KINAY, Abdulrezzak BAKIŞ</i>	
2. Bölüm	26
Çevik ve Hibrit Yöntemlerin Yazılım Projelerindeki Verimlilik Üzerine Etkisi <i>Fatma Betül BÜYÜK, Alp Eren KAYA, Günay HİŞMİOĞULLARI, Mesut TEKİR, Buket DOĞAN</i>	
3. Bölüm	48
İş Sağlığı ve Güvenliğinde Risk Etmenleri <i>Elif BARAN, İlyas KARTAL</i>	
4. Bölüm	65
Bir Turizm İşletmesinin Risk Değerlendirmesinde HTEA ve AHP Yöntemlerinin Uygulaması <i>Ufuk AYDOĞMUŞ, Hacer YUMURTACI AYDOĞMUŞ</i>	
5. Bölüm	82
Rijit Poliüretan (PUR) Esaslı Cam Elyaf Takviyeli Köpük Kompozitlerin Mekanik Performansları <i>Ahmet ÇETİNTAŞ, Hüseyin ÜNAL, Cihat ARDA</i>	
6. Bölüm	98
Karbon Nanotüp ve Mikro-Karbon Elyaf Takviyeli Doymamış Polyester Kompozitlerin Mekanik Özellikleri <i>Cihat ARDA, Hüseyin ÜNAL, Nisan YEŞİL</i>	
7. Bölüm	115
Sülfürik Asit Eloksal Prosesinde Banyo Sıcaklığının Alüminyum Alaşımının Yüzey Özelliklerine Etkisi <i>Hacer Pınar VURAL, Kemal ERMİŞ</i>	

8. Bölüm	136
Amorf Malzemelerin Hidrojen Depolama Kapasitelerinin İncelenmesi <i>Musa GÖGEBAKAN</i>	
9. Bölüm	150
Yazılım Mimarilerinde Gözlemlenebilirlik, Loglama ve Hata Yönetimi Yaklaşımları <i>Ömer KASIM</i>	
10. Bölüm	162
Tasarımda Güvenlik Prensipleriyle Yazılım Geliştirme Yaşam Döngüsünde Siber Güvenliğin Entegrasyonu <i>Ömer KASIM</i>	
11. Bölüm	176
Betonarme ve Yığma Yapı Elemanlarının Güçlendirilmesi ve Sismik Olarak İyileştirilmesinde TRM Kullanımı <i>Murat YÜNCÜLER, Özlem ÇALIŞKAN</i>	
12. Bölüm	202
Dijital Kardiyolog: Kalp Hastalığı Risk Analizi İçin Doküman İşleme Özellikli Web Tabanlı Bir Karar Destek Sistemi <i>Hüseyin Selman ATABEK, Serhat KILIÇARSLAN</i>	
13. Bölüm	213
Zharma-Saur Volkanik Zonu'nun Tektonik Jeofizik Araştırması, West Junggar (Doğu Kazakistan) <i>Sercan KAYIN, M. Nuri DOLMAZ</i>	
14. Bölüm	227
3D Yazıcılar <i>Sümeyye ORUÇ, İlyas KARTAL</i>	

15. Bölüm**241**

Kargo Hizmetlerinde Güvenilirlik ve Yanıt Verebilirliđin İmaj Aracılığıyla
Müşteri Memnuniyeti ve Sadakatine Etkisi:Cinsiyetin Düzenleyici Rolü

Erkan ARI, Veysel YILMAZ

16. Bölüm**253**

İnternet Servis Sağlayıcılarında Cinsiyetin Düzenleyici Rolünün PLS-SEM
Analizi

Erkan ARI, Veysel YILMAZ

Betonarme ve Yığma Yapı Elemanlarının Güçlendirilmesi ve Sismik Olarak İyileştirilmesinde TRM Kullanımı

Murat YÜNCÜLER¹

Özlem ÇALIŞKAN²

- 1- Yüksek İnşaat Mühendisi; Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD. murat.yunculer@bilecik.edu.tr ORCID No: 0000-0002-7384-8825
- 2- Doç.Dr.; Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ozlem.caliskan@bilecik.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5272-9552

ÖZET

Tekstil Donatılı Harç (TRM), mevcut yapı elemanlarının güçlendirilmesi için geliştirilen modern ve uyumlu bir güçlendirme yöntemidir. Bu sistem; yapı elemanlarının, içerisine uzun liflerden oluşan ağ veya tekstil yerleştirilmiş harç tabakaları ile kaplanması esasına dayanır. Bu çalışma ile betonarme ve yığma yapı elemanlarının TRM sistemleri ile güçlendirilmesine yönelik literatürde yer alan deneysel ve analitik araştırmalar kapsamlı biçimde incelenmiştir. Güncel deprem yönetmeliklerini karşılamayan mevcut yapı stokunun performansının artırılması amacıyla geliştirilen TRM sistemlerinin; taşıma kapasitesi, süneklik, deformasyon kapasitesi ve enerji yutma performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Derleme çalışması, mevcut bilgileri bir araya getirerek özellikle konuya yeni başlayan araştırmacılar için TRM ile betonarme ve yığma yapı elemanların güçlendirilmesi hakkında kapsamlı bir anlayış sunmayı hedeflemektedir. Elde edilen bulgular, TRM'nin; mineral esaslı yapısı, tarihi yapılarla uyumu, yangın dayanımı ve çevresel avantajları ile betonarme ve yığma yapıların sismik performansının artırılmasında güvenilir ve sürdürülebilir bir güçlendirme yöntemi olarak öne çıktığını, TRM sistemlerinin Lif Takviyeli Polimer (FRP) sistemlerine göre etkili bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler – TRM, betonarme yapı elemanları, yığma duvarlar, güçlendirme, sismik iyileştirme

GİRİŞ

Yapılar; hizmet ömürleri boyunca servis yükleri, deprem ve rüzgâr etkileri gibi çeşitli dış yüklemelere maruz kalmaktadır. Bu etkiler zaman içerisinde taşıyıcı sistem elemanlarının mekanik özelliklerinde bozulmalara ve dayanım kayıplarına yol açabilmektedir. Bunun yanı sıra yapının kullanım amacının değiştirilmesi, mevcut yüklerin artması ya da yapı performansının iyileştirilmesinin hedeflenmesi gibi nedenler de yapısal müdahaleleri gerekli kılmaktadır. Bu tür durumlarda, yapının güvenlik düzeyini artırmak ve taşıma kapasitesini iyileştirmek amacıyla gerçekleştirilen mühendislik uygulamaları yapısal güçlendirme olarak adlandırılmaktadır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY,2018:320) güçlendirme; “binanın kolon, kiriş, perde ve birleşim bölgeleri gibi deprem etkilerini karşılayan taşıyıcı elemanlarında dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinin artırılmasına yönelik olarak uygulanan işlemler” şeklinde ifade edilmektedir.

Güçlendirme uygulamaları, hasar görmüş yapıların onarımına yönelik olarak gerçekleştirilebildiği gibi, herhangi bir hasar oluşmamış ancak mevcut

deprem yönetmeliklerine göre yetersiz performans gösterdiği belirlenen yapılar için de uygulanabilmektedir. Bu uygulamaların temel amacı, yapının öngörülen deprem tehlikesi altında can güvenliğini sağlayacak bir performans seviyesine ulaştırılmasıdır.

Günümüzde yapısal güçlendirme çalışmalarında; betonarme mantolama, çelik elemanlarla güçlendirme, FRP sistemler gibi güçlendirme teknikleri yaygın olarak kullanılmakta olup, TRM gibi yenilikçi kompozit malzemelerin de güçlendirme için kullanımı son yıllarda artmıştır.

TRM ile betonarme ve yığma elemanların güçlendirilmesi, son yıllarda özellikle deprem performansını artırmak ve mevcut yapıların taşıma kapasitesini iyileştirmek amacıyla tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. TRM; lifli tekstil donatı (cam, karbon, bazalt vb.) ile inorganik esaslı harcın birleşiminden oluşan kompozit bir güçlendirme sistemidir. Tekstil donatı; çekme dayanımı sağlarken, matris fazını oluşturan çimento veya kireç esaslı inorganik harç, tekstili çevresel etkilere karşı korur ve kompozit ile uygulandığı yüzey arasında gerilme transferini sağlayarak yük taşıma kapasitesine katkıda bulunur.

TRM sistemlerinin tercih edilmesinde, epoksi esaslı matris kullanılan FRP sistemlerine kıyasla sağladığı çeşitli avantajlar etkili olmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklıklara ve yangına karşı dayanım göstermesi, buhar geçirgenliği sayesinde nem transferine izin vermesi, beton ve yığma yüzeylerle daha iyi uyum sağlaması, uygulama kolaylığı ve düşük sıcaklıklarda dahi uygulanabilmesi bu yöntemin öne çıkan özellikleri arasındadır. Ayrıca mineral esaslı yapısı sayesinde tarihi ve kültürel miras niteliği taşıyan yığma yapılarda kullanım açısından da uygun bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (ACI, 2013:5).

Ayrıca mineral esaslı yapısı sayesinde tarihi ve kültürel miras niteliği taşıyan yığma yapılarda kullanım açısından da uygun bir seçenek olarak değerlendirilmektedir. Çalışkan ve Şenol (2025), TRM ile güçlendirilen normal dayanımlı beton kirişlerin eğilme performansını incelemiş ve uygulama deseni ile onarım harcı tipinin (çimento esaslı tamir harcı ve yüksek fırın cürufu bazlı geopolimer harç) etkisini deneysel olarak değerlendirmiştir. Bulgularına göre tam yüzey TRM uygulamaları taşıma kapasitesini %24'e varan oranda artırırken, geopolimer esaslı TRM sistemleri hem sınırlı hem de tam kaplama koşullarında çimento esaslı muadillerine kıyasla üstün performans sergilemiştir.

Deneysel ve analitik çalışmalar, TRM ile güçlendirilen betonarme ve yığma yapı elemanlarının eksenel yük taşıma kapasitesinde, kesme dayanımında ve süneklik düzeyinde önemli artışlar meydana geldiğini göstermektedir. Bununla birlikte TRM uygulamalarının, elemanların enerji yutma kapasitelerini artırarak deprem etkileri altında daha kararlı bir davranış sergilemesine katkı sağladığı da literatürde vurgulanmaktadır. Kolon, kiriş, perde duvar ve dolgu duvar gibi farklı taşıyıcı elemanlar üzerinde gerçekleştirilen araştırmalar, TRM'nin hem taşıma gücü hem de

deformasyon kapasitesi açısından yapısal performansı iyileştiren güvenilir bir güçlendirme yöntemi olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu doğrultuda TRM sistemleri, uygulama kolaylığı, maliyet etkinliği ve dayanıklılık açısından sunduğu avantajlar sayesinde son yıllarda giderek yaygınlaşmakta ve deprem riski yüksek bölgelerde mevcut yapıların güçlendirilmesinde önemli bir alternatif olarak kabul edilmektedir.

BETONARME YAPI ELEMANLARININ TRM İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

TRM sistemi, FRP uygulamasına benzer bir yöntemle gerçekleştirilmektedir. Uygulamaya başlamadan önce beton yüzeyi taşlama veya fırçalama işlemi ile temizlenir; ardından toz ve gevşek parçacıklar basınçlı hava gibi uygun yöntemlerle uzaklaştırılır. Son aşamada ise tekstil katmanlarının beton yüzeye etkin şekilde bağlanmasını sağlamak amacıyla standart ıslak serme (wet lay-up) yöntemi uygulanır. Bu yöntem kapsamında, nemlendirilmiş beton yüzeyine harç uygulanır ve ardından tekstil, elle yerleştirilerek (Şekil 1) rulo ile basınç uygulanmak suretiyle harç içerisine gömülür. Harç, tekstil katmanları arasına ve son tekstil tabakasının üzerine de uygulanır. Harç uygulaması, pürüzsüz metal bir mala kullanılarak birkaç milimetre kalınlığında tabakalar halinde gerçekleştirilir. Tekstil, lif demetleri arasındaki boşluklardan harcın dışarı çıkmasına olanak verecek şekilde harç içerisine hafifçe bastırılır. Tekstil tabakasını dış etkilerden korumak amacıyla son kat harç tabakası uygulanır ve tekstilin üzeri harç ile tamamen kapatılır.

TRM'nin betonarme yapı elemanlarının güçlendirilmesi ve deprem performansının iyileştirilmesi kullanımına ilişkin temel mekanik prensipleri, tasarım yaklaşımlarını ve deneysel bulguları ortaya koyan çalışmalar literatür kapsamında sistematik olarak incelenmiştir. Bu bölümde aşağıdaki teknik başlıklar ele alınmaktadır:

- Betonarme döşemelerin TRM ile güçlendirilmesi
- TRM ile kolonların sargılanması
- Betonarme kirişlerin TRM ile güçlendirilmesi



Şekil 1: TRM Uygulaması a) Betonarme Kolon b) Betonarme Kiriş

Kaynak: Triantafillou, 2016:304

Betonarme Döşemelerin TRM ile Güçlendirilmesi

Yapılan çalışmalar ile TRM'nin tek doğrultuda ve çift doğrultuda çalışan betonarme döşemelerin eğilme kapasitesini artırmada etkili ve umut verici bir güçlendirme yöntemi olduğu belirlenmiştir.

Papanicolaou vd. (2009), TRM'nin çift doğrultulu betonarme döşemelerin dayanım ve deformasyon kapasitesine etkisini incelemiştir. TRM ile güçlendirilmiş üç döşeme ve bir kontrol numunesi göçmeye kadar test edilmiş; numunelerde tek ve iki kat karbon lifli tekstil ile karbon ve cam lifli çok katmanlı kombinasyonlar kullanılmıştır. Tekstiller, polimer modifiyeli çimento esaslı harç ile döşemelerin çekme yüzeyine uygulanmıştır. Sonuçlar, TRM güçlendirmesinin yük taşıma kapasitesi, rijitlik ve enerji yutma kapasitesini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Her iki doğrultuda eşit aksel rijitliğe sahip kaplamalar benzer nihai dayanım artışı sağlamış; çok katmanlı sistemlerde katmanlar arası görelî kayma ise deformasyon kapasitesini artırmıştır.

Loreto vd. (2014), TRM katman sayısının (1 ve 4 katman) ve beton türünün (düşük dayanımlı ve yüksek dayanımlı beton) etkisini araştırmışlardır. İncelenen tekstil türü poli-pfenilenbenzobisoksazol (PBO) olup, harç olarak kuru polimer içeren çimento esaslı harç kullanılmıştır. Tek kat ve dört kat TRM kullanılması durumunda dayanım artışı; düşük dayanımlı betona sahip döşeme elemanları için sırasıyla %141 ve %205, yüksek dayanımlı betona sahip döşeme elemanları için ise %135 ve %212 olarak belirlenmiştir. Göçme modu olarak; tek kat tekstil kullanılan numunelerde matris içinde tekstilin kayması, dört kat tekstil kullanılan numunelerde ise tekstilin yüzeyden ayrılması gözlemlenmiştir.

Koutas ve Bournas (2017), TRM uygulamasının çift doğrultulu betonarme döşemelerin eğilme kapasitesini artırmadaki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. İncelenen parametreler arasında TRM katman sayısı, güçlendirme konfigürasyonu (plağın çekme yüzeyinin TRM ile tamamen veya kısmen kaplanması), tekstil lif malzemesi türü (karbon ve cam) ve döşemedeki başlangıç çatlaklarının rolü yer almaktadır. TRM katman sayısının artmasının yük taşıma kapasitesini artırdığı ve farklı lif türlerinin (cam veya karbon) kullanılmasının tekstil katmanlarının aksel rijitliği ile orantılı olacak şekilde yük taşıma kapasitesinde artış sağladığı görülmüştür. Ayrıca, çatlakların varlığının (önceden çatlamış plak) TRM'nin yük taşıma kapasitesini artırmadaki etkinliğini çatlama döşemelere kıyasla bir miktar azalttığı gözlenmiştir. Çekme yüzeyi tamamen kaplanan döşemelerin eğilme kapasitesinin, kısmen kaplanan döşemelere göre daha yüksek olduğu rapor edilmiştir.

Dheyab ve Raouf (2021), TRM'nin tek doğrultulu betonarme döşemelerin eğilme etkisi altındaki güçlendirilmesinde kullanımını deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Araştırmada incelenen parametreler, TRM katman sayısı (1, 3 ve 5 katman) ile güçlendirme konfigürasyonu (tam

kaplama ve kısmi kaplama) olarak belirlenmiştir. TRM uygulamasının betonarme döşemelerin eğilme kapasitesini önemli ölçüde artırdığını, katman sayısının artmasıyla eğilme kapasitesinin daha fazla arttığı sonuçlarına varmışlardır. Aynı katman sayısında TRM uygulandığında tam kaplama yönteminin kısmi kaplamaya kıyasla daha yüksek yük taşıma kapasitesi sağladığını tespit etmişlerdir.

Shamseldein vd. (2021), tekstil ağ göz aralığı boyutu (5 mm-34 mm), katman sayısı, harç türü ve mekanik ankraj gibi deney değişkenlerini incelemişlerdir. Katman sayısındaki artışın ilk çatlak yükü, akma yükü ve nihai yük değerlerini artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. 5 mm göz aralığı boyutlu TRM kullanılması, 34 mm göz aralıklı numunelere kıyasla nihai yük kapasitesini %27 oranında artırmıştır. Ayrıca, TRM ile taşıyıcı beton yüzeyi arasına uygulanan mekanik ankrajın kapasiteyi önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Harç türü karşılaştırıldığında önemli bir fark görülmemiştir.

Tablo 1’de, döşeme güçlendirmesine yönelik yukarıda bahsedilen çalışmaların temel bulguları özetlenmektedir.

Tablo 1: Betonarme Döşemelerin TRM ile Güçlendirilmesi

Kaynak	Test Tipi ve Değişkenler	Tekstil ve Harç Türü	Temel Bulgular
Papanicolaou vd. (2009)	Üç noktali eğilme deneyi- tekstil katman sayısı ve tekstil türü	Karbon ve cam tekstil-Polimer modifiyeli çimento esaslı harç	Tekstil katman sayısının artmasının yük taşıma kapasitesi ve deformasyon kapasitesini artırdığı gözlenmiştir.
Loreto vd. (2014)	Üç noktali eğilme deneyi-tekstil katman sayısı ve beton dayanımı (düşük ve yüksek dayanımlı beton)	PBO-Kuru polimer içeren çimento esaslı harç	Katman sayısının ve beton dayanımının artması yük taşıma kapasitesini artırmıştır.
Koutas ve Bournas (2017)	Dört noktali eğilme deneyi- tekstil katman sayısı, tekstil türü, tekstil yerleşim konfigürasyonu, çatlak rolü	Karbon ve cam tekstil-Polimer modifiyeli çimento esaslı harç	Katman sayısının artırılması, yüzeyin tam kaplanması, çatlak bulunmaması ve yüksek eksenel rijitliğe sahip liflerin kullanılması, yük taşıma kapasitesini artırmıştır.
Dheyab ve Raof (2021)	Üç noktali eğilme deneyi-tekstil katman sayısı ve tekstil yerleşim konfigürasyonu	Cam tekstil-Polimer modifiyeli çimento esaslı harç	Tekstil katman sayısının artması ve kısmi kaplama yerine tam kaplama yapılması yük taşıma kapasitesini daha fazla artırmıştır.
Shamseldein vd. (2021)	Dört noktali eğilme deneyi-tekstil göz aralığı, ankraj varlığı, tekstil katman sayısı ve harç türü	Bazalt tekstil-Çimento esaslı harç ve polimer modifiyeli lif takviyeli çimento esaslı harç	Küçük göz aralıklı tekstil kaplamanın ve mekanik ankraj varlığı yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırmıştır.

TRM ile Kolonların Sargılanması

Yüklemenin ağırlıklı olarak statik olduğu uygulamalarda, betonarme kolonlarda çok eksenli bir gerilme durumu oluşturmak ve bu sayede sınırlanmış betonun dayanım ve deformasyon kapasitesindeki artıştan yararlanmak amacıyla TRM sargılama uygulanabilir. Bu şekilde, sınırlama etkisi yoluyla kolonun eksenel yük taşıma kapasitesi artırılmaktadır.

Kolonu çevreleyen lifler, beton içerisindeki basınç gerilmeleri nedeniyle oluşan yanal genişmeye karşı direnç gösterir. Bunun sonucunda beton çekirdeği üzerinde bir sınırlayıcı gerilme oluşur. Bu etki, betonun kırılmasını geciktirerek hem basınç dayanımını hem de nihai basınç birim kısılmasını artırır. Bu mekanizma, dairesel kesitli kolonlarda, kare veya dikdörtgen kesitli kolonlara kıyasla belirgin şekilde daha etkilidir. Bunun nedeni, köşeli kesitlerde sınırlama etkisinin büyük ölçüde köşelerde yoğunlaşması ve TRM’de oluşan yerel birim şekil değiştirme davranışının köşe noktalarında erken ve lokal kopma riskini artırmasıdır (Triantafillou, 2016:314). Ayrıca, FRP sistemlerine benzer şekilde, TRM de çok yüksek gerilme seviyelerine kadar elastik davranış sergiler. Bu nedenle, lifler çevresel doğrultuda kopuncaya kadar beton üzerinde artan bir sınırlama etkisi oluşturur.

Triantafillou vd. (2006), TRM ve FRP ile sarılmış beton silindir ve kısa kolonların tek eksenli basınç altındaki davranışını incelemişlerdir. TRM uygulaması, basınç dayanımı ve deformasyon kapasitesini önemli ölçüde artırmış; artışın katman sayısına bağlı olduğu belirlenmiştir. Silindir numunelerde iki kat TRM dayanımı %25, üç kat ise %49 oranında artırmıştır. FRP ile karşılaştırıldığında TRM, dayanım artışında yaklaşık %20, deformasyon kapasitesinde ise yaklaşık %50 daha düşük etkinlik göstermiştir. Ancak TRM ceketler FRP’ye kıyasla ani ve gevrek göçme sergilememiş; lif kırılması sınırlı bölgelerde başlayıp kademeli olarak yayılmış ve daha sünek bir göçme davranışı ortaya koymuştur.

Bournas vd. (2007), TRM ile FRP’nin betonarme kısa kolonların sargı donatısı olarak etkinliğini karşılaştırmalı biçimde incelemişlerdir. Deneysel program kapsamında, 200x200 mm kesit boyutlarına ve 380 mm yüksekliğe sahip toplam 15 adet betonarme kısa kolon, eşmerkezli basınç yüklemesi altında test edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, test edilen kolonların dayanım ve şekil değiştirme kapasitesinin artırılmasında TRM sisteminin, FRP’ye kıyasla yaklaşık %10 daha düşük etkinlik gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Dinh vd. (2020), betonarme kolonlar için TRM kullanılarak uygulanabilir bir güçlendirme çözümü geliştirmişlerdir. Toplam sekiz adet betonarme kolon numunesi üretilmiş ve sabit eksenel yük altında çevrimsel (tekrarlı) yükleme koşullarında deneylere tabi tutulmuştur. Çalışmanın temel deney parametreleri; tekstil katman sayısı (4 ve 8 katman) ile bindirme bölgelerinde uygulanan yüzey hazırlama/iyileştirme yöntemleri olarak

belirlenmiştir. Yüzey iyileştirme yöntemi olarak bindirme bölgelerindeki karbon lifli tekstil katmanları epoksi reçine ile tamamen empenye edilmiştir. Buna karşılık, bazı numunelerin bindirme bölgelerindeki karbon lifli tekstil katmanları, epoksi ile empenye edildikten sonra alüminyum oksit tozu ile kaplanmıştır. Deneysel sonuçlar, bindirme bölgelerinde önerilen detaylarla birlikte uygulanan TRM sargılı güçlendirme çözümlerinin, kolonların hem dayanımını hem de deformasyon kapasitesini artırmada oldukça etkili olduğunu göstermiştir. Katman sayısının artması ile basınç dayanımının arttığı sonucuna varılmıştır.

John vd. (2024), TRM'nin 150x300 mm beton silindir kolonlara sargılanması sonucu tek eksenli basınç altındaki, dayanım ve deformasyon kapasitesindeki artışı incelemişlerdir. Deney parametreleri olarak, tekstil türü (cam, bazalt), tekstil katman sayısı (2, 3 ve 4 katman) incelenmiştir. Deneysel sonuçlara göre, sargılamanın eksenel basınç dayanımını tekstil katman sayısı ile orantılı olarak artırdığı belirlenmiştir. Dört kat cam ve bazalt tekstil kullanımı için sırasıyla yaklaşık %44 ve %48 oranında basınç dayanımı artışı kaydedilmiştir.

Tablo 2'de, kolon güçlendirmesine yönelik yukarıda bahsedilen çalışmaların temel bulguları özetlenmektedir.

Tablo 2: TRM ile Kolonların Sargılanması

Kaynak	Test Tipi ve Değişkenler	Tekstil ve Harç Türü	Temel Bulgular
Triantafillou vd. (2006)	Tek eksenli basınç deneyi- tekstil katman sayısı ve TRM-FRP	Karbon tekstil- çimento esaslı harç	Tekstil katman sayısının artmasının eksenel basınç dayanımını artırdığı ve TRM'nin FRP'ye kıyasla dayanım ve deformasyon kapasitesi artışı bakımından daha düşük etkinliğe sahip olduğu gözlenmiştir.
Bournas vd. (2007)	Tek eksenli basınç deneyi- TRM-FRP	Karbon tekstil- çimento esaslı harç	TRM sisteminin, FRP'ye kıyasla yaklaşık %10 daha düşük etkinlik gösterdiği sonucuna varılmıştır
Dinh vd. (2020)	Tek eksenli basınç deneyi- tekstil katman sayısı ve yüzey hazırlama yöntemi	Karbon tekstil- çimento esaslı harç	TRM katman sayısının artması ve yüzey hazırlık yöntemleri kolonların hem dayanımını hem de deformasyon kapasitesini artırmada oldukça etkili olduğunu göstermiştir.
John vd. (2024)	Tek eksenli basınç deneyi-tekstil türü, tekstil katman sayısı	Cam ve bazalt tekstil-Çimento esaslı harç	Eksenel basınç dayanımının, tekstil katman sayısı arttıkça yükseldiği belirlenmiştir. Dört kat cam ve bazalt tekstil kullanımıyla basınç dayanımı sırasıyla yaklaşık %44 ve %48 artmıştır.

Betonarme Kirişlerin TRM ile Güçlendirilmesi

Gerçek yapılarda betonarme kirişlerin kullanılabilirlik performansı değerlendirilirken, eğilme ve kesme kapasitesi önemli parametreler olarak dikkate alınmaktadır. TRM sistemleri; özellikle eğilme ve kesme etkileri altında çatlak köprüleme mekanizması sayesinde dayanım ve süneklik artışı sağlamaktadır. Eğilme güçlendirmesinde TRM genellikle kirişin çekme bölgesine alt yüzey boyunca uygulanırken, kesme güçlendirmesinde U-sargı veya tam sargı şeklinde detaylandırılabilir. Deneysel çalışmalar, TRM ile güçlendirilen kirişlerde nihai yük kapasitesinin arttığını, çatlak genişliklerinin kontrol altına alındığını ve daha sünek bir göçme davranışı elde edildiğini göstermektedir. Betonarme kirişlerin TRM ile güçlendirilmesine ilişkin literatürde yer alan çalışmalar, aşağıdaki ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Triantafillou ve Papanicolaou (2005), betonarme kirişlerin eğilme dayanımının artırılmasında TRM- FRP sistemlerinin etkinliğini ve katman sayısının etkisini karşılaştırmışlardır. 150x200 mm kesitinde ve 2.60 m açıklığında kirişler karbon lifli tekstil ve FRP ile güçlendirilerek karşılaştırılmıştır. Tek kat tekstil ile güçlendirilmiş kirişlerde, TRM'nin eşdeğer FRP güçlendirmeye kıyasla yaklaşık %45 daha az etkili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, iki kat TRM ve FRP ceket uygulamalarının her ikisi de güçlendirilmiş kirişlerin kesme kapasitesinde kontrol numunesine kıyasla önemli bir artış sağlamıştır. FRP sisteminin eğilme güçlendirmesinde TRM sistemine kıyasla yaklaşık %30 oranında daha etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca, FRP ile güçlendirilen numunelerde göçme modu lif kopması şeklinde gerçekleşmiştir. Lif kopması, FRP sisteminden maksimum düzeyde fayda sağlandığını göstermesi nedeniyle mühendislik açısından en arzu edilen göçme mekanizmasıdır. Buna karşılık, TRM sisteminde göçme adersans kaybı şeklinde meydana gelmiştir. Bu durum, sistemin tam kapasitesine ulaşamadığını ve tekstil donatının potansiyel taşıma kapasitesinin tam olarak mobilize edilemediğini göstermektedir.

Elsanadedy vd. (2013), TRM'nin betonarme kirişlerin eğilme dayanımını artırmadaki etkinliğini incelemiştir. Güçlendirme türü olarak bazalt esaslı tekstil kullanılmıştır. İncelenen parametreler; harç türü, TRM katman sayısı (1,5 ve 10 katman) ve güçlendirme malzemesi türü (TRM-CFRP kompozitlerin karşılaştırılması) olarak belirlenmiştir. Toplam altı adet kiriş, göçmeye kadar dört noktalı eğilme deneyi altında test edilmiştir. İki kiriş referans numunesi olarak kullanılmıştır. Üç kiriş, eğilme kapasitesini artırmak amacıyla dıştan TRM tabakaları ile güçlendirilmiş; bir kiriş ise TRM ile güçlendirilmiş eşleniğiyle karşılaştırma yapmak amacıyla CFRP şerit ile güçlendirilmiştir. Polimer modifiyeli çimento esaslı harcın, geleneksel çimento esaslı harca kıyasla eğilme kapasitesinin artırılması açısından daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. On kat bazalt tekstil kullanılması durumunda eğilme kapasitesinde %90'a varan artış elde edilmiştir. Sonuç olarak, TRM sisteminin eğilme kapasitesini artırmada

CFRP sistemine göre daha az etkili olduğu; ancak deformasyon kapasitesini artırmada daha etkili olduğu ortaya konulmuştur.

Babaeidarabad vd. (2014a), katman sayısının (1–4 kat) ve beton basınç dayanımının etkisini incelemek amacıyla deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Eğilme dayanımındaki artışın, katman sayısı ve beton basınç dayanımı ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Düşük beton dayanımına sahip güçlendirilmiş kirişlerde eğilme kapasitesindeki artış, minimum %32 ile maksimum %92 arasında değişmiştir. Buna karşılık, daha yüksek beton dayanımına sahip aynı tip numunelerde elde edilen artış oranı minimum %13 ile maksimum %73 arasında gerçekleşmiştir. Deneysel sonuçları, tekstil donatısının matris içerisinde sıyrılması ve TRM tabakasının beton yüzeyden ayrılması olmak üzere iki göçme modunu ortaya koymuştur.

Tetta ve Bournas (2016), ortam sıcaklığı ve yüksek sıcaklığa maruz bırakılan betonarme elemanların kesme dayanımının artırılmasında TRM ve FRP güçlendirme yönteminin performansına ilişkin araştırma yapmışlardır. Çalışmada incelenen parametreler; iki farklı güçlendirme sistemi (TRM ve FRP), numunelerin maruz bırakıldığı yüksek sıcaklık seviyeleri (20°C, 100°C, 150°C, 250°C), güçlendirme konfigürasyonu (yan yüzeyden yapıştırma, U-sargılama ve tam sargılama), tekstil katma sayısı (2 ve 3), tekstil türü (karbon ve cam tekstil) ve ankraj varlığıdır. Sonuç olarak yüksek sıcaklığa maruz bırakılan betonarme kirişlerin kesme kapasitesinin artırılmasında TRM, FRP sistemine kıyasla çok daha etkilidir. Güçlendirme konfigürasyonu hem TRM hem de FRP sistemlerde yüksek sıcaklık altında kesme kapasitesi artışını önemli ölçüde etkilemektedir. Buna göre, en etkili güçlendirme konfigürasyonu tam sargılama olup, bunu U-sargılama izlemektedir; yan yüzeyden yapıştırma ise her iki sistem için de en düşük etkinliğe sahiptir. Katman sayısının 2'den 3'e çıkarılması, TRM sisteminde yerel hasarı önlemiş ve hasarın beton yüzeyine kaymasına neden olmuştur. Buna karşılık, katman sayısındaki artışın FRP güçlendirme sisteminde kesme kapasitesi artışı veya göçme modu üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. FRP sisteminin etkinliği, sıcaklığın 100°C'den 150°C'ye çıkarılmasıyla dramatik biçimde azalmıştır. Buna karşılık, TRM'nin etkinliği 100°C'den 150°C ve 250°C'ye kadar olan sıcaklık artışlarından yalnızca sınırlı düzeyde etkilenmiştir. Karbon tekstilin, cam tekstile göre beton elemanların kesme güçlendirilmesinde daha etkili olduğu gözlenmiştir. Ankraj kullanımı ise, yüksek sıcaklığın neden olduğu aderans kaybı sonucu ankrajların sıyrılmasına rağmen, TRM'nin etkinliğini %80 oranında artırmıştır.

Tzoura ve Triantafillou (2016), çalışmalarında betonarme T-kirişlerin kesme dayanımının artırılmasında U-şekilli TRM uygulamasının etkinliğine ilişkin sistematik bir araştırma sunmaktadırlar. Çalışmada incelenen parametreler; çevrimsel yüklemeye, tekstil türü (hafif ve ağır), farklı katman sayıları (1 ve 2), ankraj kullanımı, TRM sistemlerinin eşdeğer FRP sistemlerine kıyasla görece performanslarıdır. Sürekli kirişlerin kolon

bölgelerine yakın kesitlerindeki gerçekçi sınır koşullarını simüle etmek amacıyla 13 adet T-kesitli kirişi ankastre konsol olarak test etmişlerdir. Karbon tekstil kullanılan çalışmada karbon liflerinin nominal kalınlığı ve birim alan başına düşen kütleyle göre tekstil hafif ve ağır olarak sınıflandırılmıştır. Ankraj sistemi, döşemeye çelik ankrajlar ile sabitlenen 3 mm kalınlığında kavisli çelik profillerden oluşmaktadır. Tüm kirişler, yanal çevrimsel yüklemeye tabi tutulmuştur. Yükleme, sabit genlik artışları ile kademeli olarak artırılan ardışık çevrimlerden oluşmuştur. Ankraj kullanılmayan TRM sisteminde TRM'nin etkinliği katman sayısının artırılmasıyla artmıştır. Ankrajlanmamış FRP sistemi TRM'ye kıyasla yaklaşık iki kat daha etkilidir. Ancak ankrajlama yapıldığında TRM sistemi FRP sistemine göre sınırlı düzeyde daha düşük performans göstermektedir. Yükleme çevrimlerinin yer değiştirme genliğinin artırılması, TRM güçlendirme sisteminin performansı üzerinde pratik olarak herhangi bir etki oluşturmamaktadır. Genel olarak bu çalışmada geliştirilen ve test edilen ankraj sistemi, TRM ve FRP güçlendirme sisteminin etkinliğini önemli ölçüde artırmaktadır.

Dinh vd. (2021), çalışmalarında U-sargı şeklinde uygulanan TRM ile ankraj bulunan ve bulunmayan betonarme (BA) kirişlerin sismik performansını araştırmışlardır. Toplam on adet betonarme kiriş üretilmiş ve çevrimsel yüklemeye altında deneylere tabi tutulmuştur. Başlıca deney parametreleri; boyuna donatı oranı, TRM katman sayısı ve ankraj detaylarıdır. Deneysel sonuçlar, ankraj kullanımının çevrimsel yüklemeye altında TRM'nin beton alt yüzeyinden aderans kaybını önlemede etkili olduğunu göstermiştir. Buna bağlı olarak, ankraj kullanılan numuneler; yük taşıma kapasitesi, deformasyon kapasitesi, rijitlik azalımı ve enerji yutma kapasitesi açısından ankrajsız numunelere kıyasla daha üstün performans sergilemiştir.

Hong vd. (2023), karbon lifli tekstil ile donatılmış TRM kirişlerin eğilme davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Çekme ve dört noktalı eğilme deneyleri, karbon lifli tekstilin yüksek aderans performansı sağladığını ve eğilme çatlaklarına rağmen kirişin yeterli süneklik gösterdiğini ortaya koymuştur. Yük arttıkça alt-orta bölgede baskın eğilme çatlakları kademeli olarak gelişmiş; nihai aşamada çatlak bölgesindeki tekstilin kopmasıyla gevrek kırılma meydana gelmiştir. Çatlak oluşumu sonrası yük geçici olarak azalsa da tekstilin gerilme bölgesindeki aderansı sayesinde yük kapasitesi kırılmaya kadar artmaya devam etmiştir. TRM kirişin ortalama nihai dayanımı, ilk çatlak dayanımına göre yaklaşık %36 daha yüksek bulunmuş; bu sonuç tekstilin çatlak sonrası çekme performansını etkin şekilde artırdığını göstermiştir.

Tablo 3'te, TRM kullanılarak betonarme kirişlerin güçlendirilmesi alanında yayımlanmış çalışmaların bir özeti sunulmaktadır.

Tablo 3: Betonarme Kirişlerin TRM ile Güçlendirilmesi

Kaynak	Test Tipi ve Değişkenler	Tekstil ve Harç Türü	Temel Bulgular
Triantafillou ve Papanicolaou (2005)	Üç noktalı eğilme deneyi- tekstil katman sayısı ve TRM vs. FRP	Karbon tekstil-çimento esaslı harç	FRP sistemi eğilme güçlendirmesinde TRM sistemine kıyasla daha etkilidir.
Elsanadedy vd. (2013)	Dört noktalı eğilme deneyi-harç türü, katman sayısı, TRM vs. CFRP	Bazalt tekstil-çimento esaslı harç ve Polimer modifiyeli çimento esaslı harç	TRM sisteminin eğilme kapasitesini artırmada CFRP sistemine göre daha az etkili olduğu; ancak deformasyon kapasitesini artırmada daha etkili olduğu ortaya konulmuştur.
Babaeidarabad vd. (2014a)	Üç noktalı eğilme deneyi-, katman sayısı, beton basınç dayanımı	PBO tekstil-çimento esaslı harç	Eğilme kapasitesindeki artış tekstil katman sayısı ve basınç dayanımına bağlı olarak değişmektedir.
Tetta ve Bourmas (2016)	Üç noktalı eğilme deneyi-sıcaklık seviyesi, TRM vs. FRP, güçlendirme konfigürasyonu, katman sayısı, tekstil türü	Karbon ve cam tekstil-Çimento esaslı harç	Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan betonarme kirişlerin kesme kapasitesinin artırılmasında TRM, FRP sistemine kıyasla çok daha etkilidir.
Tzoura ve Triantafillou (2016)	Çevrimsel yatay yükleme-tekstil türü, katman sayısı, ankraj kullanımı, TRM vs. FRP	Karbon tekstil-Çimento esaslı harç	Ankraj sistemi, TRM ve FRP güçlendirme sisteminin etkinliğini önemli ölçüde artırmaktadır.
Dinh vd. (2021)	Çevrimsel yatay yükleme-boyuna donatı oranı, katman sayısı, ankraj kullanımı	Karbon tekstil-Çimento esaslı harç	Ankraj kullanılan numuneler; yük taşıma kapasitesi, deformasyon kapasitesi, rijitlik azalımı ve enerji yutma kapasitesi açısından ankrajsız numunelere kıyasla daha üstün performans sergilemiştir
Hong vd. (2023)	Çekme ve dört noktalı eğilme deneyi	Karbon tekstil-Çimento esaslı harç	TRM tekstil, çatlak sonrası çimento esaslı malzemelerin çekme performansını artırmada etkili bir donatı olarak işlev görür.

YIĞMA YAPI ELEMANLARININ TRM İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Donatısız yığma taşıyıcı duvar sistemleri, dünya genelinde yaygın ve en eski yapı türlerinden biridir. Ancak bu sistemlerin, orta ve yüksek şiddetteki depremler ile yüksek rüzgâr etkileri altında göçmeye yatkın olduğu bilinmektedir. Ayrıca, yaşlanma ve tekrarlı deprem etkilerine bağlı birikimli hasar, özellikle kültürel miras niteliğindeki tarihi yığma yapıların güvenliği açısından önemli risk oluşturmaktadır. Sismik bölgelerde eski yönetmeliklere göre tasarlanmış yapıların güncel deprem performans düzeylerini sağlaması; sismik olmayan bölgelerde ise kullanım değişikliği ve artan tasarım gereklilikleri doğrultusunda güncellenmesi mevcut yığma yapıların performansının artırılması açısından zorunluluk arz etmektedir.

Yığma yapı duvarlarının dayanım ve sünekliğini artırmaya yönelik olarak; donatılı yüzey kaplamaları, püskürtme beton, çelik gergiler, dıştan yapıştırılan FRP sistemleri gibi çeşitli güçlendirme teknikleri geliştirilmiştir. FRP sistemleri; yüksek dayanım/ağırlık oranı, korozyon direnci ve kolay uygulanabilirlik gibi avantajları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak organik reçine esaslı bağlayıcıların sınırlamaları ve özellikle tarihi yığma yapılarda geri dönüştürülebilirlik gereklilikleri, FRP uygulamalarını kısıtlayabilmektedir. Bu sorunları ortadan kaldırmak amacıyla organik bağlayıcıların, çimento veya hidrolik kireç esaslı inorganik bağlayıcılarla değiştirilmesi, FRP sistemlerine alternatif bir çözüm sunmaktadır. Harç esaslı kompozitlerle aderans koşulları iyileştirilebilmekte ve sürekli lif levhalar yerine açık dokulu tekstiller kullanılarak lif-matris etkileşimi daha etkin hale getirilebilmektedir. Bu yaklaşım, TRM sistemi olarak tanımlanmakta ve FRP sistemlerine etkili bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Triantafillou, 2016:361).

TRM güçlendirmesinin amacı, yığma elemanların ve yapının toplam taşıma kapasitesini artırmaktır. Dıştan uygulanan TRM ceketleri, esas olarak çekme gerilmelerinin olduğu bölgelerde kullanılmalı; olası yerel kararsızlıklar nedeniyle basınç gerilmelerini taşımada esas eleman olarak değerlendirilmemelidir.

TRM sisteminin belirli bir uygulama için uygunluğu değerlendirilirken, mevcut yapının taşıma kapasitesi belirlenmeli, yetersizlikler ve nedenleri ortaya konulmalı ve yığma yapının mevcut durumu incelenmelidir. Bu süreç; saha incelemesi, mevcut belgelerin değerlendirilmesi ve yapısal analiz aşamalarını içermelidir. TRM uygulamaları; eğilme ve kesme güçlendirmesi, elemanlar arası bağlantıların iyileştirilmesi, döşeme rijitleştirilmesi, çatlak kontrolü, sargılama (sınırlama) ve eksenel kapasite artışı gibi amaçlarla kullanılabilir. Bu kapsamda, duvar, kemer ve tonozların taşıma kapasitesinin artırılması; kolonların basınç dayanımı ve sünekliğinin yükseltilmesi amacıyla sarılması; itki kuvvetlerinin azaltılması, yapısal olmayan elemanların rijitlik ve dayanım artırılarak yapısal elemanlara dönüştürülmesi; yatay ve itkisiz sistemlerin

güçlendirilmesi ve rijitleştirilmesi; ayrıca yapıların döşeme ve çatı seviyelerinde sargılanması hedeflenir (Triantafillou,2016:365).

TRM, yeterli mekanik özelliklere sahip taşıyıcı elemanlara uygulanmalıdır. Yığma eleman hasarlı veya çatlaklı ise, TRM uygulamasından önce enjeksiyon uygulamaları gibi uygun onarım yöntemleri ile iyileştirilmeli; böylece TRM ile yığma arasında yük paylaşımının sağlıklı şekilde gerçekleşmesi temin edilmelidir. Deprem veya sıcaklık değişimleri gibi çevrimsel yüklere maruz kalan yığma yapılarda, yığma yapı elemanı ile TRM arasındaki aderans zamanla zayıflayabilir. Bu tür durumlarda, TRM'nin yığma yapı elemanına uygun ankraj elemanları ile sabitlenmesi önerilmektedir (Triantafillou ,2016:365)

TRM esaslı güçlendirme stratejisi, yetersiz tasarlanmış elemanların kapasitesinin artırılması ilkesine dayanır. Amaç; yapısal düzenliliğin iyileştirilmesi ve yığma duvarlarda veya yapısal bileşenlerde olası yerel göçmelerin önlenmesidir. Sismik kırılganlığı artırmamak için, TRM uygulamalarının yapının toplam sünekliliğini azaltmamasına dikkat edilmelidir. Özellikle düşey elemanların birleştirilmesine yönelik müdahalelerde, kemer ve tonozlarda plastik mafsal oluşumunu önlemek için özen gösterilmelidir. Hem kolonların hem de tonozların mafsal sünekliliğinin artırılması kritik öneme sahiptir.

Yığma yapı duvarlarındaki hasarlar, yükün etki doğrultusuna bağlı olarak düzlem içi ve düzlem dışı olmak üzere iki ana grupta incelenir. Düzlem içi hasarlar, yüklerin duvarın kendi düzlemi içerisinde etkimesi sonucu ortaya çıkar ve genellikle kesme çatlakları, diyagonal çekme çatlakları, ezilme bölgeleri ve kayma mekanizmaları şeklinde gözlenir. Bu tür hasarlar çoğunlukla tüm duvar panelini etkileyerek rijitlik ve dayanım kaybına neden olur. Düzlem dışı hasarlar ise yükün duvar düzlemine dik doğrultuda etkimesiyle meydana gelir ve duvarın eğilme davranışı ön plana çıkar. Yetersiz ankraj, zayıf döşeme-duvar bağlantısı veya ortogonal duvarlarla bağlantı eksikliği durumunda duvarın belirli bölümleri dışa doğru devrilme, dışa bombelenme veya kısmi göçme şeklinde hasar gösterebilir. Özellikle tarihi ve bağlayıcı özelliği zayıf yığma yapılarda düzlem dışı hasarlar daha kırılğan ve ani göçmelere yol açabilmektedir.

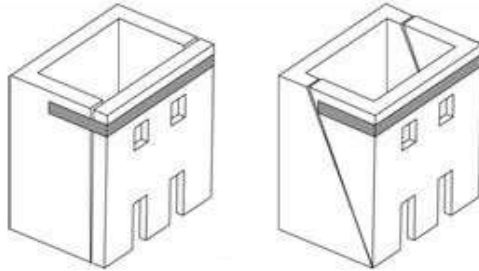
Yığma Duvarların Düzlem Dışı Yükler Altında Güçlendirilmesi

Düzlem dışı yükler, duvar düzlemine dik doğrultudaki yüklerdir. Deprem etkisiyle oluşan yatay atalet kuvvetleri, rüzgâr yükleri, kemer ve tonozların varlığından doğan yatay kuvvetler düzlem dışı yükleri oluşturmaktadır. Yığma duvarların düzlem dışı göçmesi, en sık rastlanan hasar mekanizmalarından biridir. Düzlem dışı göçme; devrilme, düşey doğrultuda eğilme göçmesi veya yatay doğrultuda eğilme göçmesi şeklinde gelişebilmektedir.

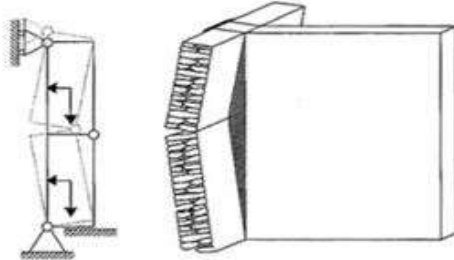
Devrilme yoluyla göçme (Şekil 2), dik doğrultudaki duvarlara bağlanmamış ve üst kotta herhangi bir şekilde mesnetlenmemiş duvarlarda,

tabanda bir plastik mafsal oluşması sonucu meydana gelebilir. Bu göçme mekanizması; sınır koşulları ve duvarın narinliği başta olmak üzere çeşitli parametrelere bağlıdır. Devrilme yoluyla göçme sorununu çözmek için uygulanabilecek yöntem, duvarın üst kısmına yerleştirilen ve komşu (ortogonal) duvarlar üzerine kıvrılarak devam ettirilen TRM şeritlerin uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Bu durumda devrilmeye karşı dayanım, TRM sisteminin yatay doğrultudaki lifleri tarafından sağlanmaktadır. Liflerde gerilme yığılmalarını önlemek amacıyla köşelerinin yuvarlatılmasına özellikle dikkat edilmelidir (Triantafillou, 2016:367).

Üst ve alt bölgelerinden mesnetlenmiş olan ve yatay yüklere maruz kalan yığma duvarlar, üstte, altta ve ara bölgede olmak üzere üç mafsal oluşumu ile eğilme göçmesi sonucu hasar görebilir (Şekil 3). Bu tarz göçme, düşey doğrultuda eğilme göçmesi olarak adlandırılır. Düşey doğrultuda eğilme göçmesi, özellikle yüksek yığma duvarlarda veya ortogonal duvarlara mesnet mesafesi fazla olan duvarlarda meydana gelebilir. Deprem yükleri durumunda, farklı kotlarda bulunan döşemeler tarafından karşılıklı yönlerden yüklenen yığma duvarlar, düşey eğilme göçme mekanizmalarına karşı özellikle hassastır. Bu tür duvarlar, çekme bölgesine yeterli ankraj detayları ile TRM uygulanarak güçlendirilebilir. Böylece basınç gerilmelerinin yığma tarafından, çekme gerilmelerinin ise TRM donatısı tarafından karşılandığı bir “donatılı yığma” davranışı elde edilir (Minafo vd., 2017:3778).



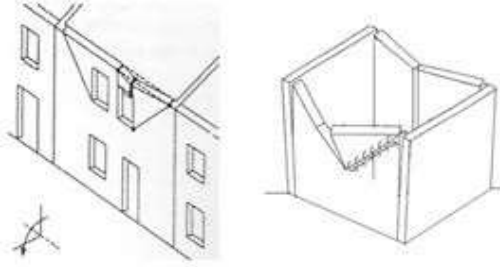
Şekil 2: Devrilme Yoluyla Göçme ve TRM Sargı Kuşağı Uygulaması
Kaynak: Minafo vd., 2017:3779



Şekil 3: Düşey Doğrultuda Eğilme Göçmesi
Kaynak: Minafo vd., 2017:3779

Son olarak, üçüncü mekanizma; yığma panellerin yan (ortogonal) duvarlara yeterli şekilde ankrajlanmış olmasına rağmen, üst kısımlarının

hatıl ya da rijit döşeme gibi elemanlarla sınırlandırılmamış olması durumunda ortaya çıkabilir. Bu durum yatay doğrultuda eğilme göçmesi olarak adlandırılır. Bu göçme tipinde Şekil 4’te gösterildiği gibi duvarın üst bölümünün bir kısmı göçebilir. Bu tür durumlarda da duvarın üst sınır bölgesine TRM kompozitlerinin uygulanması, donatılı yığma elemanlarda olduğu gibi eğilme kapasitesinin artırılmasına olanak sağlar (Minafo vd., 2017:3778).



Şekil 4: Yatay Doğrultuda Eğilme Göçmesi
Kaynak: Minafo vd., 2017:3779

Yığma elemanların düzlem dışı davranışı üzerinde TRM uygulamasının etkinliğini incelemek amacıyla araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

Papanicolaou vd. (2008), her iki yüzünden TRM veya FRP ile güçlendirilmiş donatısız yatay boşluklu yığma duvarları düzlem dışı çevrimsel yükleme altında test etmişler ve güçlendirilen duvarların yük taşıma kapasitesi ve deformasyon kabiliyetini deneysel olarak araştırmışlardır. Ayrıca yüzeye yakın yerleştirilen donatı yöntemi (NSM) ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışmada; inorganik esaslı harç ve reçine esaslı matris malzemelerinin etkisi, katman sayısı (1 ve 2), moment vektörünün yatay derzlere göre yönelimi ve TRM veya FRP güçlendirme tekniğinin NSM şeritlere kıyasla performansı incelenmiştir. Sonuç olarak TRM güçlendirme tekniğinin FRP ve NSM'ye kıyasla yığma duvarlarda dayanım ve şekil değiştirme kapasitesinde önemli artış sağladığı belirlenmiştir. Bu artış, tekstil katman sayısı arttıkça daha da yükselmektedir.

Babaeidarabad vd. (2014b), kil dolu tuğla yığma duvar numuneleri üzerinde eğilme kapasitesine yönelik deneyler gerçekleştirmişlerdir. TRM katman sayısı (1 ve 4) incelenen parametre olarak belirlenmiştir. Deneysel bulgular, güçlendirilmiş duvarların eğilme kapasitesi ve rijitliği açısından belirgin performans artışı gösterdiğini ortaya koymuştur. Tek katmanlı tekstillerde hâkim göçme modunun tekstil liflerinin kopması olduğunu; dört katmanlı tekstillerde ise eğilme göçmesinden önce kesme göçmesinin meydana geldiği görülmüştür. Son olarak, FRP ile güçlendirilmiş duvarlara ait diğer araştırma verileri sunulmuş ve eğilme kapasitesi kalibre edilmiş

donatı oranı ile ilişkilendirildiğinde, TRM ve FRP teknolojilerinin eşdeğer performans sağlayabildiği gösterilmiştir.

Valuzzi vd. (2014), delikli tuğla yığma duvarların düzlem dışı yükler altında davranışını iyileştirmek amacıyla TRM, FRP, çelik donatılı grout (SRG) ve çelik donatılı polimer (SRP) güçlendirme yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Karşılaştırılan kompozit malzemelerdir. Çalışmada karbon FRP, keten ve kenevir esaslı doğal FRP, bazalt ve cam esaslı TRM incelenmiş olup, TRM sistemlerinde çimento esaslı harç, SRG sisteminde magnezya esaslı harç kullanılmıştır. Dört noktalı eğilme deneylerine göre FRP, SRG, SRP ve TRM gibi güçlendirme yöntemleri kullanıldığında maksimum yük kapasitesi, güçlendirilmemiş duvarlara kıyasla yaklaşık 3–10 kat artmıştır. En yüksek dayanım artışı SRP sisteminde elde edilmiştir. Hasar türleri sistemlere göre farklılık göstermiş; lif kopması, matris çatlaması, sıyırılma ve kesme hasarları gözlenmiştir. Sonuçlar, kompozitlerin performansının yalnızca lif dayanımına değil, lif–matris etkileşimine ve sistem rijitliğine bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak, inorganik matrisli sistemler hem yeterli dayanım artışı hem de tatmin edici deformasyon kapasitesi sunarak yığma panellerin düzlem dışı gevrek göçmesini azaltmada etkili bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

Gattesco ve Boem (2017), TRM (cam lifli) yönteminin yığma duvarların düzlem dışı göçmesine karşı etkinliğini güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş tam ölçekli numuneler üzerinde deneysel ve sayısal olarak yük taşıma ve yer değiştirme kapasiteleri bakımından incelemişlerdir. Deney programında üç farklı yığma türü (dolu tuğla, moloz taş ve dere taşı) için dört noktalı eğilme deneyleri gerçekleştirilmiş ve numunelerin göçme modları analiz edilmiştir. Sonuçlar, güçlendirilmiş numunelerin düzlem dışı eğilme momentlerine karşı dayanımının güçlendirilmemiş numunelere kıyasla yaklaşık 4–5 kat arttığını göstermiştir. Ayrıca, TRM ağın çatlak açılmasını sınırlaması sayesinde, güçlendirilmiş numuneler daha fazla sehim yer değiştirme kapasitesine ulaşabilmiştir.

Kariou vd. (2018), TRM ile güçlendirilen kil dolu tuğla yığma duvarların düzlem dışı eğilme davranışını üç noktalı eğilme deneyleri ile incelemişlerdir. Araştırılan parametreler, TRM katman sayısı (1, 3 ve 7 katman), tekstil türü (karbon, cam ve bazalt), tekstilin epoksi reçine ile kaplanması ve duvar kalınlığıdır (tek sıra ve çift sıra duvar). Deneysel sonuçlar, TRM uygulamasının duvarların yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. TRM katman sayısındaki artışın dayanımı, deformasyon kapasitesini ve göçme modunu etkilediği belirlenmiştir. Farklı tekstil türleri benzer yük taşıma performansı sergilemiştir. TRM'nin güçlendirme etkinliği, tek sıra duvarlarda çift sıra ve daha rijit duvarlara kıyasla daha belirgindir. Ayrıca, tekstil donatının epoksi ile kaplanması sistem performansını iyileştirmektedir.

Tablo 4'te, yığma duvarların düzlem dışı yükler altında TRM ile güçlendirilmesi ile ilgili yayımlanmış çalışmaların bir özeti sunulmaktadır.

Tablo 4: Yığma Duvarların Düzlem Dışı Yükler Altında TRM ile Güçlendirilmesi

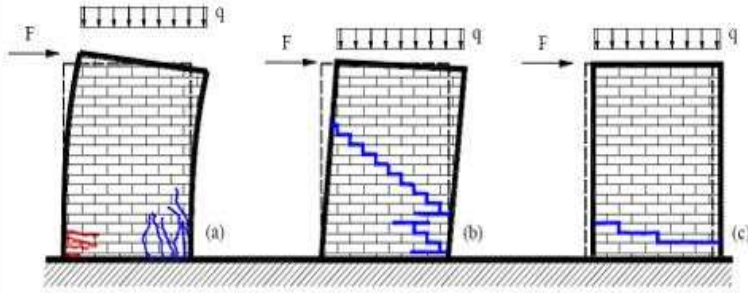
Kaynak	Test Tipi ve Değişkenler	Tekstil, Harç Türü ve Yığma türü	Temel Bulgular
Papanicolaou vd. (2008)	Üç noktalı eğilme deneyi- tekstil katman sayısı, harç türü, TRM-FRP-NSM	Karbon tekstil-çimento esaslı harç ve reçine esaslı matris-yatay delikli tuğla	TRM güçlendirme tekniğinin FRP ve NSM'ye kıyasla yığma duvarlarda dayanım ve şekil değiştirme kapasitesinde önemli artış sağladığı belirlenmiştir.
Babaeidarabad vd. (2014b)	Hava yastığı deneyi-tekstil katman sayısı, TRM-FRP	Karbon tekstil-çimento esaslı harç -kil dolu tuğla	TRM ve FRP teknolojilerinin eşdeğer performans sağlayabildiği gösterilmiştir.
Valuzzi vd. (2014)	Dört noktalı eğilme deneyi-TRM-FRP-SRG-SRP	Cam ve bazalt tekstil-çimento esaslı harç- delikli tuğla	İnorganik matrisli sistemler hem yeterli dayanım artışı hem de tatmin edici deformasyon kapasitesi sunarak yığma panellerin düzlem dışı gevrek göçmesini azaltmada etkili bir çözümdür.
Gattesco ve Boem (2017)	Dört noktalı eğilme deneyi-güçlendirilmiş numune ve güçlendirilmemiş numune, yığma duvar türü	Cam tekstil-Çimento esaslı harç-dolu tuğla, moloz taş ve dere taşı	Güçlendirilmiş numunelerin düzlem dışı eğilme momentlerine karşı dayanımının güçlendirilmemiş numunelere kıyasla yaklaşık 4-5 kat arttığını göstermiştir.
Kariou vd. (2018)	Üç noktalı eğilme deneyi-tekstil katman sayısı, tekstil türü, epoksi reçine varlığı, duvar kalınlığı	Karbon, cam ve bazalt tekstil-çimento esaslı harç-kil dolu tuğla	TRM'nin etkinliğinin tek sıra duvarlarda, daha rijit olan çift sıra duvarlara kıyasla daha belirgin olduğu, tekstil donatının epoksi ile kaplanmasının ve katman sayısının artırılmasının sistem performansını iyileştirdiğini göstermiştir.

Yığma Duvarların Düzlem İçi Yükler Altında Güçlendirilmesi

Düzlem içi yükler, duvarlara paralel doğrultuda kendi düzlemi içerisinde etkiyen yüklerdir. Duvarlara paralel doğrultuda etkileyen deprem yükleri, yığma duvarların düzlem içi göçmesi şeklinde hasar mekanizması oluştururlar. Bu durumda tipik etkiler, aksenal yük ve eğilmenin birlikte etkisi ile kesme kuvvetini içermektedir. Andreini vd. (2014), çalışmalarında düzlem içi yüklerin yığma duvarlarda üç ana göçme mekanizması

oluşturduğunu belirtmişlerdir. Bu göçme mekanizmaları; eğilme göçmesi, diyagonal kesme göçmesi ve kayma kesmesi göçmesi olup, tipik çatlak desenleri ile yığma duvarın niteliksel kinematığı dikkate alınarak Şekil 5'te temsili olarak gösterilmiştir.

Duvar yüzeyinde oluşan çatlaklar duvarın eğilme ve kesme kapasitesinin aşıldığını gösterir. Duvar-döşeme bağlantılarındaki zayıflık, kalitesiz harç kullanılması gibi etkenler bu tarz hasarların oluşmasına sebebiyet verebilir. Bu tip hasarlar daha esnek davranış gösterir ve duvarın aniden çökmesine neden olmaz, çatlaklar oluşturarak önceden uyarı verir. Ancak bu çatlaklar yapının taşıma sistemini zayıflatmaktadır. Bu hasarları önlemek için çeşitli güçlendirme yöntemleri geliştirilmiştir. TRM güçlendirme yöntemi de bu hasarların ilerlemesini önlemek için uygulanan yöntemlerden bir tanesidir.



Şekil 5: Yığma Duvar Düzlem İçi Göçme Türleri: a) Eğilme Göçmesi, b) Diyagonal Kesme Göçmesi, c) Kayma Kesmesi Göçmesi
Kaynak: Andreini vd., 2014:5

Yığma elemanların düzlem içi yükler altında davranışı üzerinde TRM uygulamasının etkinliğini incelemek amacıyla deneysel araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

Papanicolaou vd. (2007), TRM güçlendirme sisteminin, çevrimsel düzlem içi yüklemeye maruz kalan donatısız yatay delikli kil tuğla yığma duvarların yük taşıma kapasitesi ve deformasyon yeteneğini artırma amacıyla kullanımını deneysel olarak incelemiştir. İncelenen parametreler arasında güçlendirme türü (TRM-FRP), duvar tipi (kesme duvar, kolon tipi duvar, kiriş tipi duvar), matris türü (harç ve reçine esaslı) ve tekstil katman sayısıdır (1 ve 2). Elde edilen deneysel sonuçlara göre, dayanım bakımından TRM uygulamasının, aynı lif konfigürasyonuna sahip FRP uygulamasına kıyasla en az %65–70 oranında etkili olduğu ifade edilebilir. Deprem güçlendirmesinde donatısız yığma duvarlar için kritik öneme sahip olan deformasyon kapasitesi açısından TRM, FRP'ye göre çok daha yüksek performans göstermiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen deneylere göre deformasyon kapasitesindeki artış; kesme duvarlarında yaklaşık %15–30, kolon-benzeri duvarlarda %135 ve kiriş tipi duvarlarda %350 düzeyindedir.

Tekstil katman sayısının artması dayanımı genel olarak artırmıştır. Reçine emdirilmiş tekstillere kıyasla, harç emdirilmiş tekstiller genel olarak dayanım açısından daha düşük bir etkinlik gösterirken, deformasyon kapasitesi bakımından çok daha yüksek performans sergilemiştir. TRM güçlendirme yönteminin düzlem içi yüklemeye maruz kalan donatısız yığma duvarların güçlendirilmesi ve deprem performansının iyileştirilmesi için son derece umut verici bir çözüm olduğu kanaatine varılmıştır.

Türkmen vd. (2019), güçlendirilmiş dolu kil yığma duvarların çevrimsel düzlem içi davranışını incelemek amacıyla, üç farklı eksenel yük seviyesi altında deneyler gerçekleştirmişlerdir. Düzlem içi yüklemeye güçlendirme amacıyla tek katmanlı TRM kullanılmıştır. İncelenen parametre olarak ankaj kullanımı belirlenmiştir. Eksenel yük altında, güçlendirilmiş ya da güçlendirilmemiş numunelerde çatlaklar yüzeyde değil ağırlıklı olarak en alt yatay derz ile temel kirişi arasındaki ara yüzde oluşmuştur. Ankraj varlığının duvarların hem devrilme hem de kayma dayanımını artırdığı belirlenmiştir.

Mercedes vd. (2021), dolu kil yığma duvarların farklı TRM tekstil türlerinin (kenevir, pamuk liflerinden oluşan bitkisel ağ tekstiller ve cam tekstil ağ) çevrimsel düzlem içi yüklemeye altında davranışını incelemiştir. Tüm güçlendirme çözümleri, donatısız duvarlara kıyasla kesme dayanım kapasitesini ve enerji sönümleme yeteneğini önemli ölçüde artırmıştır. Ayrıca, güçlendirilmiş tüm duvarlarda çoklu çatlak izleri gözlenmiş ve şekil değiştirme kapasitesinde %300'e varan artışlar elde edilmiştir. Bitkisel lifli çözümler, cam lifli TRM ile güçlendirilmiş duvarlara kıyasla daha yüksek etkinlik göstermiştir. Bitkisel TRM sistemlerinde gözlenen temel göçme mekanizması, ara yüzey sıyrılmaları şeklinde olmuştur.

Torres vd. (2021), kireç harcı ile örülmüş dolu kil tuğla yığma duvarlar üzerinde düzlem içi çevrimsel yüklemeye deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada; güçlendirilmemiş, önceden hasar almış ve TRM ile güçlendirilmiş ile hasarsız olarak TRM ile güçlendirilmiş numuneler karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, TRM ile güçlendirilen hasarlı ve hasarsız numunelerin, güçlendirilmemiş duvarlara kıyasla tepe yük kapasitesi ve enerji yutma kapasitesinde belirgin artış gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, hasarlı-güçlendirilmiş numunenin enerji yutma kapasitesi hasarsız-güçlendirilmiş numuneden daha yüksek bulunmuştur. TRM uygulaması, düzlem içi çevrimsel yükler altında yer değiştirme kapasitesini ve sünekliği artırarak çatlak ilerlemesini geciktirmiş ve ağır hasarlı yığma duvarların yapısal performansını iyileştirmiştir.

Garcia-Ramonda vd. (2022), dolu kil tuğla ve hidrolik kireç harcından oluşan yığma duvarlar üzerinde çevrimsel kesme-basınç deneyleri gerçekleştirmişler ve önceden hasar almış, onarılmış TRM ile güçlendirilmiş numuneler ile hasarsız olarak TRM ile güçlendirilmiş numuneleri karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, hasarlı numunelerde TRM sonrası yatay yük taşıma kapasitesindeki artışın mevcut hasar nedeniyle sınırlı kaldığını ve

ortalama %10 düzeyinde olduğunu; hasarsız numunelerde ise bu artışın yaklaşık %30'a ulaştığını göstermiştir. Buna karşın, yer değiştirme kapasitesi her iki numune tipinde de yaklaşık %30 artmıştır. TRM uygulaması tüm numunelerde enerji yutma kapasitesini belirgin biçimde artırmıştır. Bulgular, TRM'nin yığma yapıların deprem güçlendirmesi ve deprem sonrası onarımında dayanım, süneklik ve enerji yutma kapasitesini artıran etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 5'te, yığma duvarların düzlem içi yükler altında TRM ile güçlendirilmesi ile ilgili yayımlanmış çalışmaların bir özeti sunulmaktadır.

Tablo 5: Yığma Duvarların Düzlem İçi Yükler Altında TRM ile Güçlendirilmesi

Kaynak	Test Tipi ve Değişkenler	Tekstil, Harç Türü ve Yığma türü	Temel Bulgular
Papanicolaou vd. (2007)	Konsol tipi ve üç noktalı eğilme deneyi- tekstil katman sayısı, harç türü, TRM-FRP ve duvar tipi	Karbon tekstil- çimento esaslı harç ve reçine esaslı matris-kil dolu tuğla	TRM, dayanım ve deformasyon kapasitesi bakımından FRP'ye göre daha iyi performans göstermiştir.
Türkmen vd. (2019)	Konsol tipi kesme deneyi- ankraj kullanımı	Karbon tekstil- çimento esaslı harç - kil dolu tuğla	Ankrajların varlığının duvarların hem devrilme hem de kayma dayanımını artırdığı belirlenmiştir.
Mercedes vd. (2021)	Kesme deneyi-TRM tekstil türü	Kenevir, pamuk ve cam tekstil-çimento esaslı harç- kil dolu tuğla	Bitkisel lifli çözümler, cam lifli TRM ile güçlendirilmiş duvarlara kıyasla daha yüksek etkinlik göstermiştir.
Torres vd. (2021)	Kesme deneyi-hasar almış numune ve hasar almamış numune	Cam tekstil-kireç esaslı-kil dolu tuğla	Hasarlı-güçlendirilmiş numunenin enerji yutma kapasitesi, hasarsız-güçlendirilmiş numuneye kıyasla daha yüksek bulunmuştur.
Garcia-Ramonda vd. (2022)	Kesme deneyi-hasar almış numune ve hasar almamış numune	Bazalt tekstil- hidrolik kireç esaslı harç-kil dolu tuğla	TRM uygulaması yığma yapıların deprem güçlendirmesi ve deprem sonrası onarımında daha etkili bir yöntemdir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, betonarme ve yığma yapı elemanlarının TRM ile güçlendirilmesine yönelik literatürde yer alan deneysel ve analitik araştırmalar kapsamlı biçimde incelenmiştir. Mevcut çalışmalar, TRM uygulamalarının hem betonarme hem de yığma elemanlarda taşıma kapasitesi, süneklik, deformasyon ve enerji yutma kapasitesi açısından

önemli iyileştirmeler sağladığını ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Betonarme elemanlarda (kiriş, kolon ve döşemelerde) TRM güçlendirmesi; eğilme, kesme ve eksenel yük taşıma kapasitelerinde belirgin artış sağlamaktadır.
- Kolon sargılamalarında tekstil katman sayısının artması ile basınç dayanımında önemli artışlar elde edilmiş, mekanik ankraj kullanımının aderans performansını iyileştirerek sistem etkinliğini artırdığı görülmüştür.
- Kiriş güçlendirmelerinde TRM sistemlerinin yük taşıma kapasitesini artırdığı, ancak FRP sistemlerine kıyasla bazı durumlarda daha düşük dayanım artışı sağladığı; buna karşılık deformasyon kapasitesi ve yüksek sıcaklık altındaki performans açısından daha avantajlı olduğu belirlenmiştir.
- Yığma yapılarda gerçekleştirilen düzlem içi ve düzlem dışı deneyler, TRM uygulamasının duvarların kesme dayanımını, eğilme kapasitesini ve özellikle enerji yutma kapasitesini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir.
- Hasarlı duvarlarda dahi TRM uygulaması sonrası dayanım ve süneklikte kayda değer artışlar sağlanmış; hasarsız numunelerde ise bu artışların daha yüksek seviyelere ulaştığı gözlenmiştir.
- Yüksek çekme gerilmelerini taşıyabilen lif esaslı donatı sayesinde TRM, duvarlarda çatlakların genişlemesine karşı koyarak yığma elemanlara süneklik kazandırmaktadır.
- Düzlem dışı yüklemelerde TRM ile güçlendirilmiş duvarların eğilme dayanımında 4–5 kata varan artışlar elde edilmesi, yöntemin özellikle devrilme ve dışa doğru göçme mekanizmalarına karşı etkinliğini ortaya koymaktadır.
- TRM sistemlerinin tercih edilmesinde; mineral esaslı yapısı, yüksek sıcaklık ve yangına dayanımı, buhar geçirgenliği, tarihi yığma yapılarla uyumu ve uygulama kolaylığı gibi avantajları önemli rol oynamaktadır. Ayrıca epoksi esaslı FRP sistemlerine kıyasla daha iyi çevresel uyum göstermesi ve düşük sıcaklıklarda uygulanabilmesi, TRM'yi deprem riski yüksek bölgelerde mevcut yapıların güçlendirilmesi için uygun ve sürdürülebilir bir alternatif haline getirmektedir.
- TRM uygulamalarında aderans performansı kritik öneme sahiptir. Beton veya yığma altlık ile TRM arasındaki bağ dayanımı, sistemin etkinliğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle yüzey hazırlığı, tekstil katman sayısı, harç türü ve ankraj detayları tasarım sürecinde dikkatle değerlendirilmelidir.
- Mevcut deneysel veriler artmakla birlikte, özellikle birim şekil değiştirme kapasitesi, uzun süreli davranış ve çevrimsel yükler altındaki

performansın tahminine yönelik kapsamlı ve genellenebilir tasarım modellerine ihtiyaç bulunmaktadır.

- Sonuç olarak, TRM sistemleri; dayanım artışı, süneklik kazanımı, enerji yutma kapasitesindeki iyileşme ve uygulama avantajları sayesinde betonarme ve yığma yapı elemanlarının sismik performansının artırılmasında güvenilir ve umut verici bir güçlendirme yöntemi olarak değerlendirilmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmaların; uzun dönem dayanıklılık, büyük ölçekli uygulamalar ve performans esaslı tasarım yaklaşımları üzerine yoğunlaşması, TRM sistemlerinin mühendislik uygulamalarındaki yerini daha da güçlendirecektir.

REFERANSLAR

- ACI, American Concrete Institute. Guide to Design and Construction of Externally Bonded FRCM Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures. Amerika Birleşik Devletleri: ACI Committee 549, December 2013, ACI 549.4R-13.
- Andreini, M., Caliò, I., Cannizzaro, F., De Falco, A., Giresini, L., Pantò, B., & Sassu, M. (2014, October). Seismic assessment of the historical mixed masonry-reinforced concrete government Palace in La Spezia. In 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions.
- Babaeidarabad, S., Loreto, G., & Nanni, A. (2014a). Flexural strengthening of RC beams with an externally bonded fabric-reinforced cementitious matrix. *Journal of Composites for Construction*, 18(5), 1-41.
- Babaeidarabad, S., Caso, F. D., & Nanni, A. (2014b). Out-of-plane behavior of URM walls strengthened with fabric-reinforced cementitious matrix composite. *Journal of Composites for Construction*, 18(4), 1-11.
- Bournas, D.A., Papanicolaou, C., & Triantafillou, T. (2007). Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP confinement in reinforced concrete columns. *ACI Structural Journal*, 104(6), 740-748.
- Çalışkan, Ö., & Şenol, A. F. (2025). Flexural Performance of concrete beams strengthened with textile reinforced mortars: Influence of application pattern and repair mortar type. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(4), 1282-1292.
- Dheyab, A. S., & Raoof, S. M. (2021). Textile-Reinforced Mortar (TRM) Strengthened One-Way Reinforced Concrete Slabs. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 28(2), 107-123.
- Dinh, N. H., Park, S. H., & Choi, K. K. (2020). Seismic performance of reinforced concrete columns retrofitted by textile-reinforced mortar jackets. *Structure and Infrastructure Engineering*, 16(10), 1364-1381.
- Dinh, N. H., Park, S. H., Kim, S. H., & Choi, K. K. (2021). Cyclic behavioral characteristics of RC beams strengthened by U-wrapped TRM jacket with anchorage details. *Engineering Structures*, 247, 113205.
- Elsanadedy, H. M., Almusallam, T. H., Alsayed, S. H., & Al-Salloum, Y. A. (2013). Flexural strengthening of RC beams using textile reinforced mortar– Experimental and numerical study. *Composite Structures*, 97, 40-55.

- Garcia-Ramonda, L., Pelà, L., Roca, P., & Camata, G. (2022). Cyclic shear-compression testing of brick masonry walls repaired and retrofitted with basalt textile reinforced mortar. *Composite Structures*, 283, 115068.
- Gattesco, N., & Boem, I. (2017). Out-of-plane behavior of reinforced masonry walls: Experimental and numerical study. *Composites part B: engineering*, 128, 39-52.
- Hong, G., Park, J., Lee, S. C., Cha, S. W., Ryu, J., & Choi, S. (2023). Experimental and Theoretical Analysis of Flexural Properties of Mortar Beam Reinforced with Coated Carbon-Fiber Textile. *Buildings*, 13(9), 2157.
- John, S. K., Cascardi, A., & Nadir, Y. (2024). Experimental investigation and design-oriented model for concrete column confined with textile reinforced geopolymer composites. *Engineering Structures*, 300, 117152.
- Kariou, F. A., Triantafyllou, S. P., Bournas, D. A., & Koutas, L. N. (2018). Out-of-plane response of masonry walls strengthened using textile-mortar system. *Construction and Building Materials*, 165, 769-781.
- Koutas, L. N., & Bournas, D. A. (2017). Flexural strengthening of two-way RC slabs with textile-reinforced mortar: experimental investigation and design equations. *Journal of Composites for Construction*, 21(1), 04016065.
- Loreto, G., Leardini, L., Arboleda, D., & Nanni, A. (2014). Performance of RC slab-type elements strengthened with fabric-reinforced cementitious-matrix composites. *Journal of Composites for Construction*, 18(3), A4013003.
- Mercedes Cedeño, L. E., Bernat Masó, E., & Gil Espert, L. (2021). Masonry walls strengthened with vegetal fabric reinforced cementitious matrix (FRCM) composites. In *SAHC 2021: 12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions* (pp. 1-12). International Centre for Numerical Methods in Engineering (CIMNE).
- Minafò, G., Cucchiara, C., Monaco, A., & La Mendola, L. (2017). Effect of FRP strengthening on the flexural behaviour of calcarenite masonry walls. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(9), 3777-3795.
- Papanicolaou, C. G., Triantafillou, T. C., Karlos, K., & Papathanasiou, M. (2007). Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in-plane cyclic loading. *Materials and structures*, 40(10), 1081-1097.
- Papanicolaou, C. G., Triantafillou, T. C., Papathanasiou, M., & Karlos, K. (2008). Textile reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: out-of-plane cyclic loading. *Materials and structures*, 41(1), 143-157.
- Papanicolaou, C., Triantafillou, T., Papantoniou, I., & Balioukos, C. (2009). Strengthening of two-way reinforced concrete slabs with Textile Reinforced Mortars (TRM). *4th Colloquium on Textile Reinforced Structures* (409-420), Dresden.
- Shamseldin, A., Elgabbas, F., Kohail, M., & Elshafie, H. (2021). Strengthening of reinforced concrete slabs using basalt textile reinforced mortar (BTRM). *Journal of Tianjin University Science and Technology*, 54(09).
- TBDY, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Tetta, Z. C., & Bournas, D. A. (2016). TRM vs FRP jacketing in shear strengthening of concrete members subjected to high temperatures. *Composites Part B: Engineering*, 106, 190-205.

- Torres, B., Ivorra, S., Baeza, F. J., Estevan, L., & Varona, B. (2021). Textile reinforced mortars (TRM) for repairing and retrofitting masonry walls subjected to in-plane cyclic loads. An experimental approach. *Engineering Structures*, 231, 111742.
- Triantafillou, T. C., & Papanicolaou, C. G. (2005). Textile Reinforced Mortars (TRM) versus Fiber Reinforced Polymers (FRP) as Strengthening Materials of Concrete Structures. *Special Publication*, 230, 99-118.
- Triantafillou, T. C., Papanicolaou, C. G., Zissimopoulos, P., & Laourdekis, T. (2006). Concrete confinement with textile-reinforced mortar jackets. *ACI structural journal*, 103(1), 28-37.
- Triantafillou, T. (Ed.). (2016). *Textile fibre composites in civil engineering*. Woodhead Publishing.
- Türkmen, Ö. S., De Vries, B. T., Wijte, S. N. M., & Vermeltoort, A. T. (2019). Quasi-static cyclic in-plane testing of masonry walls strengthened with a single-sided fabric-reinforced cementitious matrix overlay and flexible anchorage. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 4(1), 8.
- Tzoura, E., & Triantafillou, T. C. (2016). Shear strengthening of reinforced concrete T-beams under cyclic loading with TRM or FRP jackets. *Materials and Structures*, 49(1), 17-28.
- Valluzzi, M. R., Da Porto, F., Garbin, E., & Panizza, M. (2014). Out-of-plane behaviour of infill masonry panels strengthened with composite materials. *Materials and structures*, 47(12), 2131-2145.