

Yapısal Güçlendirmede Yenilikçi Yöntemler ve Başarılı Uygulamalar

^{*1}Fereşin Ipekyüz,¹Mehmet Emin Öncü

^{*1}Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi, Türkiye

Özet

Türkiye gibi deprem riski olan bölgelerde bulunan yapılar için güvenliğin artırılması, yenilikçi yapısal güçlendirme yöntemlerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, geleneksel yöntemlerin yanı sıra sismik izolasyon sistemleri, sönümleyici cihazlar, Fiber Takviyeli Polimerler (FRP) ve gelişmiş malzeme teknolojileri gibi modern güçlendirme teknikleri incelenmektedir. Türkiye'den başarılı uygulama örnekleri üzerinden yöntemlerin etkinliği değerlendirilmiş, performans artırıcı çözümler karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda, yapıların sürdürülebilirliğini artıran, ekonomik ve mühendislik açısından uygulanabilir yenilikçi güçlendirme stratejileri sunulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Deprem, yapısal güçlendirme, sismik izolasyon, Fiber Takviyeli Polimerler (FRP), sönümleyici cihazlar

Innovative Methods and Successful Applications in Structural Retrofitting

Abstract

In regions with high seismic risk, enhancing the safety of existing structures necessitates the development of innovative structural strengthening methods. This paper reviews modern reinforcement techniques, including seismic isolation systems, damping devices, fiber-reinforced polymers (FRP), and advanced material technologies, alongside traditional methods. Successful case studies from Turkey are analyzed to evaluate the effectiveness of these methods, comparing performance-enhancing solutions. In this context, innovative strengthening strategies are proposed, focusing on improving the sustainability of structures and offering economically and technically viable solutions.

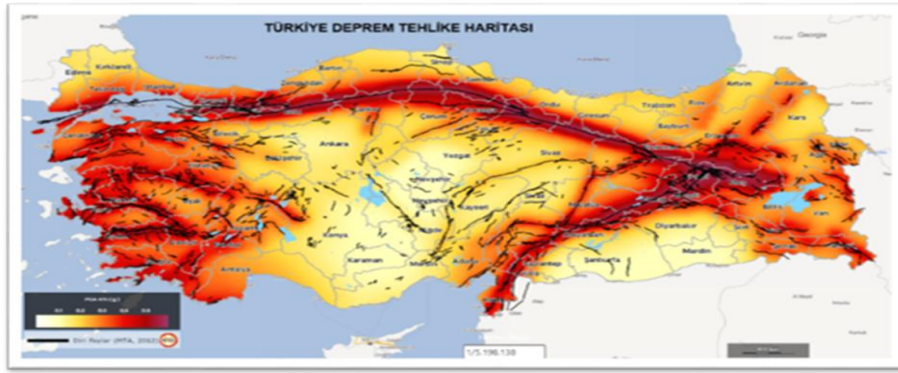
Keywords: Earthquake, structural retrofitting, seismic isolation, fiber-reinforced polymers (FRP), damping devices

1. Giriş

Son altmış yıl içinde dünya genelinde yapısal hasara neden olan doğal afetlerin büyük çoğunluğunu depremler oluşturmıştır. Depremleri sırasıyla heyelanlar, seller, toprak kaymaları, yangınlar ve çığ felaketleri takip etmektedir. Depremler, yer kabuğunda biriken enerjinin ani bir şekilde açığa çıkması ve tektonik plakaların birbirine göre hareket etmesiyle meydana gelen doğal olaylardır [1].

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Dicle University, 21280, Diyarbakır TÜRKİYE. E-mail address: frsipekyz@gmail.com, Phone: +904122413544

Dünyadaki en yoğun deprem kuşakları; yeryüzündeki depremlerin %81'inin olduğu Pasifik Deprem Kuşağı, %17'sinin olduğu Alp-Himalaya Deprem Kuşağı'dır. Türkiye de Alp-Himalaya Deprem Kuşağında yer alan bir ülke olduğu için dünya genelinde depremselliği yüksek olan ülkelerden birisidir. Şekil 1'de görüldüğü üzere Türkiye'nin sismik enerji olarak dünyanın en aktif bölgelerinde yer alması, olası bir depremden sonra yapı hasarlarını azaltmak adına depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunun daha da önemli hale gelmesine neden olmaktadır. 6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye'nin güneydoğusunda meydana gelen ve büyüklüğü Mw 7.7 ile Mw 7.6 olarak ölçülen iki büyük deprem, Kahramanmaraş ve çevresindeki illerde büyük yıkıma ve can kaybına neden olmuştur. Bu depremler, Türkiye'nin deprem gerçeğini bir kez daha gözler önüne sererken, mevcut yapı stokunun depreme karşı yetersizliğini ve yapı güvenliği konusundaki eksiklikleri de ortaya koymuştur. Depreme dayanıklı yapı tasarımı için yönetmeliklerle koşullar getirilmiştir. 1947, 1953, 1961, 1968, 1975, 1998, 2007 ve 2018 yıllarında deprem yönetmelikleri yayımlanmıştır.



Şekil 1. Türkiye deprem tehlike haritası [2]

Depremler sonrasında yapılan hasar tespit çalışmaları, birçok yapının mevcut deprem yönetmeliklerine uygun olmadığını ve bu nedenle ciddi hasarlar aldığını göstermiştir. Bu durum, yapıların sadece inşa edildikleri dönemdeki yönetmeliklere uygun olmasının yeterli olmadığını, aynı zamanda güncel yönetmeliklere göre değerlendirilmesi ve gerekirse güçlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) [3], yüksek binalar ve deprem yalıtımı gibi özel yapı türlerine yönelik hükümler içerecek şekilde güncellenmiş ve uluslararası ölçekte karşılaştırıldığında en kapsamlı yönetmeliklerden biri haline gelmiştir. Ayrıca, TBDY-2018'de deprem yalıtımı sistemlerin tasarımına ve hesabına yönelik özel bir bölüm bulunmaktadır.

Geleneksel güçlendirme yöntemleri, çoğunlukla yapıya ek kuvvet etkileri getirmekte, özellikle taban kesme kuvvetlerinde artışa neden olmakta ve bu da mevcut temel sistemlerinin takviyesini zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, bu tür uygulamalar sırasında yapının kullanım dışı bırakılması ve boşaltılması gerekmektedir. Buna karşın, enerji sönümleyici sistemlerin entegrasyonu ile yapının sönüm oranı artırılarak, çoğu durumda yapının tahliye edilmesine gerek kalmaksızın güçlendirme yapılabilmesi mümkün hale gelmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye'deki yapı stokunun deprem güvenliği açısından değerlendirilmesi, TBDY-

2018'in enerji sönümleyici sistemler konusundaki örnekleri ve bu sistemlerin mevcut yapılarda güçlendirme amacıyla kullanımının önemi ele alınacaktır. Ayrıca, enerji sönümleyici sistemlerin tasarımı ve uygulamasına yönelik uluslararası standartlar ve Türkiye'deki uygulamalar incelenecek, bu sistemlerin yapı güvenliğine katkıları değerlendirilecektir.

Sonuç olarak, Türkiye'nin deprem gerçeği karşısında yapı güvenliğini artırmak için yenilikçi güçlendirme yöntemlerinin kullanımının yaygınlaştırılması ve bu yöntemlerin tasarımına yönelik yönetmeliklerin güncellenmesi gerektiği vurgulanacaktır.

2. Literatür

Yapıların taşıyıcı sistem performansını artırmaya yönelik güçlendirme uygulamaları, literatürde geniş bir şekilde ele alınmaktadır. Bu çalışmalar genellikle, mevcut yapıların deprem gibi dış etkiler karşısındaki davranışlarını iyileştirme amacı taşımaktadır.

Konya ilinde bulunan 13. yüzyıla ait Zenburi Mescidi üzerinde yapılan bir çalışmada, yapının taşıyıcı sistem özellikleri, kullanılan yapı malzemeleri, mevcut hasarlar ve bu hasarlara yönelik onarım ve güçlendirme önerileri değerlendirilmiştir [4]. Benzer şekilde, [5] numaralı çalışmada bir yığma yapının öncelikle mevcut hali analiz edilmiş, ardından sırasıyla betonarme perde ile ve Cam Fiber Takviyeli Polimer (*Glass Fiber Reinforced Polymer-GFRP*) ile güçlendirilmiş halleri değerlendirilmiştir. Yapılan karşılaştırmalı analizlerde, betonarme perde uygulaması yer değiştirme değerlerinde yaklaşık 4 kat azalma sağlarken, GFRP uygulaması 1.5 katlık bir azalma ile sınırlı kalmıştır. Ayrıca betonarme perdelerin, yapı moment kapasitesine GFRP'ye kıyasla daha olumlu katkı sunduğu görülmüştür.

[6] numaralı çalışmada ise epoksi reçineli Fiber Takviyeli Polimer (*Fiber Reinforced Polymer-FRP*) uygulamasının etkisi hem deneysel hem analitik yöntemlerle incelenmiştir. Deneylerde, epoksili FRP ile güçlendirilmiş duvar örneğinin, düzlem dışı yükler karşısında %25 daha yüksek dayanım gösterdiği belirlenmiştir. [7] tarafından yürütülen çalışmada ise öncelikle yapı elemanlarının deprem benzeri yükler altındaki davranışları analiz edilmiş, ardından farklı güçlendirme yöntemlerinin yapı performansı üzerindeki etkileri deneysel veriler ışığında değerlendirilmiştir. Çalışmada örnek bir yapı, 2007 tarihli Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) kapsamında incelenmiş ve yetersiz deprem dayanımı tespit edilmiştir. Uygun güçlendirme yöntemi seçilerek doğrusal olmayan artımsal itme analizi gerçekleştirilmiş ve elde edilen kapasite eğrileri, Deplasman Katsayıları Yöntemi ile FEMA 356 ve DBYBHY-2007 performans kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

Alternatif güçlendirme yaklaşımlarından biri olan enerji sönümleyicilere yönelik çalışmalar da literatürde yer almaktadır. [8], kolon-kiriş birleşim bölgelerinde farklı şekil ve bağlantı tiplerinde 13 adet sismik sönümleyici kullanarak gerçekleştirdiği tam ölçekli deneylerde, sönümleyicilerin yük taşıma kapasiteleri, enerji tüketme performansları ve rijitlik özelliklerini karşılaştırmıştır. Öte yandan [9], çelik çaprazlarla desteklenen eğrisel sönümleyicili sistemler üzerine çalışarak %25.8 ila %36.65 oranında artan viskoz sönümleme etkisi elde etmiş ve bu sistemlerin yüksek deformasyon kapasitesi ile depreme dayanıklı tasarımlar için uygun olduğunu ileri sürmüştür.

Yerel bağlamda ise [10], Diyarbakır Suriçi Bölgesi'nde yer alan geleneksel yığma yapıların taşıyıcı

sistem özelliklerini ve hasarlarını incelemiş, bu yapılara özgü güçlendirme ve tamamlayıcı müdahale önerileri geliştirmiştir. Saha gözlemleri sonucunda güçlendirme öneri şemaları oluşturulmuş ve yerel mimari dokuya uygun müdahale yöntemleri sunulmuştur.

3.Yöntem

3.1. Yenilikçi güçlendirme yöntemleri

Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremler, Türkiye'nin güney ve güneydoğu bölgesindeki birçok yerleşim yerinde ciddi yapısal hasarlara neden olmuştur. Bu bağlamda, Diyarbakır ili de hem yapı stoku hem de kamu altyapısı açısından etkilenmiş ve güçlendirme uygulamalarının ivedilikle hayata geçirilmesi gerekmiştir. Bu çalışmada, Diyarbakır ilindeki iki farklı yapı örneği üzerinden geliştirilen biri tasarım uygulaması diğeri güçlendirme olmak üzere iki farklı yenilikçi yöntem ayrıntılı biçimde sunulularak hem yöntemlerin teknik yönleri açıklanmakta hem de benzer yapı stokları için uygulanabilirlikleri değerlendirilmektedir. Ele alınan iki uygulama şunlardır: i) Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde FRP ile güçlendirme ve ii) Diyarbakır Şehir Hastanesi'nde sismik izolatörlü yapı tasarımı ve uygulaması. Her iki örnek, hem deprem sonrası güçlendirme süreçleri hem de depreme dayanıklı yapı tasarımı için farklı teknolojik yaklaşımlar sunarak literatürdeki mühendislik uygulamalarına katkı sağlamaktadır.

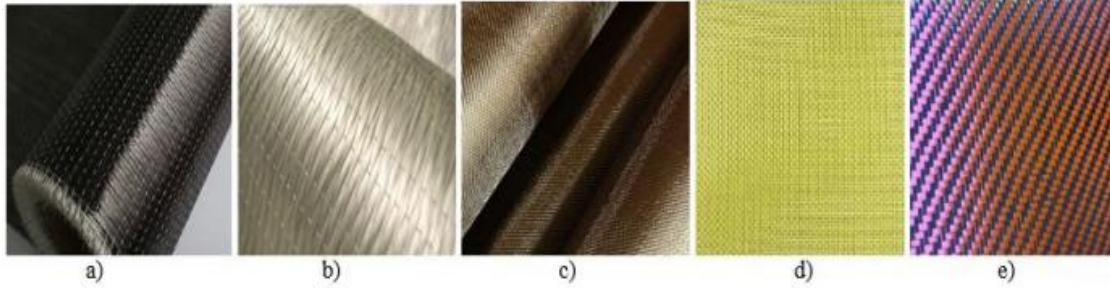
3.1.1. FRP ile güçlendirme: Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi örneği

Fiber Takviyeli Polimer (FRP), karbon, cam, aramid gibi yüksek dayanımlı liflerin polimer reçine ile birleştirilmesiyle oluşturulan kompozit bir malzemedir. Günümüzde ülkemizde yapıların güçlendirilmesinde en sık tercih edilen yöntemlerden biri haline gelmiştir. FRP sistemlerinin en önemli avantajları arasında hafiflik, yüksek çekme dayanımı, korozyona karşı direnç ve kolay uygulanabilirlik yer almaktadır. Ayrıca liflerin yönlendirilmesiyle istenilen doğrultuda mukavemet artırımı sağlanabilmektedir. Uzun ömürlü bir malzeme olan FRP'nin üretim süreci karmaşık olduğundan, maliyeti geleneksel güçlendirme yöntemlerine kıyasla daha yüksektir. Uygulama esnasında yapının kullanım dışı bırakılmasına gerek kalmaması, bu yöntemin özellikle eğitim ve sağlık yapılarında tercih edilmesinde önemli bir avantaj oluşturmaktadır.

FRP uygulamasında ilk olarak güçlendirilecek elemanın yüzeyindeki sıva kaldırılır ve yüzey pürüzsüz hale getirilir. Gerekli görülmesi durumunda yüzeye astar uygulanır. Daha sonra, uygun genişlikte kesilmiş FRP kumaş veya levhalar, epoksi bazlı yapıştırıcı yardımıyla elyaf yönüne paralel olarak yüzeye yapıştırılır. Bu yöntem, yapının kullanımda olduğu durumlarda dahi uygulanabilir; yapıdan tahliye edilmesine veya askıya alınmasına gerek duyulmaz.

Başlıca FRP türleri şunlardır: Karbon Elyaf Takviyeli Polimer (*Carbon Fiber Reinforced Polymer-CFRP*), Cam Elyaf Takviyeli Polimer (*Glass Fiber Reinforced Polymer-GFRP*), Bazalt Elyaf Takviyeli Polimer (*Basalt Fiber Reinforced Polymer-BFRP*), Aramid Elyaf Takviyeli Polimer (*Aramid Fiber Reinforced Polymer-HFRP*), Hibrit Elyaf Takviyeli Polimer (*Hybrid Fiber Reinforced Polymer-HFRP*). Şekil 2'de bu beş farklı FRP kompozit takviye türü görsel olarak sunulmuştur. Tablo 1 ve Tablo 2'de ise bu kompozit malzemelerin içeriğindeki liflerin temel

malzeme özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



Şekil 2. a) karbon elyaf (CFRP); b) cam elyaf(GFRP); c) bazalt elyaf (BFRP); d) aramid elyaf (AFRP); e) hibrit elyaf (HFRP) [11]

Tablo 1. Değişik türdeki FRP tiplerinin mekanik ve fiziksel özellikleri [11]

FRP türü	Birim hacim ağırlık ($g.m^{-3}$)	FRP kalınlık (mm)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)	Kopma miktarı (%)
BFRP[Ammar, 2014]	1500	-	1350	52	2,80
CFRP[Ammar, 2014]	1600	-	3600	580	1,90
BFRP[Banubayat v.d., 2013]	-	-	1100	70	2,20
HFRP[Gribniak v.d., 2017]	-	1,60	400	28	2,10
HFRP[Gribniak v.d., 2017]	-	1,60	218	28	0,85
CFRP[Koutas v.d., 2013]	200	0,115	3790	230	25,6
GFRP[Koutas v.d., 2013]	915	0,36	3240	72,4	-
CFRP[Al-Saidy v.d., 2010]	340	0,45	1548	89	1,74
CFRP[Adhikari v.d., 2009]	-	-	2068	124	1,70
GFRP[Adhikari v.d., 2009]	-	-	710	46,4	1,50
AFRP[Adhikari v.d., 2009]	1440	-	2800	123	2,00

Tablo 2. FRP kompozitlerinin tasarımındaki özelliklerinin karşılaştırması [11]

FRP kriterleri	FRP Türleri				
	CFRP	GFRP	AFRP	BFRP	HFRP
Çekme dayanımı	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	İyi	Çok iyi
Basınç dayanımı	Çok iyi	Yetersiz	İyi	İyi	Çok iyi
Elastisite modülü	Çok iyi	İyi	Yeterli	İyi	Çok iyi
Süneklik	Çok iyi	İyi	Yeterli	İyi	Çok iyi
Kırılma	Mükemmel	İyi	Yeterli	Yeterli	Mükemmel
Yoğunluk	İyi	Mükemmel	Yeterli	Yeterli	İyi
Alkali direnci	Çok iyi	İyi	Yetersiz	Mükemmel	Çok iyi
Maliyet	Pahalı	Ucuz	Pahalı	Normal	Pahalı

Bu çalışma kapsamında ilk güçlendirme örneği için; Diyarbakır ilinde yer alan ve depremden etkilenmiş yapılarda gerçekleştirilen iki farklı güçlendirme uygulamasından biri olan Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasında yapılan CFRP temelli güçlendirme çalışması ele alınmaktadır. Uygulamanın detaylandırılması yoluyla, bu tür müdahalelerin bölgesel ölçekte sağlayabileceği katkı ve örnek teşkil etme potansiyeli vurgulanmaktadır.

Deprem sonrası yapılan teknik incelemelerde, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'ne ait

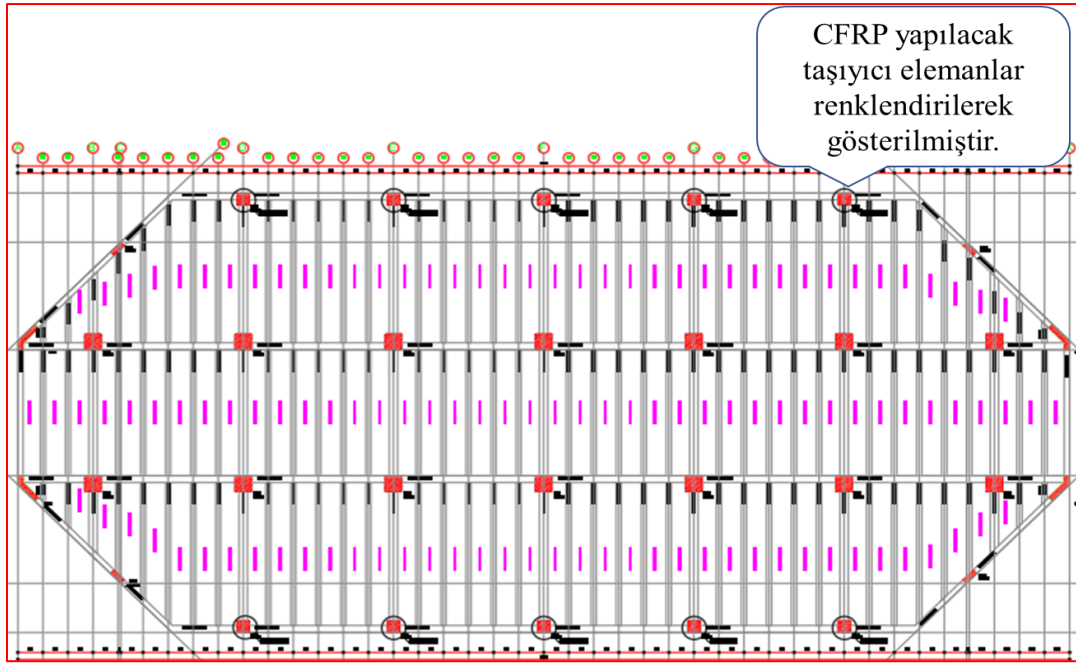
taşıyıcı sistem elemanlarında çeşitli hasarlar tespit edilmiştir. Bu hasarların özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Yapının deprem güvenliğinin artırılması ve gelecekte olası depremlere karşı dayanımının yükseltilmesi amacıyla Karbon Elyaf Takviyeli Polimer (CFRP) ile güçlendirme yönteminin uygulanmasına karar verilmiştir.

Uygulama süreci kapsamında ilk olarak betonarme yüzeylerin CFRP uygulamasına uygun hale getirilmesi için detaylı bir yüzey hazırlığı gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada yüzeydeki letans tabakası, boya, sıva, yağ ve diğer zayıf tabakalar mekanik taşıma veya kumlama yöntemleriyle temizlenmiş; minimum çekme dayanımı 1.5 N/mm^2 olan homojen bir yüzey elde edilmiştir. Köşeli kesitler, malzeme sürekliliği sağlanması ve yapışma kalitesinin artırılması için minimum 10 mm yarıçapla yuvarlatılmıştır. Güçlendirme işlemleri şu aşamalarla gerçekleştirilmiştir: FRP uygulama sahasında gerekli uzunlukta kesilmiştir. Epoksi esaslı reçine hem FRP'nin hem de beton yüzeyin üzerine ortalama 2 mm kalınlıkta uygulanmıştır. FRP uygun pozisyonda yerleştirilerek yüzeye yapıştırılmıştır. Yapışmanın tam olarak sağlanabilmesi ve yüzeyde hava boşluğu kalmaması için yüzey üzerinden rulo geçirilerek sabitleme yapılmıştır.

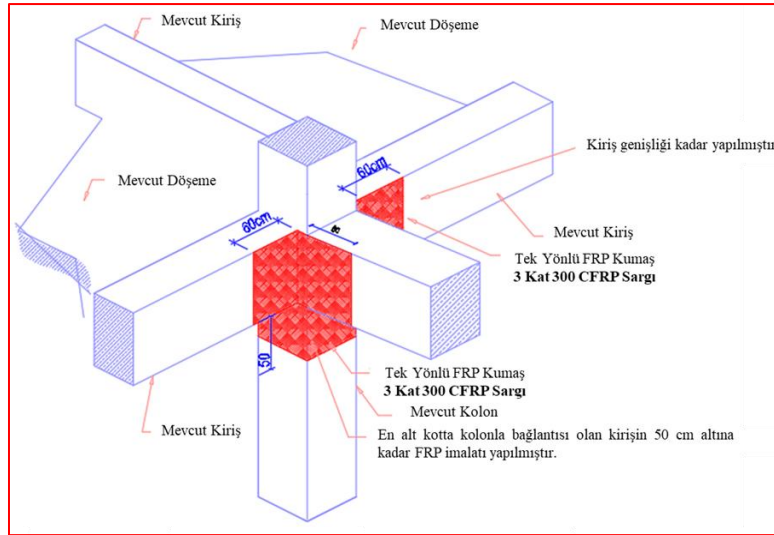
Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası, bodrum + zemin + 2 normal kat olmak üzere toplam üç katlı ve üç bloktan oluşmaktadır. Eğitim-öğretim faaliyetlerinin kesintiye uğramaması adına her blokta güçlendirme çalışmaları farklı tarihlerde başlatılmıştır. Taşıyıcı sistemde yer alan kolonlar genellikle $80 \times 80 \text{ cm}$, kirişler ise $35 \times 135 \text{ cm}$ boyutlarındadır. Güçlendirme uygulaması, her blokta 1., 2. ve 3. katlarda, özellikle Şekil 4'te gösterilen plan doğrultusunda 1 ve 6 akslarında bulunan köşe kolon-kiriş birleşim noktalarında yapılmıştır. Bu bölgelere üç katman hâlinde, 60 cm genişliğinde ve 300 gr/m^2 yoğunlukta CFRP ile sarma işlemi uygulanmıştır. Güçlendirme uygulamasına ilişkin yapısal detaylar Şekil 5 ve 6'da sunulmakta; saha uygulamalarının son aşamaları ise Şekil 7'de görsellerle desteklenerek verilmektedir. Bu uygulama, Mart 2024'te başlatılmış ve yaklaşık 9 aylık bir sürede tamamlanarak aynı yıl içerisinde yapının yeniden kullanıma açılması sağlanmıştır. Elde edilen deneyim, bölgedeki diğer yapılar için de benzer güçlendirme uygulamalarına yön verebilecek niteliktedir. Diyarbakır özelinde sunulan bu örnek, deprem sonrası müdahale sürecine katkı sağlayan başarılı bir mühendislik çözümü olarak dikkat çekmektedir.

3.2. Sismik izolatör ile güçlendirme: Diyarbakır Şehir Hastanesi örneği

Yapısal sismik izolasyon teknolojileri, özellikle kritik öneme sahip yapılarda (hastane, havaalanı, veri merkezi vb.) son yıllarda daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem, yapının temel ile doğrudan temasını izole ederek, yatay deprem hareketlerinin üst yapıya aktarımını sınırlamayı amaçlar. Böylece hem yapı elemanlarının hasar alma riski azaltılır hem de yapı içindeki işlevlerin kesintisiz devamı sağlanabilir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler (*Lead Rubber Bearings - LRB*) ve sürtünmeli kayıcı izolatörler (*Friction Pendulum Bearings - FPB*), sismik izolasyonda en çok tercih edilen iki sistemdir. Kauçuk malzeme düşeyde rijit, yatayda esnek davranış gösterirken; kurşun çekirdek plastik deformasyon ile enerji sönmlemesine katkı sağlar. Sürtünmeli sistemlerde ise yarıçaplı yüzeyde salınım yapan yapı elemanı, sürtünme kuvveti sayesinde enerjiyi sönmeler ve yapıya gelen kuvvetleri azaltır.



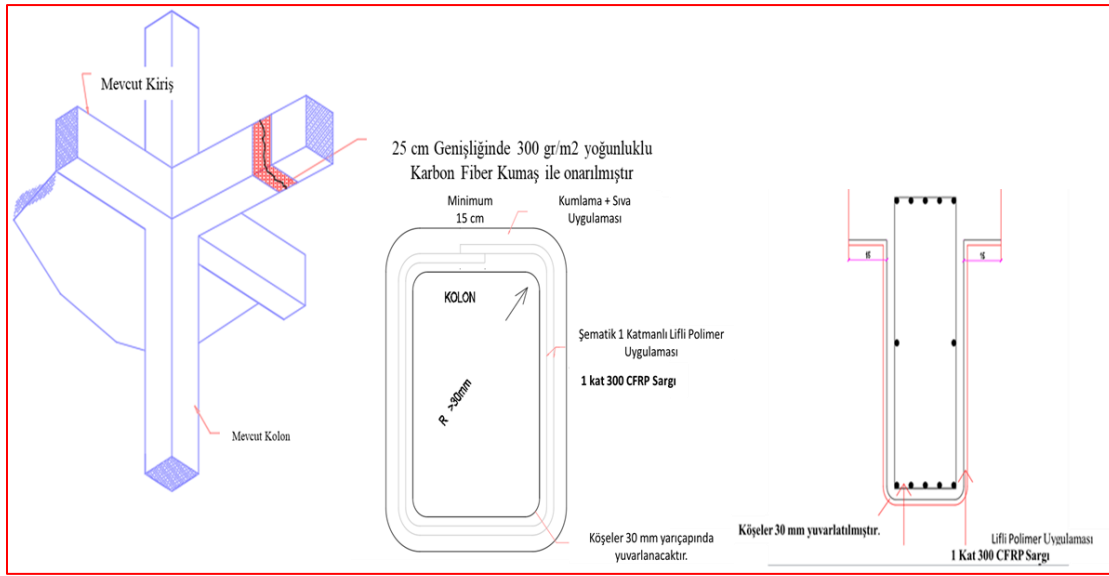
Şekil 4. D.Ü. Mühendislik Fakültesi Binası 1-2-3. kat planında CFRP yapılacak taşıyıcı elemanların gösterimi



Şekil 5. Kolon CFRP detayı

Diyarbakır'ın Kayapınar ilçesinde inşası süren Diyarbakır Şehir Hastanesi, 260000 m² kapalı alana sahip, yüksek kapasiteli bir sağlık yatırımdır. Bu yapının 1. derece deprem bölgesinde bulunması ve kesintisiz hizmet sunma zorunluluğu, projede sismik izolasyon sistemlerinin kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda proje kapsamında toplam 802 adet izolatör yerleştirilmiştir. Kullanılan izolatörler: i) Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler (LRB) ve ii) Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler (FPB) olarak iki ayrı gruba ayrılmış ve yapıdaki yerleşimleri detaylı mühendislik hesapları doğrultusunda yapılmıştır. Uygulama süreci şu sıralamayı takip etmiştir: Temel üstü seviyesinde tüm taşıyıcı sistemin davranış modeli oluşturularak, izolatör yerleşim planı

hazırlanmıştır. Farklı türdeki izolatörler, yapısal rijitlik, kütle ve sönüm oranlarına göre uygun noktalara yerleştirilmiştir. İzolatör üretimi ve kalite kontrol süreçleri eşzamanlı olarak yürütülmüş, saha montajı inşaat ilerleme hızına paralel gerçekleştirilmiştir. Şekil 8–9’da görülebileceği üzere, izolatör yerleşim şemaları ve sahadan alınan uygulama görselleri ile sistemin entegrasyonu başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu sistem sayesinde, olası bir depremde hastanenin işlevini yitirmeden hizmet vermeye devam etmesi hedeflenmektedir. Diyarbakır’daki bu büyük ölçekli uygulama, Türkiye’deki kamu binalarında sismik izolasyonun yaygınlaşması açısından da örnek teşkil etmektedir.



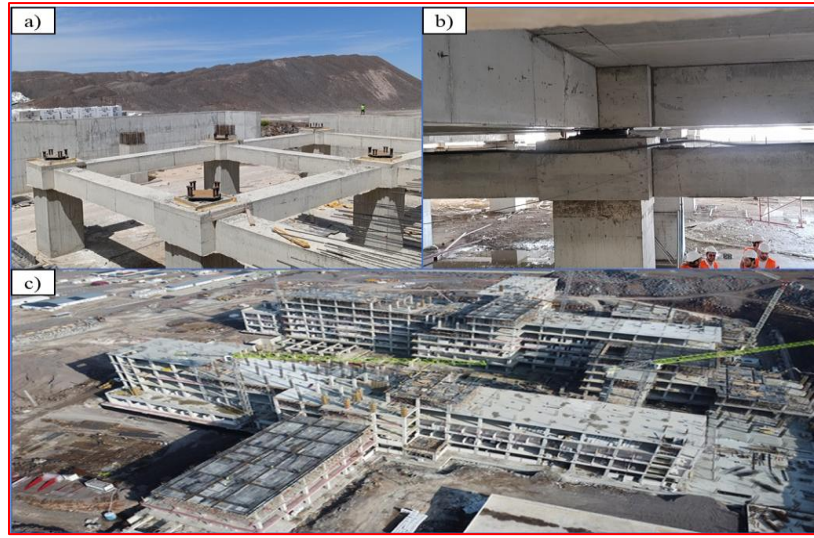
Şekil 6. Güçlendirme yapılacak kolon-kirişlerin CFRP detayları



Şekil 7. Birleşim noktalarında uygulanan CFRP işleminin son hali



Şekil 8. Diyarbakır Şehir Hastanesi kauçuk ile sürtünme esaslı sismik izolatörler ve montajı



Şekil 9. Diyarbakır Şehir Hastanesi'nde a) sürtünmeli kayıcı izolatör, b) kauçuk esaslı sismik izolatör uygulaması ve c) yapının genel görünümü

3.3. Değerlendirme

Bu iki örnek üzerinden yapılan analiz, Diyarbakır gibi çevresi yüksek sismik riske sahip bir ilde farklı yapı türleri için uygun güçlendirme sistemlerinin ve depreme dayanıklı yapı tasarımında sismik izolasyonun etkin biçimde uygulanabileceğini göstermektedir. Dicle Üniversitesi örneği, mevcut yapı stokunun hızlı ve etkili biçimde güçlendirilebileceğini ortaya koyarken; Diyarbakır Şehir Hastanesi ise yeni yapılarda sismik izolasyonun sunduğu ileri düzey sismik koruma olanaklarını gözler önüne sermektedir. Her iki uygulama da farklı ihtiyaçlara yönelik özelleştirilmiş mühendislik çözümleri sunarak, deprem sonrası dayanıklılık hedeflerine katkı sağlamaktadır.

Sonuçlar

Deprem kuşağında yer alan Türkiye gibi ülkelerde yapıların deprem güvenliğini sağlamak,

yalnızca yeni yapılan yapılar için değil, mevcut yapı stoğu açısından da hayati bir zorunluluktur. Bu doğrultuda, yapı performansının artırılmasına yönelik yenilikçi güçlendirme tekniklerinin geliştirilmesi ve uygulanması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, özellikle lifli polimer kompozitlerle (FRP) yapılan güçlendirme uygulamaları ile sismik izolatör sistemlerinin yeni yapılara entegrasyonu değerlendirilmiş; söz konusu tekniklerin bilimsel temelleri, uygulama süreçleri ve yerel örnekler üzerinden sunduğu katkılar detaylı olarak ele alınmıştır. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi yapısında gerçekleştirilen CFRP temelli güçlendirme uygulaması, bu yöntemin sahadaki uygulanabilirliğini ve yapısal performansa etkisini göstermesi bakımından dikkate değer bir örnek teşkil etmektedir. Uygulama sürecinde, yüzey hazırlığı, uygun epoksi seçimi ve lif yönlerinin mühendislik esaslarına göre belirlenmesi gibi unsurların sistem başarısında doğrudan etkili olduğu görülmüştür. Öte yandan, Diyarbakır Şehir Hastanesi'nde uygulanan sismik izolasyon sistemi, Türkiye'de büyük ölçekli kamu yatırımlarında bu teknolojinin yaygınlaşmasına yönelik önemli bir örnek sunmaktadır. Toplamda 802 adet sismik izolatör kullanılarak hem kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler hem de sürtünme esaslı kaymalı sistemler bir arada değerlendirilmiştir. Sismik izolatörler ile, taşıyıcı sistemin davranışının elastik sınırlar içinde kalması amaçlanmıştır; göreceli kat ötelemeleri önemli ölçüde sınırlandırılarak yapının deprem performansının istenen düzeyde kalacağı değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, Türkiye'de mevcut yapıların güçlendirilerek istenen deprem performansların sağlanmasının birçok bileşeni içeren çok boyutlu zorunlulukları vardır. Bu bağlamda, FRP ve sismik izolasyon gibi yenilikçi güçlendirme ve tasarım teknikleri; yapısal güvenliğin sağlanması, deprem sonrası iş sürekliliğinin korunması ve toplumun genel afet direncinin artırılması açısından stratejik öncelik taşımaktadır. Gelişen teknolojiler, performans ve dirençlilik analiz yöntemleri ve yönetmelik düzeyinde düzenlemelerle birlikte, bu tür uygulamaların kapsamı ve etkisi giderek artacak; böylece Türkiye'nin depreme dirençli şehirler vizyonuna somut katkılar sunacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında incelenen güçlendirme uygulamalarına ait saha görsellerinin temini sürecinde desteklerini esirgemeyen Gürbağ Group firmasına, Diyarbakır Şehir Hastanesi projesine ilişkin teknik inceleme ve bilgi paylaşımı konusundaki katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Ayrıca, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasında gerçekleştirilen CFRP temelli güçlendirme uygulamalarına dair teknik detayların paylaşımında bulunarak çalışmaya değerli katkılar sunan MS Grup Proje İnşaat firmasına da teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- [1] Ünal A. TDY 2007'ye göre tasarlanmamış betonarme çerçevelerin düzlem dışı perde duvarla güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2012.
- [2] Afet ve Acil Durum (AFAD) Yönetimi Başkanlığı. Türkiye deprem tehlike haritası. 2018. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi> linkinden 10.04.2025 tarihinde alınmıştır.

- [3] Resmî Gazete (RG). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), 2018.
- [4] Aşık FM. Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar için onarım ve güçlendirme teknikleri, Zenburi Mescidi'nin model analizi. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2018.
- [5] Öztaş V. Yığma yapıların güçlendirilmesi ve bir yığma yapı örneğinde güçlendirme analizi, 2009.
- [6] Çöğürücü MT. Yığma yapıların yatay derz güçlendirme yöntemiyle güçlendirilmesi, 2007.
- [7] Gürol KB. Deprem dayanımı yetersiz betonarme binaları güçlendirme yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 2007.
- [8] Köroğlu MA. Çelik çerçeve kolon kiriş birleşim bölgelerinde sismik sönümleyici kullanımı, 2012.
- [9] Hsu HL, Halim H. Brace performance with steel curved dampers and amplified deformation mechanisms, Engineering Structures, 175, 628-644, 2018.
- [10] Işık N. Geleneksel yığma yapılarda taşıyıcı sistem hasarları ve nedenlerinin tespiti ile güçlendirme ve tamamlayıcı müdahale önerileri; diyarbakır suriçi örneği. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- [11] Maras MM. Betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılan FRP kompozitin yapısal performansa etkisi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (23), 108-119, 2021