



Yığma Yapılarda Güçlendirme Tekniklerinin Koruma İlkeleri ile İlişkilendirilmesi ve Mardin Tarihi Dokusunda Değerlendirilmesi

İzzettin KUTLU^{1*}

¹Mardin Artuklu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Mardin, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 08/06/2024
Düzeltilme: 30/08/2024
Kabul: 14/11/2024

Anahtar Kelimeler

Tarihi yapı
Güçlendirme
Restorasyon
Mimari miras
Mardin

Article Info

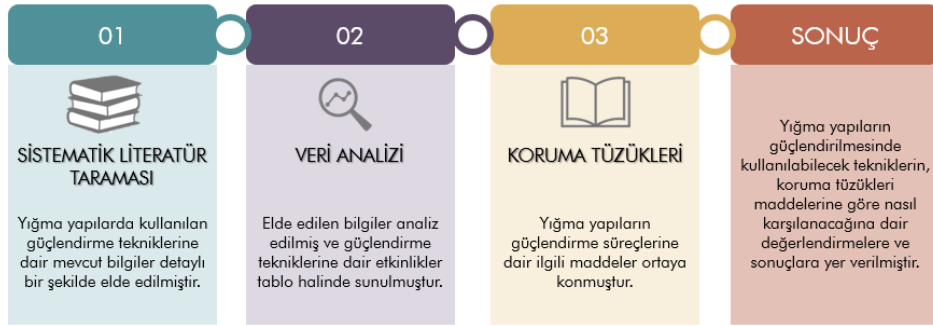
Research article
Received: 08/06/2024
Revision: 30/08/2024
Accepted: 14/11/2024

Keywords

Historical buildings
Retrofitting
Restoration
Architectural heritage
Mardin

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Çalışma, yığma yapılarda güçlendirme teknikleri ile ilgili kapsamlı literatür taramasını içermekte ve koruma ilkeleri ile ilişkilendirilerek Mardin tarihi kent dokusunda değerlendirmektedir. / The study includes a comprehensive literature review on retrofitting techniques in masonry buildings and evaluates them in relation to conservation principles in the historical urban heritage of Mardin.



Şekil A: Çalışmanın aşamaları / Figure A: Stages of study

Önemli noktalar (Highlights)

- Koruma ilkeleri ile güçlendirme yöntemleri arasındaki ilişki, özellikle yığma yapılardaki uygulamalarda karşılaşılan pratik zorlukları ve çözüm yolları bilimsel bir temelde irdelenmektedir. / The relations between conservation principles and retrofitting methods, especially the practical difficulties encountered in the applications of masonry buildings and their solutions were examined on a scientific basis.
- Mardin tarihi kent dokusunda yer alan ve güçlendirme stratejilerine ihtiyaç duyan yapılar örneklenilerek, bu yapıların korunmasına yönelik uygulanabilir yöntemler ortaya konmaktadır. / The buildings in the historical urban heritage of Mardin in need of retrofitting strategies were exemplified and applicable methods for the preservation of these buildings were provided.)
- Çalışma, yığma yapıların güçlendirilmesi ve tarihi çevrenin sürdürülebilir bir şekilde korunması için teorik bir altyapı ile uygulamaya yönelik rehber niteliğinde veriler sunmaktadır. / The study provides a theoretical background and practical guidance for the retrofitting of masonry structures and the sustainable preservation of the historical heritages.)

Amaç (Aim): Güçlendirme teknikleri ile koruma tüzükleri arasındaki ilişkiyi tespit etmek ve Mardin tarihi kent dokusunda güçlendirme stratejilerine ihtiyaç duyan yapıları belirlemek amaçlanmıştır. / It is aimed to determine the relationship between retrofitting techniques and conservation regulations and to identify the buildings in need of retrofitting strategies in the historical urban heritage of Mardin.

Özgünlük (Originality): Güçlendirme teknikleri ile koruma tüzüklerinde yer alan maddelerin ilişkilendirilmesi çalışmanın özgün değerini oluşturmaktadır. / The relation between retrofitting techniques and the articles in the conservation regulations constitutes the original value of the study.

Bulgular (Results): Tarihi yığma yapılarının güçlendirilmesinde teknolojik gelişmeler ile birlikte uygun müdahalelerin gerçekleştirilmesinin analiz ve deneyler ile mümkün olduğu belirlenmiştir. / It was determined that it is possible to realize appropriate interventions with technological developments in the retrofitting of historical masonry buildings through analysis and experiments.

Sonuç (Conclusion): Gelişen teknolojiyle çeşitlenen güçlendirme tekniklerinin, her zaman tarihi yapıların özgün dokusuyla uyumlu olmayabileceği sonucuna varılmıştır. / It was concluded that retrofitting techniques, which have increased with the developing technology, may not always be appropriate with the original character of the historical building.



Yığma Yapılarda Güçlendirme Tekniklerinin Koruma İlkeleri ile İlişkilendirilmesi ve Mardin Tarihi Dokusunda Değerlendirilmesi

İzzettin KUTLU^{1*}

¹Mardin Artuklu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Mardin, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 08/06/2024
Düzeltilme: 30/08/2024
Kabul: 14/11/2024

Anahtar Kelimeler

Tarihi yapı
Güçlendirme
Restorasyon
Mimari miras
Mardin

Öz

Tarihi yapılar, deprem, kuvvetli rüzgâr, patlama gibi güçlü dış yüklere karşı savunmasız olduğundan, son yıllarda yığma yapılar ve elemanları için farklı güçlendirme yaklaşımları geliştirilmiştir. Yapıya uygulanacak en uygun güçlendirme yöntemini belirlemek için her bir tekniğin avantaj ve dezavantajlarının kapsamlı biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, farklı güçlendirme yöntemlerinin karşılaştırılmasını ve etkinliklerinin değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Çalışmada sistematik literatür taraması, verilerin analizi ve koruma tüzüklerinin incelenmesi olmak üzere toplam 3 aşamalı bir metodoloji izlenmiştir. İlk aşamada, literatür taraması ile tarihi yapıların güçlendirilmesi konusunda ilgili önemli mevcut kaynaklara yer verilmiş ve önemli bir veri sunulmuştur. İkinci aşamada elde edilen sonuçlara ait veriler tablolaştırılmıştır. Son aşamada ise uluslararası koruma tüzükleri kapsamında geçen güçlendirme maddeleri ortaya konmuş ve tarihi yığma yapılara uygulanabilecek güçlendirme tekniklerinin değerlendirmelerine yer verilmiştir. Bu değerlendirmeler ile birlikte önemli kültürel miras eserlerine sahip Mardin'deki tarihi yapıların durumu analiz edilmiştir. Çalışmada, tarihi yığma yapılarının güçlendirilmesinde teknolojik gelişmeler ile birlikte uygun müdahalelerin gerçekleştirilmesinin analiz ve deneyler ile mümkün olduğu; Mardin tarihi dokusunda güçlendirme tekniklerine ihtiyaç duyulan birçok yığma yapı stoğunun var olduğu vurgulanmaktadır. Sonuç olarak, inşa edildiği döneme ait değerlerin nesiller arası aktarımında kritik öneme sahip olan mimari miras yapılarının gerektiği durumlarda uygun güçlendirme stratejileri ve projeler ile korunması büyük önem arz etmektedir.

Evaluation of Technical Approaches in the Retrofitting of Historical Buildings in association with Conservation Principles and Mardin's Historical Heritage

Article Info

Research article
Received: 08/06/2024
Revision: 30/08/2024
Accepted: 14/11/2024

Keywords

Historical buildings
Retrofitting
Restoration
Architectural heritage
Mardin

Abstract

Since historical buildings are vulnerable to strong external loads such as earthquakes, strong winds and explosions, different seismic retrofitting approaches have been developed and applied for masonry structures in recent years. This study aims to compare different retrofitting methods and to evaluate their effects and effectiveness. The study was based on a 3-stage methodology: systematic literature review, data analysis and examination of conservation regulations. Firstly, a literature review was conducted to analyse the existing literature on the retrofitting of historical buildings. In the second stage, the data of the results obtained were analysed in tables. In the last stage, the retrofitting articles within the scope of international conservation regulations are presented and the retrofitting techniques that can be applied to historical masonry structures. The condition of historical buildings possessing significant cultural heritage in Mardin was systematically analyzed. The study empirically demonstrated the feasibility of reinforcing historical masonry structures through appropriate interventions combined with technological advancements. Furthermore, it was emphasized that Mardin's historical heritage contains a substantial inventory of masonry buildings requiring retrofitting techniques. In conclusion, the development of reinforcement projects was deemed necessary for architectural heritage structures under threat of demolition.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde geçmişe kıyasla daha az sıklıkta inşa edilen yığma sistemli yapılar, mevcut bina stokunun

önemli bir kısmını oluşturmaktadır [1]. Genellikle yığma sistemli olarak inşa edilen kültürel miras yapıları da estetik, sosyal, arkeolojik, kültürel, ekonomik ve teknolojik değerler bağlamında

insanlık tarihinin gerçek bir hazinesi olarak görülmektedir. Bu yapılarda kullanılan inşa pratikleri, inşaat teknolojileri ve yerel malzemeler, günümüzün doğal afet tehlikelerine karşı oldukça savunmasız kalabilmektedir. Geçmiş deprem verilerinin de gösterdiği üzere, yığma yapılarda hasarlar ve can kayıpları meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, bu tür yapıların sismik ve aşırı yükler altında ayakta kalmasını sağlayacak güçlendirme çalışmaları kritik önem taşımaktadır. Geçmiş dönemlerde yığma yapılar yalnızca ampirik kurallara doğrultusunda inşa edilmiş ve sismik etkiler genellikle göz önünde bulundurulmamış veya hesaplamalar sonrası dikkate alınacak düzeyde teknolojik malzeme ortaya çıkmamıştır [2]. Bu durum, yığma yapılarda depremin neden olduğu sismik yüklere karşı yeterli mukavemete sahip olamamasına yol açmıştır. Yığma yapıların tamamının veya bazı elemanlarının, deprem etkilerinden kaynaklanan enerjiyi sönmüleyebilmeleri ve depremlerin neden olduğu kuvvetleri azaltabilmeleri için genellikle sismik etkiler öncesinde güçlendirilmesi gerekmektedir. Örneğin, L'Aquila depremi sonrası tarihi yapıların acil güçlendirme ve restorasyon çalışmalarında bu gereklilik açıkça gözlemlenmiştir [3]. L'Aquila'daki tarihi şehir merkezinde meydana gelen hasarların değerlendirilmesi, bu tür yapıların güçlendirilmesinin gerekliliğini bir kez daha vurgulamaktadır [4]. Mazzarella [5] çalışmasında da belirtildiği gibi, enerji verimliliği açısından yapılan güçlendirme çalışmaları, yığma yapılar üzerinde olumlu sonuçlar doğurmuştur. Yığma kubbeler gibi özel yapı elemanları üzerinde yapılan analizler, bu tür yapıların güçlendirilmesinin önemini ortaya koymaktadır [6]. Özellikle, San Giuliano di Puglia'daki kilisenin sismik onarım ve iyileştirilmesi üzerine gerçekleştirilen çalışmalar, yığma yapıların deprem dayanıklılığını artırmada kullanılan tekniklerin etkinliğini göstermektedir [7]. Benzer şekilde, genel olarak tarihi yapıların güçlendirilmesinde izlenen ilkeler ve yaklaşımlar, literatürde geniş yer bulmaktadır [8].

Teknolojik gelişmelerle birlikte, araştırmacılar yığma yapıların veya elemanlarının mekanik performansını güçlendirmek ve iyileştirmek için çeşitli yaklaşımlar geliştirmiş ve uygulamıştır. Örneğin, tarihi Şehzade Mehmet Camii'nin dinamik analizinde kullanılan sismik taban izolasyonu uygulaması, bu tür tekniklerin etkinliğini ortaya koymaktadır [10]. Benzer şekilde, kubbe yapı formlarının kenet ile güçlendirilmesi üzerine yapılan araştırmalar da bu alandaki yenilikçi yaklaşımların bir örneğidir [11]. Ancak, pek çok güçlendirme veya iyileştirme tekniği yalnızca bireysel yapı durumları üzerinde çalışılmıştır [12].

Örneğin, Kars Kümbet Camisi'nin deprem davranışını inceleyen çalışmalar, bu durumun spesifik bir örneğidir [13]. Seville Katedrali üzerine yapılan testler ve sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilen teşhis süreci, bu tekniklerin yalnızca belirli koşullarda uygulanabilir olduğunu göstermektedir [14]. L'Aquila havzasındaki doğrusal olmayan sismik tepkiler üzerine yapılan çalışmalarda da tarihi yapılarda yer alan malzeme ve yapı sistemlerinin farklılıklarının önemine dikkat çekilmiştir [15]. Bu durum, tüm tarihi yapılar için genel bir sonuç elde edilemeyeceğini, bireysel yapılar üzerinde elde edilen sonuçların genişletilemeyeceği ve farklı yerel malzemelere veya sistemlere sahip diğer durumlara doğrudan uygulanamayacağı anlamına gelmektedir. Farklı malzemelerden yapılmış yığma yapılarda güçlendirme veya iyileştirme yöntemleri farklı şekillerde sonuçlar doğurabilmektedir. Her malzemenin özgün özellikleri, tarihi yığma yapılarda standart bir model üretimini ve standart bir güçlendirme, koruma ve restorasyon stratejisini engellemektedir. Bu tür yapıların analizinde, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan simülasyonlar, farklı malzemelerin nasıl tepki verebileceğini göstermektedir [16]. Yığma yapıda yer alan tüm bölümler için aynı durum geçerlidir. Güçlendirilmiş/iyileştirilmiş yığma yapı elemanının, yapının tamamının özgün periyodunu değiştirebileceği, dolayısıyla deprem etkisi altındaki dinamik performansı da değiştirebilmektedir. Bu nedenle, güçlendirme/iyileştirme süreçlerinde yapının tamamının dikkate alınması daha doğru sonuçlar vermektedir. Bu tür yaklaşımların etkinliği, The International Scientific Committee on the Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage (ISCARSAH) tarafından da belirlenen prensiplerle uyumlu hale getirilmelidir. ISCARSAH'ın belirlediği kriterler, özellikle tarihi yapıların güçlendirilmesi ve korunmasında standartlaştırılmış bir model yerine, her yapının özgün özelliklerine ve malzemelerine göre özel çözümler geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır [17]. Bu gelişmeler sonucunda son yıllarda, sayısal simülasyon yöntemi yığma yapıların güçlendirme/iyileştirme araştırmalarında yaygınlaşmaya başlamıştır. Sayısal simülasyon, güçlü bir araç olarak kullanılabilen ve güçlendirme/iyileştirme verimliliği ile ilgili olarak yığma yapıların mekanik performansını analiz etmek için daha sık uygulanabilmektedir [18].

Yığma yapıların güçlendirilmesi için geliştirilen yöntemler, yapıların deprem, rüzgar, toprak basıncı gibi dış etkenlere karşı dayanımını arttırmayı amaçlamaktadır. Güçlendirme işlemleri genel

olarak dış yüklerin azaltılması, yapı elemanının güçlendirilmesi ve yapı bütünlüğünün güçlendirilmesi olmak üzere üç temel kavram üzerinde yoğunlaşmaktadır [18]. Dış kuvvetleri azaltmak, yapıya etki eden deprem, rüzgar, toprak basıncı vb. gibi dış yüklerin etkisini azaltmak için ek yapısal elemanlar eklenmesi veya yapının geometrisinde değişiklikler yapılmasını içermektedir. Mevcut elemanları güçlendirmek, yapının taşıyıcı sistemindeki beton duvarları, taşıyıcı ayaklar, hatıllar, kubbe vb. gibi elemanların dayanımının ve sünekliğinin artırılması için çeşitli güçlendirme teknikleri uygulanmasını kapsamaktadır. Yapının bütünlüğünü geliştirmek ise güçlendirme işlemlerinin yığma yapıdaki tüm taşıyıcı sistemin bütüncül bir davranış sergilemesini sağlamaktadır [19,20]. Literatürdeki çalışmalar, bu üç temel yaklaşımın farklı yöntemlerle uygulandığını ve yığma yapıların güçlendirilmesinde etkin sonuçlar verdiğini göstermektedir.

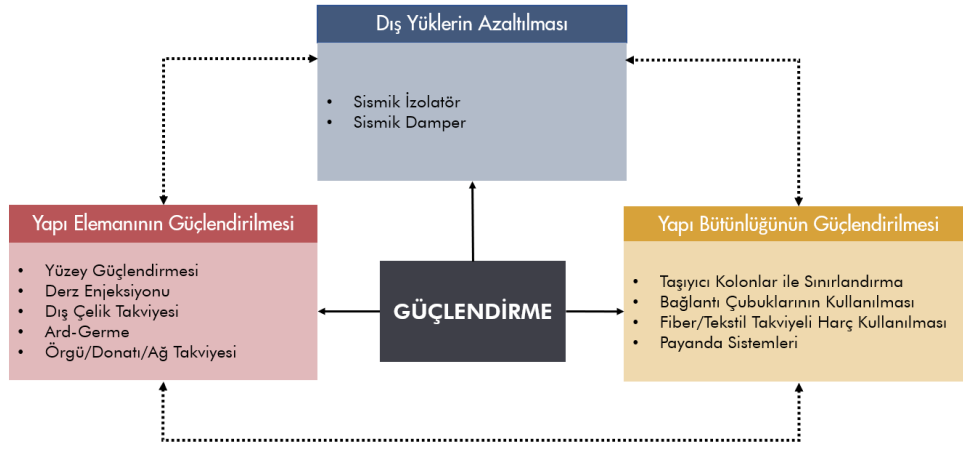
Bu çalışmanın amacı, tarihi yapılara yapılacak yapısal müdahalelerin hassas dengesini değerlendirmektir. Koruma ve müdahale arasındaki bu dengenin incelenmesi, güçlendirme sistemlerinin etkinliklerinin karşılaştırılmasını ve beraberinde mevcut tüzük ve yönetmeliklerde belirtilen güçlendirme ilkelerinin ele alınmasını gerektirmektedir. Çalışma, öncelikle tarihi yapılarda uygulanan güçlendirme tekniklerini ortaya koymaktadır. Bu süreç kapsamlı bir literatür taramasını ve günümüze kadar gerçekleştirilen deneysel çalışmalara yer vererek güçlendirme tekniklerinin detaylı analizini içermektedir. Beraberinde bu tekniklerin yapıda göstermiş olduğu etkiler tablolaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Tarihi yapılara uygulanacak müdahaleler öncesinde dikkat edilmesi gereken hususları içeren tüzük ve yönetmeliklerde, güçlendirme uygulamaları ile ilgili maddeler açığa çıkarılmıştır. Güçlendirme teknikleri ve maddeler arasındaki uygunluk durumuna dair değerlendirmelere yer verilmiş ve beraberinde Türkiye’de önemli bir kültürel miras bölgesi olan Mardin’de güçlendirme tekniklerine ihtiyaç duyan yapılar örneklendirilmiştir. Güçlendirme tekniklerinin maddeler ile uygunluk durumunun tespiti ve Mardin özelinde tartışmaya açılması, çalışmanın özgün değerini oluşturmaktadır. Özellikle Mardin gibi tarihi miras

değeri yüksek bölgelerde yer alan tarihi yapıların korunması ve yeniden kullanımı, mimarlık, mühendislik, sanat tarihi, arkeoloji gibi farklı disiplinlerin iş birliğini gerektirmektedir. Ancak bu disiplinler arasındaki iletişim ve eşgüdüm sıklıkla yetersiz kalmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma, tarihi yapılara yapılacak müdahalelerde uyulması gereken ilkelerin kapsamlı bir değerlendirmesini sunarak, koruma-müdahale dengesinin sağlanmasına yönelik bir çerçeve oluşturmayı hedeflemektedir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

Tarihi ve kültürel miras yapıları, inşa edildikleri dönemin kültürel, sosyal, tarihsel ve dini değerlerinin aktarımında kritik öneme sahiptir [21]. Bu nedenle, yıkılma tehlikesi altında bulunan bu tür mimari yapıların güçlendirilmesi ve korunması için kapsamlı restorasyon projelerinin geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Tarihi yapıların korunması, geçmiş ile günümüz arasındaki kültürel sürekliliğin ve kimliğin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır [22]. Dolayısıyla, bu tür mimari mirasın yapısal güçlendirilmesi ve restorasyonu, sürdürülebilir koruma çalışmaları arasında öncelikli konular arasında yer almalıdır.

Tarihi yığma yapıların güçlendirilmesinde, teknolojik gelişmeler ışığında çeşitli yeni teknik ve uygulamalar ortaya çıkmaya devam etmektedir. Bu kapsamdaki tüm yaklaşımların ortak amacı, kültürel ve tarihsel değerlerini barındıran geleneksel yapıların yıkımını engelleyerek, özgün mimarilerinin gelecek nesillere aktarılmasını sağlamaktır. Özellikle son yıllarda, deprem, ağır rüzgarlar, patlama gibi güçlü dış yükler karşısında savunmasız kalan bu yapılar için sismik güçlendirme yöntemleri geliştirilmiştir. İleri teknolojik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen güçlendirme projeleri, tarihi yapıların işlevselliğini ve güvenliğini artırırken, özgün mimari özelliklerinin de korunmasına olanak tanımaktadır. Çalışma kapsamında mevcut ve geliştirilmekte olan güçlendirme teknikleri, dış yüklerin azaltılması, yapı elemanının güçlendirilmesi ve yapı bütünlüğünün güçlendirilmesi olmak üzere üç temel kavramda ele alınmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Yığma yapıların güçlendirilmesinde temel üç kavram ve yöntemleri - Yazar tarafından oluşturulmuştur. (Three basic concepts and methods of retrofitting of masonry constructions - Created by the author.)

Çalışma 3 aşamalı bir sürecin ardından hedeflediği sonuca erişmektedir (Şekil 2). İlk aşama, yığma yapıların güçlendirilmesinde kullanılan tekniklere dair bir kavramsal alt yapının oluşturulmasıdır. Bu süreç, sistematik literatür taramasını içermektedir. Literatürdeki mevcut çalışmalar incelenmiş ve güçlendirme tekniklerine dair detaylı bilgiler sunulmuştur. İkinci aşamada ise elde edilen bilgiler analiz edilmiş, güçlendirme tekniklerinin etkinlikleri ortaya konmuştur. Her güçlendirme tekniği, yığma bir yapının strüktürel iyileştirmesine farklı etki etmektedir. Dolayısıyla bu teknikler arasındaki farkı sunmak amacıyla literatürdeki deneysel çalışmalar sonucu ile bir tablo oluşturulmuştur. Bu tablo, güçlendirme tekniklerinin uygulanacağı sırada nasıl bir etki oluşturacağına dair ön bilgi sunmaktadır. Son aşamada ise mimari miras yapılarına uygulanacak olan müdahalelerin, titizlikle ve yapının özgün durumuna zarar vermeden uygulanması gerektiğine

dair uyulması gereken uluslararası koruma tüzük ve ölçütlerinde yer alan güçlendirme maddelerine yer verilmektedir. Tüzükler içerisinde yer alan bu maddeler ayrıştırılarak tablo haline getirilmiştir. Bu aşamaların ardından, tarihi ve kültürel değeri olan bir yapıya uygulanacak güçlendirme tekniğinin, uygulanma sürecine ve tüzüklere uygun olup olmadığına dair değerlendirmelere yer verilmiştir. Değerlendirmeler kategorize edilmiş ve güçlendirme teknikleri ile tüzükler arasında değerlendirme noktaları oluşturulmuştur. Bu noktalar, hem tüzük maddeleri hem de güçlendirme teknikleri hakkında bilgi sahibi olma sürecini hızlandırmıştır. Beraberinde, uzun yıllardır farklı medeniyetlere ev sahipliği yapmış ve Anadolu'da birçok önemli eseri tarihi dokusunda barındıran Mardin kentinde, güçlendirmeye ihtiyaç duyduğu yapılan gözlemler ile belirlenen mimari miras eserleri tablo haline getirilerek tartışmaya açılmıştır.



Şekil 2. Çalışma aşamalarının temsili - Yazar tarafından oluşturulmuştur. (Representation of the stages of study - Created by the author.)

Çalışmada gerçekleştirilen bu aşamalar, tarihi yapıların güçlendirilmesinde kullanılan tekniklerin literatürde yer alan bilgilerin edinilmesini ve koruma tüzükleri bağlamında etkilerinin değerlendirilmesini sağlamıştır.

3. BULGULAR (RESULTS)

Tarihi yapıların korunması ve güçlendirilmesi için son yıllarda teknolojik gelişmelere paralel olarak çeşitli teknikler öne çıkmaktadır. Bu teknikler, dış yüklerin etkisinin azaltılması, yapısal elemanların güçlendirilmesi ve yapısal bütünlüğün

güçlendirilmesi olmak üzere üç ayrı başlıkta ele alınmıştır.

3.1. Dış Yüklerin Etkisini Azaltmak Amacıyla

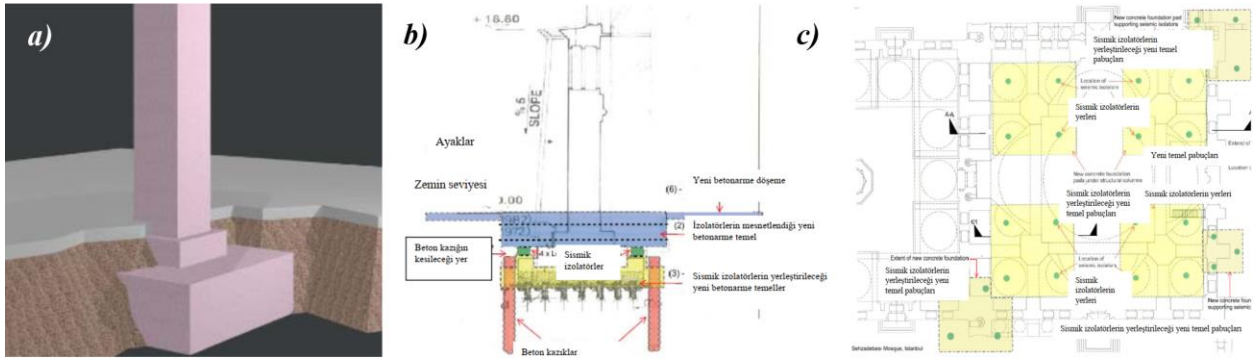
Güçlendirme (Retrofitting to Minimise the Effect of External Loads)

Deprem, yer kabuğu içinde biriken enerjinin ani olarak ortaya çıkması ile yer kabuğunda ötelenmelere neden olmaktadır. Bu ötelenmeler de enerjinin etkisi ile çok ani olmakta ve yapılarda şok etkisi yaratmaktadır. Yapı, yer kabuğundan ayrı bir kütle olması nedeni ile zeminde oluşan yer hareketine ters yönde yapı içerisinde atalet kuvvetleri oluşmaktadır [23]. Yapıda büyük hasarlara ve yıkımlara neden olabilecek atalet kuvvetlerine karşı yapılarda güçlendirme/iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır.

3.1.1. Sismik izolatör (Seismic isolator)

Sismik izolatörlerin (taban izolasyon sistemi), yığma yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde oldukça etkili bir strateji olduğu bilinmektedir. Bu yaklaşım, yapının temeli ile yapı arasına esnek ve hareketli bir sistem yerleştirilerek, deprem hareketlerinin yapı içerisine aktarılmasını engellemeyi hedefler [24-25]. Böylece, sismik izolatörler aracılığıyla deprem kuvvetlerinin etkisi büyük ölçüde azaltılabilmektedir [26]. Sismik izolatörler, yapısal elemanlara doğrudan müdahale edilmeksizin, temel seviyesinde bir güçlendirme sağlamaktadır [27]. Tarihi bir yapıda sismik izolatörlerin yerleştirilmesi, yeni inşa edilen

betonarme ve karkas sistemli yapılarda olduğu kadar basit bir süreci içermemekte ve özenle planlanmış adımlar gerektirmektedir. Soyluk [28] çalışmasında Şehzade Mehmet Cami için bu sürecin nasıl uygulanabileceğine dair süreci detaylandırmıştır. İlk olarak, mevcut yapının temel sistemine zarar vermemek amacıyla fil ayaklarının çevresinde yer alan tabliye kaldırılmaktadır (Şekil 3a). Bu işlem, izolatör uygulama sürecinde gerçekleştirilecek temel işlemlerinin kolaylıkla yapılabilmesi için gereklidir. Ardından, mevcut temeller sondajla delinerek fore kazıklar yerleştirilmektedir ve böylece temel zemine güvenli bir şekilde sabitlenmektedir (Şekil 3b). Bu adımları takiben, fil ayaklarının çevresinde sismik izolatör ölçüleri referans alınarak kare planlı çukurlar açılmakta ve mevcut taş temele yatay delikler açılarak beton bilezikler dökülmektedir. Bu beton bilezikler, ardgermeli kablolar ile taş temele bağlanarak eski ve yeni malzemenin birlikte çalışması sağlanmaktadır. Beton bileziklerin altı kazılıp mevcut temel kaldırıldıktan sonra, sismik izolatörlerin yerleştirilmesi için yeni betonarme temel pabuçları yerleştirilmektedir (Şekil 3c). Kurşun kauçuk mesnetler bu pabuçlar üzerine yerleştirilmekte ve yük güvenli alınması için öngerme yapılmaktadır. Son olarak, sismik izolatörlerin işlevini yerine getirebilmesi için cami çevresinde 30 cm'lik sismik boşluklar oluşturulmaktadır. Bu işlemler, yapının tarihi karakterini koruyarak çağdaş malzemeler ile tarihi yapıların sismik güvenlik tedbirlerinin entegrasyonunu sağlamaktadır.



Şekil 3. Tarihi yapılarda sismik izolatör uygulaması Şehzade Mehmet Cami örneği - a) Tabliyenin kaldırılma işlemi, b) Temel kesiti, c) Yeni temeller üzerinde izolatörlerin yerleştirme planı [28].
(Seismic isolator application in historical buildings Şehzade Mehmet Mosque example - a) Removal of the slab, b) Foundation section, c) Installation of isolators on new foundations [28].)

Taban izolasyon sistemlerinin çalışma prensibi üstyapı ile temel arasında yanıl rijitliği düşük elemanlar koyarak deprem nedeniyle oluşan deplasmanların temel ile üst yapı arasında olmasını sağlamak ve binaya ankastre temelli periyodundan ve deprem hareketinden daha büyük bir periyod vermektir [28]. De Luca vd. [29] deneyleri sonucunda, izolatörlerle takviye edilen bir duvar

parçasının, dış etkilere karşı 2,8 ile 24 kat daha küçük bir yer değiştirme yaşadığı ve kuvvetlerin, ankastre temele kıyasla 1,5 ile 15 kat azaldığını tespit etmiştir.

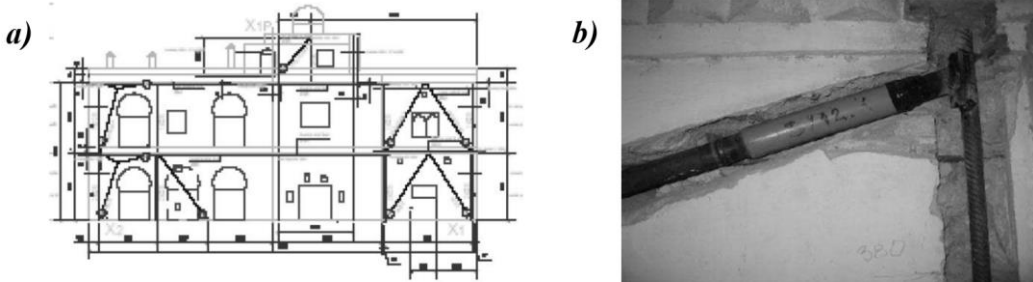
Sismik izolatörler, özellikle yapının orijinal görünümünü koruyabildiği ve görünmeyen bölgelerde müdahaleler gerçekleştirildiği için tarihi

yapılarda uygun bir güçlendirme stratejisi olarak tercih edilebilmektedir [30]. Ancak, bu tekniği mevcut bina altında uygulamanın günümüzde kolay bir yöntemi bulunmamaktadır. Taban izolasyon sistemi genellikle, yapıda oluşabilecek sismik yüklere direnmek için maksimum kapasitenin kullanıldığı bir teknik olarak görülmektedir [31]. Seki, vd. [32], lamine kauçuk ve amortisörü birlikte kullanan taban izolasyon teknolojisini kullanarak eski bir yığma şapel binasına güçlendirme uygulamıştır ve bu tekniğin sismik yüklenmeye karşı koyabilmesi ile birlikte tarihi yapının mimari özelliğini de koruyabileceği görülmüştür. Soyuk ve Tuna [10] yaptığı çalışmada, tarihi Şehzade Mehmet Cami'nde sismik taban izolatör uygulamasının dinamik davranışı önemli ölçüde iyileştirdiği sonucuna varmış ve ayrıca tarihi yapılarda orijinal dokuyu bozmadan güçlendirmenin sismik izolatörlerle sağlanabileceğine değinmişlerdir. Nanda, vd. [33], taban izolatör sistemi kullanılarak güçlendirilmiş yığma yapının, geleneksel ankastre taban yapısına kıyasla ivmelerinde %50'lik bir azalmaya sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Tomažević, vd. [34], bu tekniğin tek başına iyileştirilmesinin yeterli olmadığı durumlarda diğer takviye malzemeleri ile kombinasyon halinde uygulanmasının da sismik davranışı büyük ölçüde iyileştirdiği sonucuna ulaşmıştır. Sismik izolatörler sadece yığma binalara değil, aynı zamanda kule, taç kapı gibi yapısal olmayan ağır monolitik nesnelere de

uygulanabilmektedir. Chiozzi, Simoni ve Tralli [35], İtalya-Ferrara'da yığma sistemli şehir kapısında sismik izolatör deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sismik izolatörlerin en verimli uygulaması, inşası daha kolay olacağından yeni inşa edilen bina üzerinde olmaktadır. Bu teknik, tarihi yığma yapılarda özgünlüğü koruyabildiği için uygun olsa da, mekanik uygulama işi hem çok zahmetli hem de tüm yapıya müdahale gerektiren bir durumdur.

3.1.2. Sismik damper (Seismic damper)

Sismik damper, yapılarda depremin neden olacağı enerjiyi dağıtmak için kullanılan mekanik bir araçtır [36]. Deprem sırasında sismik enerji, damperler aracılığı ile alt yapıdan üst yapıya iletilmektedir. Enerjinin bir kısmı damperler tarafından emilerek dağıtılmaktadır (Şekil 4a-b). Bu durum sonucunda bina içerisinde deprem kuvveti sönümlenmektedir [37]. Damper ilk olarak yüksek binalarda rüzgar etkilerine karşı koymak için kullanılmıştır [38]. Daha sonra zamanla deprem etkilerine karşı yapılara entegre edilmiştir. Oldukça farklı tipte sismik damperler geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Sismik damperlerin kullanımı, sismik kırılma eğilimi önemli ölçüde azaltabilmektedir [39]. Günümüze kadar, sismik sönümleyicilerin uygulamalarının çoğu, yerleştirilmeye uygun olduğu için karkas yapı sistemleri üzerinde gerçekleştirilmiş, yığma binalar için az sayıda araştırma mevcuttur.



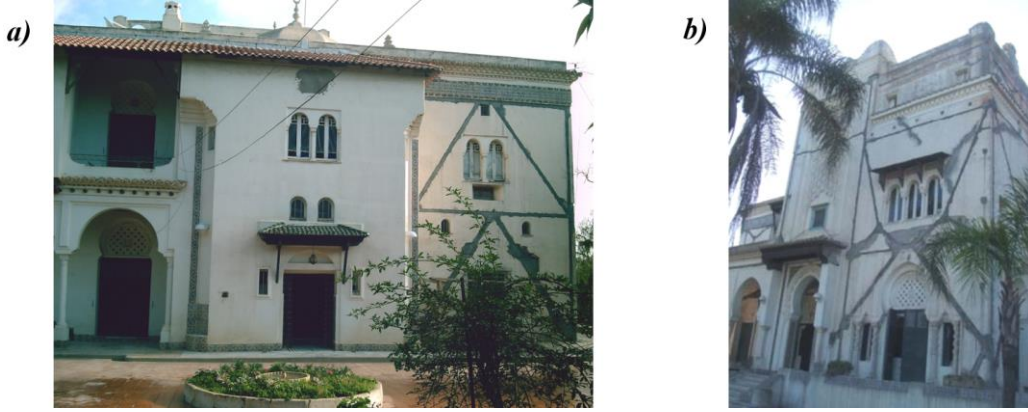
Şekil 4. Sismik damper - a) Şematik kesit çizimi, b) Uygulama bağlantı detayı [40]. (Seismic damper - a) Schematic section drawing, b) Application joint detail [40].)

Longarini ve Zucca [41], ayarlı kütle damperleri (Tuned Mass Damper-TMD) kullanarak tarihi bir yapıdaki sismik tepkiye iyileştirme teknikleri geliştirmiş ve tarihi yapının, gerilim, taban kesme ve üst yer değiştirme değerlerinin iyileştiğini tespit etmişlerdir. Benedetti [42], bu tekniği taş yığma yapıları güçlendirmek için önermiş ve önemli strüktürel iyileşmeler sağladığını belirlemiştir. Sismik damper ile güçlendirme, yığma binalarda fazla tadilat-yıkım ve uzun inşaat süreleri gerektirmektedir (Şekil 5a-b). Bu nedenle, ek sönümleme ve sertlik damperleri (Added Damping and Stiffness-ADAS) olarak adlandırılan alternatif bir damper önermiştir ve ADAS damperleri ile

donatılmış yeni dış beton duvarların yapıya eklenmesiyle oluşturulan bu sistem ile yığma yapıya müdahaleler mümkün olduğunca azaltılmıştır. Ayrıca Gocevski ve Petraskovic [43], çelik destek ve sismik damperlerin bir kombinasyonunu kullanarak yığma yapılar için bir model önerisinde bulunmuştur. Yapılan analizler sonucunda, damperlerin büyük miktarda sismik enerji yaydığını ve aşırı deformasyon ve çatlakları önlediği gözlenmiştir. Bununla birlikte, sismik damperin verimli olması için büyük deformasyonlar gerektirmesi ve yığma yapıların rijit özelliğe sahip olması nedeniyle bu tekniğin yığma yapılar için verimli olmayabileceğini savunan araştırmalar da

bulunmaktadır [44]. Günümüzde, daha önce de değinildiği üzere sismik damperler çerçevesi

yapıların güçlendirilmesinde daha yaygın olarak kullanılmaktadır [45].



Şekil 5. Sismik damper ile güçlendirilen Cezayir'deki bir yığma yapının görünümü - a) Güneybatı cephesi, b) Kuzeydoğu cephesi [40]. (Views of a masonry building in Algeria retrofitted with a seismic damper - a) South-west facade, b) North-east facade [40].)

3.2. Yapı Elemanını Güçlendirme (Retrofitting the Building Element)

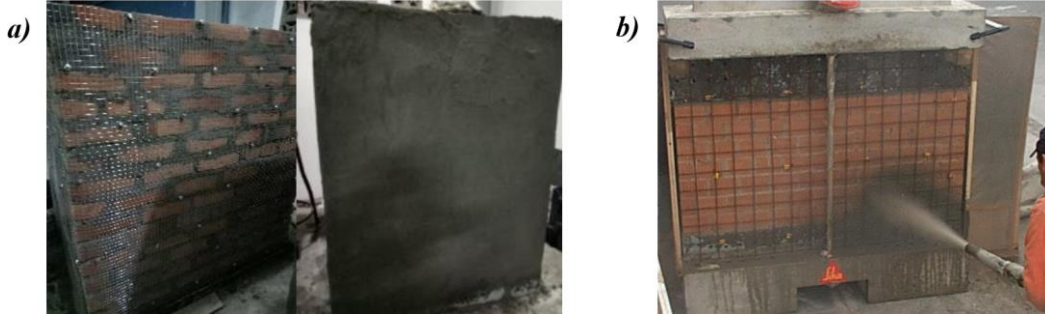
Yığma yapı sistemlerinde güçlendirme gerektiren temel strüktürel elemanlar arasında düşey taşıyıcılar, eğri akslı elemanlar, geçiş bölgeleri, destek sistemleri ve örtü elemanları yer almaktadır. Bu tür yapısal bileşenlerin mukavemet kapasitelerinin artırılması, yığma yapının tüm yük taşıma performansını iyileştirmektedir [46]. Böylece, yapının beklenmedik dış yükler karşısındaki direnç kabiliyeti de yükselmiş olmaktadır. Günümüzde, yığma yapıların güçlendirilmesinde, söz konusu yapısal elemanların mukavemet ve dayanım özelliklerinin artırılmasına yönelik teknikler diğer güçlendirme yaklaşımlarına kıyasla daha yaygın olarak tercih edilmektedir [47]. Bu durum, bu tür güçlendirme müdahalelerinin etkinliği ve uygulanabilirliği açısından genel kabul gördüğünü göstermektedir.

3.2.1. Yüzey güçlendirmesi (Surface retrofitting)

Genel yüzey güçlendirme işlemi, takviye malzemelerinin orijinal yapıya tutturulması, harç veya çelik bağlantılar kullanılarak birbirine bağlanması ile sağlanmaktadır [48]. Yüzey işlemede en sık kullanılan yaklaşım püskürtme beton (shotcrete) ve ferro-cement uygulamalarıdır. Ferro-cement genellikle sık aralıklarla serilmiş, sürekli ve küçük çaplı tel örgülerle donatılmış çimento harcından oluşan ince kesitli bir betonarme çeşididir (Şekil 6a) [18,49]. Püskürtme beton, yığma duvarın yüzeyine monte edilmiş bir tel örgü üzerine püskürtme beton püskürtülerek

uygulanmaktadır (Şekil 6b). Genellikle müdahale kalınlığı 7 cm ile 15 cm arasında değişmektedir. Püskürtme betonunun uygulanmasından önce, hasarlı tuğlaların çıkarılması ve boşlukların doldurulması gerekmektedir [50]. Karantoni ve Fardis [51], her iki yüzeydeki püskürtme beton müdahalesinin, duvar gerilimini ortalama % 50 azaltabildiğini, tek taraflı püskürtme beton kaplamanın ise gerilimi yaklaşık üçte bir azalttığını tespit etmiştir. Augenti, Nanni ve Parisi [52], uygulanacak duvar yüzeyinin pürüzlülüğü de güçlendirme işleminin etkinliğini belirlemede önemli bir rol oynadığını ve hasar almış veya bozulmuş kısımların çıkarılmasından sonra uygulanacak yığma duvar yüzeyi özellikle pürüzlü ise püskürtme betonun güçlendirmesi daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Ferro-cement, yüksek mukavemetli (15-30MPa) bir çimento harcı tabakasına (10-15mm kalınlık) gömülü yakın aralıklı çok sayıda tel örgü katmanlarından oluşmaktadır [53]. Ferro-cementin mekanik özellikleri, örgü özelliklerine bağlıdır. Bunun nedeni müdahale sırasında uygulanan tel örgü, çatlama ve hasar anından sonra duvar ünitelerini sınırlayarak düzlem içi elastik olmayan deformasyon kapasitesini arttırmasıdır. Abrams ve Lynch [54] tarafından yapılan deneyde, bu güçlendirme tekniği ile düzlem içi yanıl yüklerle karşı direncin yaklaşık olarak %150 arttığı görülmüştür. Kadam, Singh ve Li [55], yığma duvarın uzun yönüne yapılacak olan sadece %0,29 takviyenin, duvarın düzlem dışı yönde mukavemetini 10 kattan fazla arttırabileceğini tespit etmiştir.



Şekil 6. Yığma duvar yüzeyine güçlendirme uygulamaları - a) Ferro-cement uygulaması [56], b) Püskürtme beton uygulaması [50]. (Retrofitting applications on masonry wall surface - a) Ferro-cement [56], b) Shotcrete [50].)

Genel olarak, yüzey işleme yöntemi, duvar yapısının mukavemetine ve rijitliğine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Ayrıca, her iki uygulama türünde de yığma duvarın yükseklik/derinlik oranı değişmekte ve bu değişiklik sayesinde duvarın düzlem içi yanıl direnci ve düzlem dışı stabilitesi de artabilmektedir [57]. Düşey taşıyıcı elemanlar için daha uygun olan bu güçlendirme tekniğinin, uygulamada çok fazla zaman harcanması ve özgün görünümüne zarar vermesi gibi dezavantajları bulunmaktadır. Dolayısı ile bu tekniğin kültürel değere sahip yığma yapı duvarlarında güçlendirilmesi kimi zaman uygun karşılanmamaktadır.

3.2.2. Derz enjeksiyonu (Grout injection)

Yığma yapı sistemlerinde, bazı durumlarda kagir birimlerin güçlendirilmesine ihtiyaç duyulmazken, harç bağlayıcısının zayıf, parçalanmış veya tamamen kaybolması, duvarın genel stabilitesini tehlikeye atabilmektedir [58]. Bu nedenle, hasar görmüş harcın daha yüksek mukavemet sağlayan yeni bağlayıcı malzemelerle değiştirilmesi veya onarılması gerekmektedir [59]. Bu kapsamda, derz enjeksiyonu yöntemi yığma yapıların güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [60]. Bu teknikte, bozulmuş derz bölgeleri, özel enjeksiyon malzemeleri ile doldurulmaktadır (Şekil 7). Böylece, duvarın davranışı ve bütünlüğü

yeniden sağlanarak, yapının genel mukavemet kapasitesi artırılmaktadır.

Derz enjeksiyonu, derz aralıklarında bulunan boşlukları ve çatlakları doldurarak gerçekleştirilmektedir. Çok dar çatlaklardan büyük boşluklara kadar değişen boşlukları doldurmak için çeşitli harç türleri geliştirilmiştir. Bu tekniğin, duvarın rijitliğini ve mukavemetini özgün durumuna getirmede etkili olduğu, ancak özgün rijitlik veya mukavemet özelliklerinde önemli bir gelişme sağlayamadığı tespit edilmiştir. Harç malzemesi daha yüksek mukavemetli bir malzeme ile değiştirilebilse de, iyileştirmenin özgün durumunda önemli bir gelişime katkı sağlamadığı ve harca %2 sıradan Portland çimentosu eklenmesinin nihai hızlanma direncinde çok az veya hiç fark yaratmadığı belirlenmiştir [62]. Bununla birlikte, bu tekniğin etkinliği, diğer tekniklerle birlikte kullanıldığında artırılabilir. Tinazzi vd. [63], FRP çubukları ile yığma yapı üzerinde derz enjeksiyonu tekniğini birleştirerek çalışma yürütülmüş ve sonuçlar, FRP laminatları ile birlikte derz enjeksiyonu tekniğinin kullanılmasının en etkili güçlendirme tekniklerinden biri olduğunu göstermiştir. Bu yaklaşımın, ancak derz karışımında kullanılan malzemelerin mekanik özelliği ve takviye edilecek duvar ile fiziksel ve kimyasal uyumluluğu sağlandığı koşullarda yapının strüktürel sistemine katkı sağlayacağına dikkat edilmesi gerekmektedir.



Şekil 7. Tuğla yığma duvar üzerinde derz enjeksiyonunun yapılması [61]. (Grouting on a brick masonry wall [61].)

Yığma yapıların güçlendirilmesinde özgün görünümün yanı sıra fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler açısından uyumluluğun korunması da önemli konulardandır [64]. Bu durum öncelikle yığma yapının özgün durumunun güçlendirme müdahaleleri sonrası da görünümünü koruması gerekirken; aynı zamanda, kullanılan malzemelerin fizikokimyasal ve mekanik performans açısından da yığma yapı malzemesi ile iyi bir uyumluluğa sahip olması gerektiği anlamını taşımaktadır. Uyumsuz güçlendirme materyallerinin kullanımı, çürüme mekanizmalarını başlatabilmekte ve yığma yapıda büyük zararlara yol açabilmektedir [65]. Bu nedenle, derz enjeksiyonlarında, yığma yapının uzun vadeli dayanıklılığını sağlamak için uyumluluk değerlendirmesi yapılması ve malzeme analiz/deneyleri sonucu müdahalelerin uygulanması gerekmektedir. Apostolopoulou vd. [66], derz enjeksiyonu sırasında malzeme seçimi için kırılma analizi ile ilgili metodolojik bir yaklaşım sunmuş ve belirlenen uyumluluk ve performans gerekliliğine uyan optimum harcın seçimi, güçlendirme malzemelerinin karakterizasyonu ve yığma yapının malzeme araştırılması sırasında ortaya çıkan gereksinimler belirlenerek gerçekleştirilmiştir. Pusat [67], farklı oranlarda hazırlanan harç numuneleri üzerinde yapılan çeşitli deneylerle, hangi karışım oranlarının mukavemet, fiziksel ve estetik olarak ihtiyaca cevap verebilecek nitelikte olacağını ele almış ve güçlendirilecek binanın mevcut harç bileşimlerine en yakın özellikte yeni malzemelerin kullanılması gerektiği sonucuna varmıştır. Akbulut [68], hazırladığı doktora tezinde yer verdiği deneyler sonucunda farklı iklim şartları için tarihi yapıların onarımında kullanılabilir harç karışımları önermiş ve yığma yapının malzeme özellikleri ile beraber bulunduğu coğrafi konumun da yapılacak olan müdahalelerde etkisinin olduğunu göstermiştir. Derz enjeksiyonu ile gerçekleştirilen güçlendirme tekniğinde, yığma yapıların standardize edilemeyen özelliklerinden dolayı, belirli bir formül veya sistem bulunmamaktadır. Her yığma yapı için farklı analizler yapılmalı, dönemin şartları değerlendirilmeli ve en uygun malzeme kullanılmalıdır.

3.2.3. Dış çelik takviyesi (External steel retrofitting)

Dış çelik takviye uygulaması, birbirine zayıf bağlanabilen veya bağlanamayan özgün yığma yapı elemanlarının arasına çelik elemanlar yerleştirilerek birlikte davranmasını sağlamaktadır. Yığma yapılara etkiyen yükler sonrasında küçük çatlaklar meydana gelebilmektedir ve bu çatlaklar, yapının yük taşıma kapasitesini aşması durumunda genişleyerek taşıyıcı sistemde büyük hasarlara

neden olabilmektedir. Buna karşılık güçlendirilen yığma yapılarda dış çelik takviyesi, çatlamanın yayılmasına ve genişlemesine engel olmaktadır [69,70]. Bu gibi durumlarda, dış yük takviye edilen çelik sistem tarafından taşınırken, özgün kagir sistem yük taşımak yerine yapısal bir eleman olarak çalıştırılmaktadır. Taghdi [71], çelik elemanların doğrudan yığma yapı duvarına tutturulmasıyla bir araştırma yapmıştır ve sonuçlar, güçlendirilmiş duvarın düzlem içi yönündeki yanal mukavemetinin yaklaşık 4,5 kat arttığını göstermiştir. Çeliğin mekanik özellikleri sayesinde etkili bir güçlendirme malzemesi olduğu için bir yapının yük direncini arttırmada etkili olmaktadır. Bu nedenle, bu yaklaşım zayıf yığma yapılar veya önemli ölçüde iyileştirilmesi gereken yapılar için tercih edilmektedir. Ancak çeliğin görünümü yığma yapının özgün görünüşüne uygun bir yenileme yaklaşımı olarak görülmemektedir. Ayrıca, yüksek maliyeti nedeniyle de çok sık tercih edilmemektedir.

3.2.4. Ard-germe (Post-tensioning)

Ardgerilmeli güçlendirme yönteminde, yapının yanal yüke dirençli çerçevesinin mukavemetini ve sünekliğini iyileştirmek amacıyla ön gerilmeli takviyeler yerleştirilmektedir [69,72]. Bu yöntem, duvar yüzeyi içinden bir delik açılması ve deliğe öngerilmeli takviyenin dikey olarak yerleştirilmesiyle gerçekleştirilmektedir (Şekil 8). İşlem sonucunda yapıya etkiyen basınç kuvveti, yığma duvarda oluşan gerilme kuvvetine karşı koyabilen ve böylece yük taşıma kapasitesini artıran ön gerilmeli takviye tarafından karşılanmaktadır [73]. Amiraslanzadeh vd. [74] çalışmalarında gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda, ardgerme yöntemi ile yığma duvarların yanal yük direncinin iki katına çıkarılabileceğini göstermişlerdir. Al-Manaseer ve Neis [75] çalışmalarında, ardgerme yöntemi ile güçlendirilen bir yığma yapı duvarının eğilme dayanımını analiz etmek için deneyler gerçekleştirmiş ve ardgerme çeliklerin, yığma duvarın sünekliğini arttırmadığı ancak mukavemet ve rijitlik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Korkmaz vd. [76] çalışmalarında, farklı konfigürasyonlarda uygulanmış elastik şeritlerle ard-germe yönteminin kullanılabilirliğini tespit etmek amacı ile 1:10 ölçekli maket yığma yapıları, artan ivmeler altında OTDÜ laboratuvarlarında test etmiş ve yatay şeritlerle yapılan güçlendirme sonucunda dayanımı %70, düşey şeritlerle yapılan güçlendirme sonucunda %40, hem yatay hem de düşey şeritlerle yapılan güçlendirme sonucunda %110 artış olduğunu belirlemişlerdir.



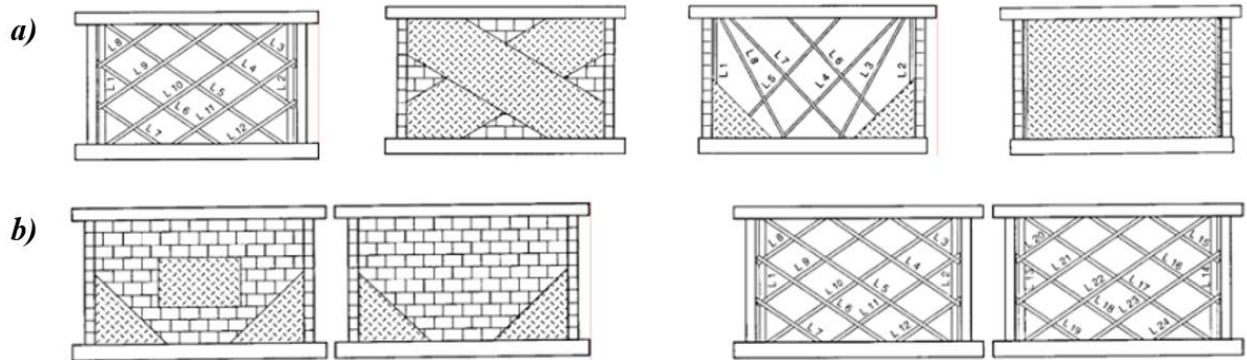
Şekil 8. Ardgerme tekniğinin uygulanması [74]. (Implementation of the post-tensioning technique [74].)

3.2.5. Örgü-donati-ağ takviyesi (Knit-ribbing-mesh retrofitting)

Fiber Takviyeli Polimer (Fiber Reinforced Polymer – FRP), yığma sistemli yapıları güçlendirmek için en sık kullanılan ağ takviyesidir. FRP kompoziti ilk olarak mevcut beton yapıları güçlendirmek için kullanılmıştır. Zamanla yığma ve ahşap sistemli yapılara da uygulanmış ve kapsamlı bir şekilde incelenmiştir [77]. Genel olarak, FRP kompozitleri kullanılarak yığma duvarlarının güçlendirilmesi, duvar yüzeyinin mukavemetini yaklaşık 1.1 ile 3 kat arttırabilmektedir. Elgawady vd. [78], karbon fiber ile güçlendirilmiş duvar yüzeyi üzerinde bir analiz yaparak yüzey direncinin %13-84 oranında geliştirilebileceğini bulmuştur. Mahmood ve Ingham [79], FRP'nin yığma binaların kayma direncini 3.25 kat arttırdığı tespit edilmiştir. Valluzzi, Tinazzi ve Modena [47] çalışmalarında, farklı konfigürasyonlarda FRP'nin etkinliğini araştırmak için ızgara düzenlemesi ve çapraz şeritler oluşturmuş ve takviye malzemesinin asimetrik uygulanmasının, yığma duvarların kesme

direncinin iyileştirilmesinde etkili olmadığı belirtilmiştir (Şekil 9a-b). Tarihi yığma yapılarda yer alan kemerlerin güçlendirilmesinde kullanılan FRP uygulamaları, özellikle hasarlı kemerlerin taşıma kapasitesini arttırmada etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda, hasar görmüş kemerlerin farklı FRP teknikleriyle güçlendirilmesi sonucunda, bu yapı elemanlarının yük taşıma kapasitelerinde önemli iyileşmeler sağlandığı gözlemlenmiştir. Örneğin, Fırat ve Eren [80] çeşitli FRP uygulamalarının, hasarlı kemerlerin taşıma kapasitesini %58'e varan oranlarda artırdığı tespit edilmiştir. Bal ve Şimşek [12] çalışmalarında farklı FRP uygulamalarının yığma yapılarıdaki performans etkileri analiz edilmiş ve projeye özgü uygulama örnekleri sunulmuştur.

Bu bağlamda, FRP'nin yüksek mukavemet, esneklik ve hafiflik gibi özellikleri sayesinde, tarihi yapıların zarar görmeden güçlendirilmesi mümkün kılınmıştır [81]. Bu çalışmalar FRP'nin tarihi yapılar üzerindeki etkinliğini göstermesi açısından önemli bir bulgudur.



Şekil 9. FRP uygulamalarının temsili - a) Yığma duvarın tek yönüne uygulanan örnek FRP takviyesi, b) Yığma duvarın iki yönüne uygulanan örnek FRP takviyesi [78]. (Representation of FRP applications - a) Sample FRP applied to one side of masonry wall, b) Sample FRP applied to two sides of masonry wall [78].)

FRP farklı güçlendirme ve iyileştirme malzemeleriyle kombinasyon halinde uygulanabilmektedir (Şekil 10). Saleem vd. [82], FRP ve Polipropilen (PP) bandının birleşik kullanımının, tekil kullanımlarından çok daha üst

performans sergilediği tespit etmiş ve FRP ile güçlendirilen duvarlarda, FRP'nin duvar yüzeyinden ayrılmamasının önemli bir rol oynadığını belirtmiştir.

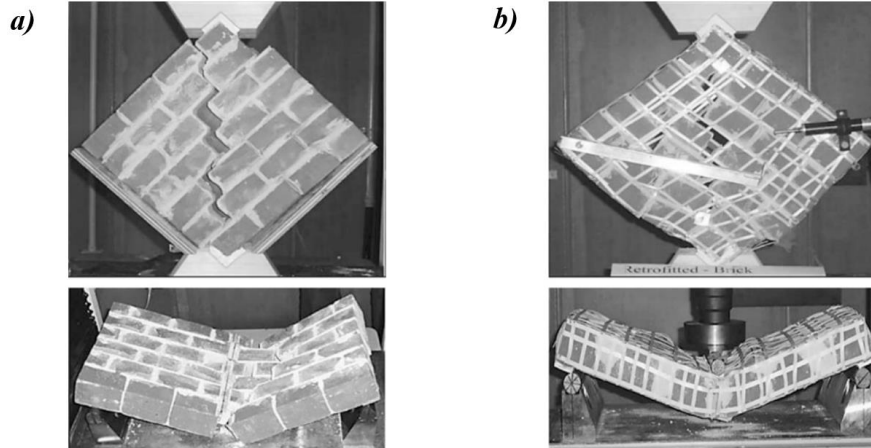


Şekil 10. FRP + PP-bant güçlendirilmesinin prototip bir ev modeli üzerinde farklı görünüşleri [82].
(Different views of FRP + PP-band retrofitting on a prototype house model [82].)

FRP malzemesinin maliyeti, güçlendirme yaklaşımlarının seçiminde maliyet açısından endişe kaynağı olan çelikten dahi yaklaşık olarak 5 ile 10 kat daha pahalıdır [83]. Ayrıca, bazı deneysel çalışmalarda FRP malzemelerinin özelliği ve performansı, özellikle uzun vadeli davranışları tam olarak anlaşılmamıştır [18]. Dahası, FRP normalde yığma duvar yüzeyine şeritlerin veya tabakaların harici olarak tutturulmasıyla uygulanır ve dolayısı ile su geçirmez bir bariyer oluşturabilmektedir. FRP kompozitleri ile güçlendirme uygulamasında epoksi bazlı yapıştırma malzemesi kullanılması, FRP takviyesinden alınacak verimde azalmaya neden olmaktadır [57]. Maliyetinin fazla olması durumlarda FRP yerine, PP bant veya bambu ağlar alternatif olarak kullanılabilir.

PP bant, Japonya'da uygun maliyetli bir güçlendirme yaklaşımı olarak tanıtılan ve önemli uzama kapasitesine sahip yapı malzemesidir. Sathiparan vd. [84], güçlendirilmiş ve

güçlendirilmemiş duvarlar üzerinde test yaparak PP bant ağı ile güçlendirilmiş duvar yüzeyinde, çatlakların oluşmasından sonra daha yüksek mukavemet sağladığını göstermiştir. Macabuag vd. [85], PP bant tekniğini Nepal kırsalında kerpiç duvar üzerine uygulamış ve bu güçlendirme yaklaşımının, malzeme kaybını önlemede ve duvar bütünlüğünü korumada yardımcı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 11a-b). Bu yaklaşım, düşük mukavemetli yığma yapılar ve elemanları için uygun olabilmektedir. Yüksek mukavemetli kagir yapılarda uygulandığında, etkinliğinin azaldığı görülmüştür [85]. Meguro vd. [86], bambu bant ağları kullanarak bir kerpiç evin güçlendirilmesi üzerine bir araştırma yapmış ve güçlendirilmiş kerpiç evin, güçlendirilmeyen örneğe göre iki kat daha fazla dayanıklılık gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Güçlendirilecek yığma yapının türüne göre PP-bant ve bambu ağları kullanımı, düşük maliyet ve kolay erişilebilirlik özellikleri sayesinde avantaj sağlayabilmektedir.



Şekil 11. PP bant deney görünüşleri - a) PP bant uygulanmayan eleman, b) PP bant uygulanan eleman [84]. (PP band test views - a) wall without PP banding, b) wall with PP banding [84].)

Carozzi vd. [87], ağ takviyesi uygulamalarının sadece düşey yığma elemanların güçlendirilmesinde etkili olmakla kalmadığını, tonoz ve kemerler gibi yatay elemanların güçlendirilmesinde de önemli ölçüde etkili olduğunu, farklı kompozitlerle güçlendirilmiş

(Tekstil Takviyeli Harç-TRM, Çelik Takviyeli Harç-SRG ve FRP) yığma kemer ve tonozlarda da etkili sonuçlar alındığını deneysel sonuçlar ile göstermişlerdir. Anania, Badalà ve D'Agata [86], yığma tonozlarda karbon fiber takviyeli polimer (Carbon Fiber Reinforced Polymer - CFRP) ile de

güçlendirme deneyleri gerçekleştirmiş ve etkili sonuçlara ulaşmışlardır. Yığma tonozlar ve kemerler üzerinde güçlendirme/iyileştirme hakkında yapılan araştırmalarda, kemerlerin iç ve dış kısımlarında karbon takviyeli polimerler kullanılarak yapılan güçlendirme tekniğinin birçok tekniğe kıyasla etkili olduğu sonucuna varılmıştır [89,90]. Polimer takviyeli lifler, tonozları ve kemerleri güçlendirmek için en yaygın olarak kullanılanlar olmasına rağmen, kırılğan davranışı ve su buharı geçirgenliğinin az olması gibi yığma yapıların korunmasında istenilmeyen dezavantajları da bulunmaktadır [91].

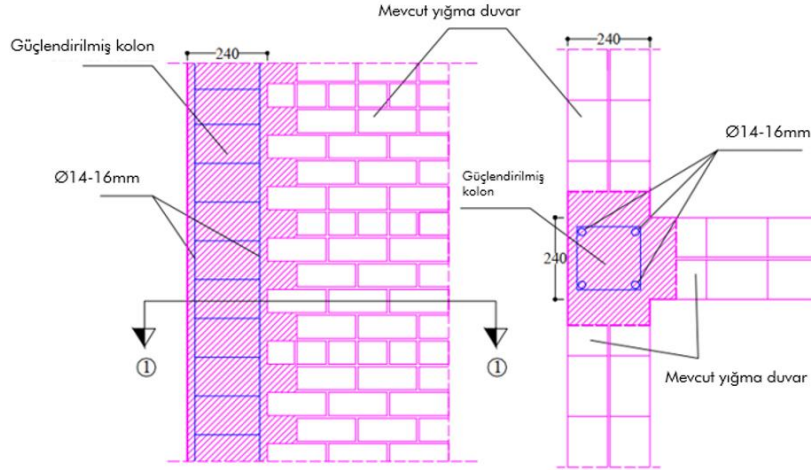
3.3. Yapısal Güçlendirme (Structural Retrofitting)

Yığma yapı sistemlerinde, hasar yoğunluğunun yüksek olduğu durumlarda, sadece belirli yapısal elemanların güçlendirilmesi yeterli olmayabilir. Bu tür hallerde, yapının bütünsel davranışını ve genel mukavemet kapasitesini iyileştirmek için kapsamlı güçlendirme stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir [92]. Özellikle yığma yapılarda, lokal müdahaleler yerine, yapısal bütünlüğü

sağlayacak ve sistemin tümüne etki edecek güçlendirme önerileri önem kazanmaktadır [93]. Bu yaklaşım, yapının güvenlik ve kullanılabilirlik performansının artırılmasına yönelik bütüncül çözümler sunmaktadır.

3.3.1. Taşıyıcı kolonlar ile sınırlama (Confinement with load-bearing columns)

Söz konusu güçlendirme tekniği, yığma yapının köşe bölgelerinde, duvar birleşim noktalarında ve ayrıca kapı-pencere açıklıklarının çevrelerinde yapısal kolonlar içermektedir [53]. Bu kolonların kirişlerle ilişkilendirilmesi, yapının bütünlüğünü daha belirgin bir şekilde artırmaktadır (Şekil 12). Hem kolonlar hem de kirişler, yığma yapının aynı kat seviyesindeki sınırlandırılmasını sağlamaktadır. Bu güçlendirme yaklaşımı, yığma yapıların düzlem dışı ve düzlem içi dayanımını/direncini artırmayı hedeflemektedir. Yapılan deneysel çalışmalar, bu tekniğin yanal yük direncini yaklaşık 1,5 kat artırdığını ve yanal deformasyonları %50 oranında iyileştirdiğini göstermiştir [94].



Şekil 12. Yeni kolonların tuğla duvarlı bir yığma yapıya yerleştirilmesi [53]. (Installation of new columns in a masonry building with brick walls [53].)

Bu tekniğin mevcut yığma binalarda uygulanması zor ve maliyetli olmaktadır ancak yeni inşa edilen yığma sistemli yapılar için yapının bütünlüğünü garanti edebilme özelliği nedeniyle kullanılması tavsiye edilmektedir.

3.3.2. Bağlantı çubuklarının kullanılması

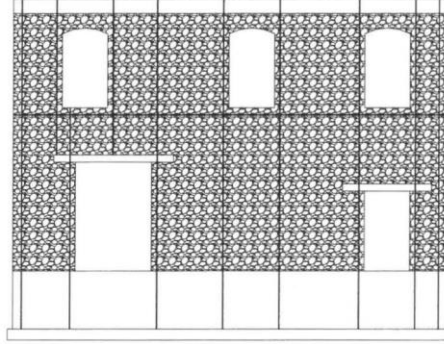
(Confinement with load-bearing columns)

Yığma yapıların bütünlüğünü ve elemanlar arası koordinasyonu artırmak amacıyla, bağlantı çubukları da güçlendirme yöntemleri arasında yer almaktadır [95]. Bu çubukların işlevi, yığma duvarların basınç dayanımını iyileştirmektir. Bu açıdan, bağlantı çubukları tekniği, ön-germe yöntemine benzerlik göstermektedir [96]. Temeli düzensiz oturmuş veya eğimli binalarda, bağlantı

çubukları, yapının dengesizlik gösterdiği kısımları özgün seviyesine geri getirmek için de kullanılabilir. Deneysel çalışmalar, dikey çelik bağlantı çubuklarıyla güçlendirilmiş yığma duvar panellerinin, hem mukavemet hem de süneklik açısından sismik kapasitesinin önemli ölçüde artırıldığını göstermiştir (Şekil 13) [97,98]. Ancak, çubukların korozyona karşı korunması için dikkatlice yüzey işlemi yapılması gerekmektedir. Metal bağlantı (gergi, kenet vb.) çubukları, özellikle büyük ölçekli ve karmaşık tarihi yapılarda, yapısal stabiliteyi sağlamak ve mevcut çatlakları kontrol altına almak amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistemlerin farklı türleri, yapıların özelliklerine ve güçlendirme ihtiyaçlarına göre çeşitlilik göstermektedir. Gergi çubuk bağlantı

sistemleri (tie-rod connection), doğrudan bağlantılar, ankraj sistemleri, ve çelik levhalarla desteklenen kombinasyonlar olarak sınıflandırılabilir. Doğrudan bağlantılar, daha küçük ve basit yapılarda tercih edilirken, ankraj

sistemleri, büyük ve karmaşık yapılarda daha geniş alanları kapsayacak şekilde kullanılmaktadır. Çelik levhalarla desteklenen sistemler ise, zayıf bölgelerde ekstra mukavemet sağlamak amacıyla uygulanır.



Şekil 13. Metal bağlantı çubuklarının bir yığma duvara yerleştirilmesi [98]. (Fitting metal tie rods into a masonry wall [98].)

Ural vd. [99] tarihi yığma kemerlerde hasar görmüş gergi çubuklarının yenilenmesi için beş farklı teknik deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Sonuç olarak, bazı tekniklerin yapıların stabilitesini önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir. Tanrıverdi ve Yavuz [100] yığma duvarlarda kullanılan kenetlerin daldırma derinliklerinin yapısal davranışa etkileri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Sonuç olarak, kenet derinliğinin artırılmasının yük taşıma kapasitesini en az %10,53 oranında artırdığı, ancak çok derin kenetlerin kapasiteyi azaltabileceği belirlenmiştir. Benzer bir şekilde Çelik vd. [101] yapılan analizler sonucunda kenet batma noktası ile taş kenarı arasındaki mesafenin kritik bir rol oynadığını göstermiştir. Ural vd. [102] ise çalışmalarında elde edilen verilerden varılan temel sonuç: kenet ve zıvana ile yapılan uygulamaların, yığma yapıların ana taşıyıcı elemanı olan duvarların kayma dayanımını yüksek oranlarda artırdığı, normal şartlarda yapılan bu uygulamaların yapının deprem performansını artıracağını göstermektedir. Yapılan çalışmalar, metal bağlantı elemanları ile (gergi, kenet vb.) sistemlerinin, yapıların stabilizasyonu ve çatlak kontrolü üzerinde belirgin bir olumlu etkisi olduğunu göstermektedir.

3.3.3. Fiber/tekstil takviyeli harçlar (Use of fibre/textile reinforced mortars)

Yığma yapılarda, harcın genel olarak çekme mukavemeti zayıf olduğundan, bu elemanın çekme ve eğilme dayanımının, basınç dayanımına kıyasla genellikle ihmal edilmektedir. Buna karşın, fiber/tekstil katkılı harç kullanımı, gerilme ve eğilme direncini geliştirerek, yığma sistemin bütünlüğünü artırabilmektedir [46]. Harcın lif/tekstil ilaveleri, bu malzemenin çekme mukavemetini iyileştirmektedir. Nitekim, yığma tuğla duvarlarının, sıva ve hibrit cam elyafları ile güçlendirildiği çalışmalarda, panellerin sadece düzlem dışı yöndeki hasarının önlenmekle kalmayıp, aynı zamanda düzlem içi hasar oranlarının da azaldığı gözlenmiştir [103]. Benzer şekilde, Martins vd. [104], Tekstil Takviyeli Harç (TRM) tekniğini kullanarak, tuğla yığma duvarlarda hem düzlem dışı mukavemetin hem de sünekliğin artırılabilirliğini göstermiştir (Şekil 14). Bununla birlikte bu teknik ile yığma yapıda gözlemlenecek olan bütünsel iyileşme, yukarıda bahsedilen yöntemler kadar etkili olmayacağına dikkat edilmelidir. Ayrıca bu teknik, derz enjeksiyon yaklaşımlarına benzerlik göstermektedir.

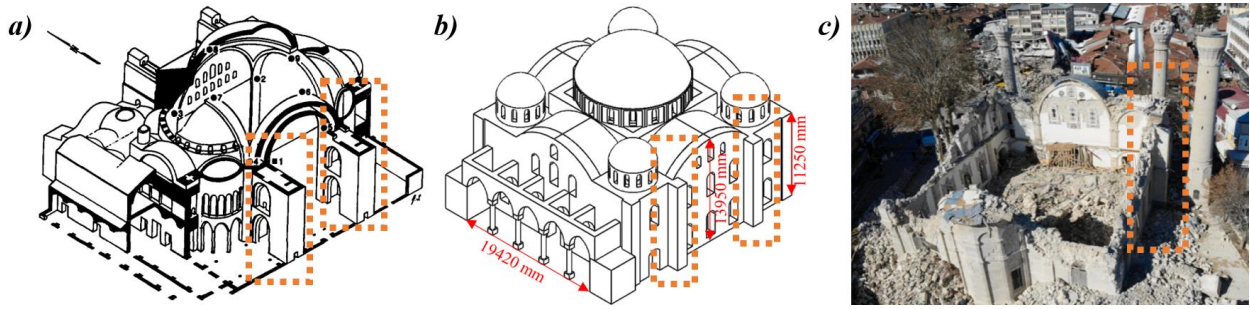


Şekil 14. Deneysel için hazırlanan duvarların yapımı ve TRM filesi uygulaması [104]. (Construction of walls prepared for the experiment and application of TRM mesh [104].)

3.3.4. Payanda Sistemi (Masonry Buttress Supports)

Tarihi yapıların güçlendirilmesinde kullanılan etkili yöntemlerden biri, yapının dış duvarlarına uygulanan payanda sistemidir. Bu sistem, özellikle büyük ölçekli ve ağır yapılar için kritik öneme sahiptir. Ayasofya Camii, bu tekniğin en başarılı örneklerinden biridir. Ayasofya'nın inşasında kullanılan payandalar, yapının büyük kubbesini ve ana duvarlarını destekleyerek, yapı üzerinde meydana gelebilecek yanal yüklerin ve deprem etkilerinin dengelenmesini sağlar (Şekil 15a) [105]. Bu yapıdaki payandalar, Bizans döneminden günümüze kadar yapının ayakta kalmasını sağlayan önemli mühendislik çözümlerinden biri olarak kabul edilmektedir [106]. Payanda sistemi, hem

yapının tarihi karakterini korumuş hem de yapısal bütünlüğünü muhafaza etmiştir. Benzer şekilde, Malatya Hacı Yusuf Taş Camii'nde de payanda sistemi kullanılmıştır (Şekil 15b). Bu camide, dış duvarlara eklenen payandalar, yapının taşıyıcı sistemini güçlendirmiş ve yapının uzun süre ayakta kalmasını sağlamıştır (Şekil 15c) [107]. Malatya gibi sismik aktivitenin yoğun olduğu bölgelerde, bu tür yapısal önlemler, tarihi yapıları koruma açısından hayati öneme sahiptir. Payanda sistemi, yapının özgün tasarımını bozmadan, mühendislik teknikleri ile güçlendirilmesine olanak tanıyan etkili bir yöntemdir. Bu tür uygulamalar, tarihi yapıların restorasyonunda geleneksel ve modern tekniklerin uyumlu bir şekilde nasıl bir araya getirilebileceğini göstermektedir.



Şekil 15. Payanda sistemleri - a) Ayasofya [105], b) Malatya Hacı Yusuf Taş Camii, c) 2023

Kahramanmaraş depremi sonrası Malatya Hacı Yusuf Taş Camii'nin payandaları [107]. (Buttress systems - a) Hagia Sophia [105], b) Malatya Hacı Yusuf Taş Mosque, c) image of the Malatya Hacı Yusuf Taş Mosque's standing buttress after Kahramanmaraş earthquake.)

4. DEĞERLENDİRME (EVALUATION)

Yığma tarihi yapılar, uzun yıllar boyunca çeşitli fiziksel ve çevresel etkilere maruz kalmalarından ötürü, zamanla yapısal bütünlüklerini kaybedebilmektedirler. Bu durum, söz konusu yapıların strüktürel güvenliklerini tehlikeye atabilmekte ve korunmaları için onarım ile güçlendirme gibi çözümlerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesi süreçlerinde temel amaç, yapıların özgün niteliklerinin ve kültürel değerlerinin korunmasının yanı sıra, strüktürel dayanımlarının da artırılması suretiyle gelecek nesillere güvenli bir şekilde aktarılmasının sağlanmasıdır. Bu doğrultuda, özgünlüğün ve bütünlüğün gözetilmesi, uygulanan tekniklerin seçimi ve uygulanmasında ana ilkeleri oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında irdelenen üç temel güçlendirme yaklaşımı - dış yüklerin etkisinin azaltılması, yapı elemanlarının güçlendirilmesi ve yapısal bütünlüğün iyileştirilmesi - deneysel çalışmaların yer aldığı literatür bilgileri ışığında Tablo 1'de özetlenmiştir. Tarihi yapıların güçlendirilmesinde uygulanacak yöntemin seçimi, yapının özgün nitelikleri, bulunduğu çevresel koşullar, mevcut hasarlar ve

koruma hedefleri gibi çok sayıda faktöre bağlıdır. Dolayısıyla, bütüncül bir değerlendirme yapılarak, en uygun güçlendirme stratejisinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Tüm bu yaklaşımların avantaj ve dezavantajlarının dikkatli bir şekilde analiz edilmesi, tarihi yapıların özgünlüğünün korunması ve sürdürülebilir kullanımının sağlanması açısından kritik rol oynamaktadır. Güçlendirme hedeflerine göre güçlendirme teknikleri değerlendirildiğinde:

- Dış yüklerin etkisinin azaltılmasına yönelik güçlendirme teknikleri, tarihi yapıların dayanıklılığını artırmak açısından kritik bir rol oynamaktadır. Yapının doğal çevreye ve dış etkenlere karşı daha güçlü hale getirilmesi, yapı elemanlarında oluşabilecek hasarların en aza indirilmesini ve kullanım ömrünün uzatılmasını sağlamaktadır. Uygulanan sismik izolatör ve sismik damperin, bu konuda her ne kadar etkili olsa da tarihi değere sahip yapıların özgün görüşlerine büyük etki etmektedir ve uygulamaları oldukça zordur. Özellikle sismik izolatör için yapının düşey taşıyıcı elemanlarının askıya alınarak kaldırılması ve sonrasında temele yakın yerlerinde sismik izolatörlerin yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu

süreç hem yapılar için riskli bir durum barındırırken hem de uygulayıcılar için oldukça güç süreçleri içermektedir.

- Yapı elemanların güçlendirilmesi, tarihi yapıların güvenli kullanımını ve uzun vadeli sürdürülebilirliğini desteklemektedir. Güçlendirmek üzere gerçekleştirilen teknikler, daha münferit müdahaleleri içermesi nedeniyle yığma yapının özgünlüğüne etkisi daha az olabilmektedir. Ayrıca sismik izolatör ve sismik damper gibi bir uygulama zorluğu gerektirmektedir. Bu durum tarihi yapılar için önemli bir avantajdır. Teknolojik gelişmeler, bu alanda kullanılacak malzeme

çeşitliliğini de arttırmış ve arttırmaya devam etmektedir. Bununla birlikte, orijinal mimari özelliklerin kaybolma riski ve uygulama sırasında yapıya zarar verme ihtimali gibi hususlar da dikkate alınmalıdır.

- Yapısal bütünlüğün güçlendirilmesi ise, tarihi yapıların bütüncül davranışının iyileştirilmesi ve deprem performansının artırılması açısından önemli bir yaklaşımdır. Bu sayede, yapının stabilitesi ve kullanım ömrü uzatılabilmektedir. Ancak, estetik görünümün bozulma riski ve mevcut yapı sistemine uyum sağlama zorlukları gibi dezavantajlar da göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 1. Güçlendirme tekniklerinin etkinliği - Yazar tarafından oluşturulmuştur. (Effectiveness of retrofitting techniques - Created by the author.)

Güçlendirme Hedefleri	Teknikler	Etkiler
Dış Yüklerin Etkisini Azaltmak	Sismik İzolatör	Kuvvetler 5 ile 6 kat azaltılmaktadır.
	Sismik Damper	Sismik damperler tarafından yayılan enerji yoluyla iç sönümlemesini artırarak sismik kaynaklı titreşimleri önemli ölçüde azaltılabilmekte ve yapının genel davranışı iyileştirilebilmektedir.
Yapı Elemanlarını Güçlendirme	Yüzey Güçlendirmesi	Püskürtme beton, yanal mukavemeti yaklaşık 3,6 kat arttırmakta ve düzlem dışı yöndeki stabiliteyi geliştirmektedir. Ferro-cement, yanal direnci yaklaşık %150 arttırmaktadır.
	Derz Enjeksiyonu	Hem hasarlı alanlara harç enjeksiyonu hem de bütünüyle harç yenileme yalnızca orijinal rijitliği ve dayanımı eski haline getirebilmektedir.
	Dış Çelik Takviyesi	Düzlem içi yanal yüklere karşı direnç 4,5 kat artırılmaktadır.
	Ard-Germe	Yanal sertliği ve mukavemeti 2 kata kadar gelişim sağlanırken, düzlem dışı yöndeki mukavemeti de arttırmaktadır.
	Örgü/Donatı/Ağ takviyesi	FRP, yanal direnci 1,1 ile 3 kat arttırmaktadır. Ayrıca düzlem dışı stabiliteyi de arttırabilmektedir. Çeşitli FRP uygulamaları, tarihi kemerlerde taşıma kapasitesini %58'e varan oranlarda arttırabilmektedir.
Yapısal Bütünlüğü Güçlendirme	Taşıyıcı Kolonlar	Yanal direnç yaklaşık 1,5 kat artırılabilir ve deformasyona karşı gelişim sağlanmaktadır.
	Bağlantı Çubukları	Artgerme yönteminde çelik çubuklarla oldukça benzer şekilde çalışmaktadır. Yığma yapının sismik kapasitesi önemli ölçüde geliştirilebilmektedir. Yığma duvarlarda kullanılan kenetlerin daldırma derinliklerinin yapısal davranışa etki ettiği görülmektedir.
	Fiber/Tekstil Takviyeli Harç	Harcın gerilme mukavemetini geliştirmektedir ve böylece düzlem dışı hasarların/patlama önüne geçilmektedir.
	Payanda Sistemleri	Yığma yapılarda dış duvarların güçlendirilmesinde etkili rol oynamakta ve yanal yükler ile deprem etkilerine karşı yapının sismik kapasitesini geliştirebilmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde, taşıyıcı bileşenlerine yönelik güçlendirme yöntemleri sıralanan tarihi yığma yapıların, kültür varlıklarının korunmasına ilişkin tüzük, sözleşme ve ilke kararlarından birçok ülke tarafından kabul edilen belgeler incelenmiştir. Belgelerde yer alan onarım ve güçlendirme yöntemlerine ilişkin maddelere dayandırılarak temel koruma ilkeleri bağlamında değerlendirilmiştir. Doğal ve kültürel değerler konusunda dünya ülkelerinin ortak tavır ve işbirliği sağlamaya yönelik ilk çabaları 1930'larda

Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi (ICOMOS) ile başlamıştır. 1931 yılında İtalya'da Eski Eserler ve Güzel Sanatlar Yüksek Kurulu tarafından hazırlanan ve ICOMOS tarafından kabul edilip yayınlanan "Carta Del Restauro" bu alandaki ilk belge sayılabilmektedir [108]. 1945 yılında, Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Kurumu'nun (UNESCO) 1954 yılında Avrupa Konseyini kurması ve aynı yıl Hollanda'nın başkenti Lahey'de ilk uluslararası resmi nitelikli belge olarak nitelendirilebilecek "Silahlı Çatışma

Halinde Kültürel Değerlerin Korunması Sözleşmesi'nin (Lahey Konvansiyonu)" hazırlanmıştır [109]. 1964 yılında ise bir grup uzmanın, korumanın ilkelerine ilişkin olarak hazırladıkları "Venedik Tüzüğü"nü [110] kamuoyuna sunulması, kurumsallaşma ve mevzuat oluşturmanın ilk adımları olarak nitelendirilebilmektedir. Kültürel ve doğal mirasın

korunması, onarımı ve değerlendirilmesi konusunda çalışan uluslararası kuruluşlar, zamanla koruma alanında tüzük ve bildirgeler yayınlamaktadır. İncelenen belgelerden aşağıda yer alan bazı madde ve içeriklerin yığma yapıların onarım ve güçlendirme teknikleri ile ilişkilendirilebilir nitelikte oldukları tespit edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Onarım ve güçlendirme teknikleri ile ilişkilendirilebilir maddeler – Yazar tarafından oluşturulmuştur. (Onarım ve güçlendirme teknikleri ile ilişkilendirilebilir maddeler – Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

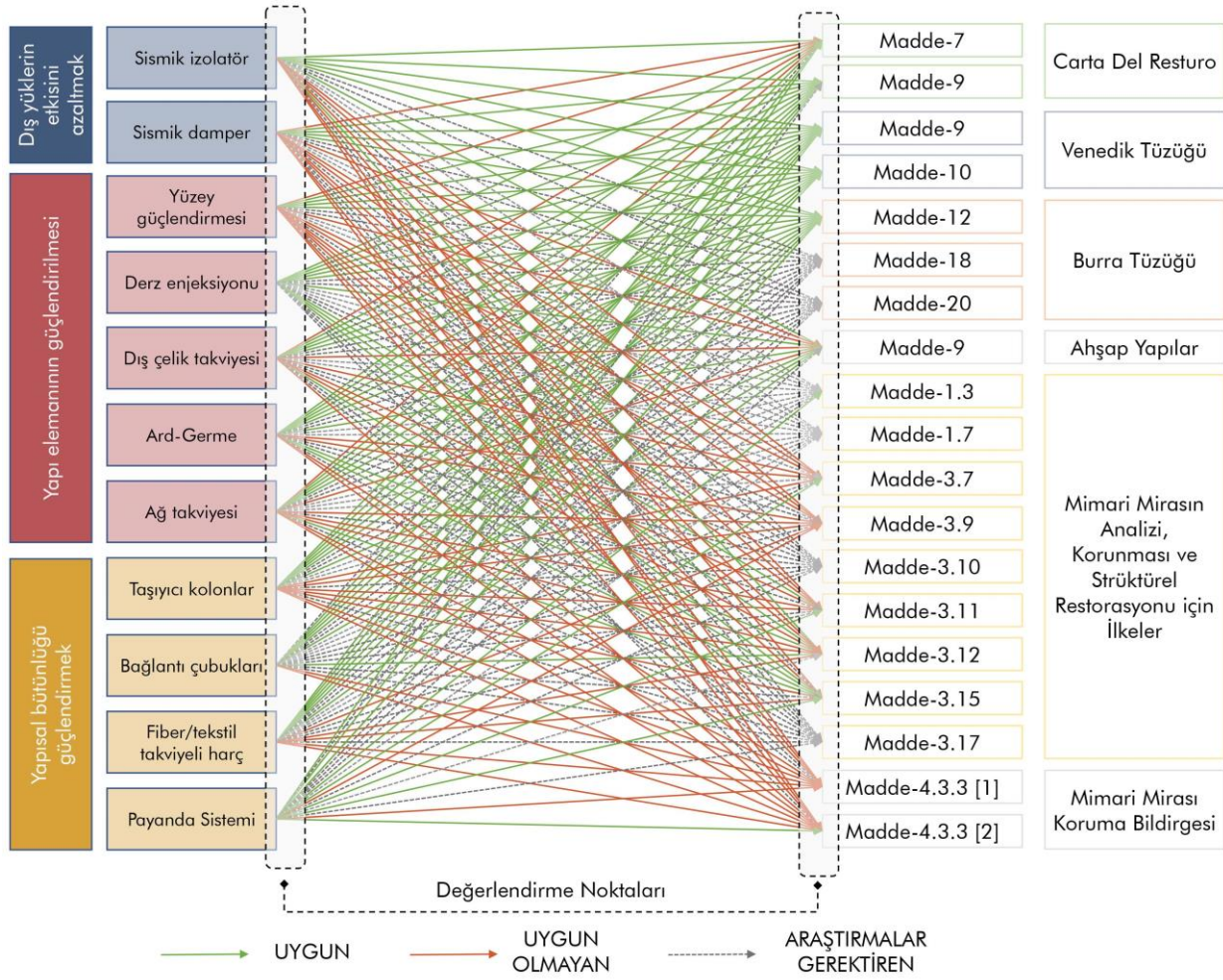
Belge	İlgili Madde	Onarım ve Güçlendirme Teknikleri ile İlişkilendirilebilir İçerik
Carta Del Restauro	Madde-7 (M-7)	Eğer bir anıtı sağlamlaştırmak, kısmi veya tam olarak bütünlük amacıyla, ya da yeniden kullanım nedeniyle ekler yapılması gerekirse, uyulması gereken temel koşul yeni öğelerin en azda tutulmaları, yalın ve yapısal düzeni yansıtır karakterde olmalarıdır.
	Madde-9 (M-9)	Bir anıtın taşıyıcı sistemini güçlendirmek veya kütlelerini bütünlük için eski yapıım yöntemleriyle amaca ulaşılmazsa, çağdaş tekniklerin kullanılması uygun olabilir. Aynı biçimde, basit ya da karmaşık tüm yıpranmış strüktürleri ayakta tutabilmek için çeşitli bilimlerin katkıda bulunmaya çağrılması gerekir.
Venedik Tüzüğü	Madde-9 (M-9)	Onarım kendine temel olarak aldığı özgün malzeme ile güvenilir belgelere saygıyla bağlıdır. Faraziyenin başladığı yerde onarım durmalıdır; yapılması gerekli herhangi bir eklemenin mimari kompozisyonundan farkı anlaşılabilir ve gününün damgasını taşımalıdır. Herhangi bir onarım işine başlamadan önce ve bittikten sonra, anıtın arkeolojik ve tarihi bir incelemesi yapılmalıdır.
	Madde-10 (M-10)	Geleneksel tekniklerin yetersiz kaldığı yerlerde, koruma ve inşa için bilimsel verilerle ve deneylerle geçerliliği saptanmış herhangi çağdaş bir teknik kullanılarak anıt sağlamlaştırılabilir.
	Madde-12 (M-12)	Eksik kısımlar tamamlanırken, bütünlük uyumlu bir şekilde bağdaştırılmalıdır; fakat bu onarımın, aynı zamanda sanatsal ve tarihi tanıklığı yanlış bir biçimde yansıtmaması için, özgünden ayrırt edilebilecek bir şekilde yapılması gereklidir.
Burra Tüzüğü	Madde-18 (M-18)	Restorasyon ve rekonstrüksiyon, mekanın kültürel açıdan önemli yönlerini ortaya çıkarmalıdır.
	Madde-20 (M-20)	Rekonstrüksiyon, yalnızca bir yerin hasar veya değişiklik nedeniyle eksik olduğu ve yalnızca yapının daha önceki bir durumunu yeniden üretmek için yeterli kanıtın olduğu durumlarda uygundur. Bazı durumlarda, rekonstrüksiyon, yerin kültürel önemini koruyan bir kullanım veya uygulamanın bir parçası olarak da uygun olabilir.
Tarihi Ahşap Yapıların Korunması için İlkeler	Madde-9 (M-9)	Tarihi bir yapının onarımında yeni ahşap, tarihi ve estetik değerlere saygı çerçevesinde kalınarak ve harap ve çürümüş kısımları değiştirmek, ya da restorasyonun gereklerini karşılamak amacıyla kullanılabilir.
Mimari Mirasın Analizi, Korunması ve Strüktürel Restorasyonu için İlkeler	Madde-1.3 (M-1.3)	Mimari mirasın değeri yalnız görünüşünde değildir; tüm bileşenleriyle döneminin yapıım teknolojisinin ünik bir örneği olarak korunmuş olması önemlidir. Özellikle yapıların yalnız cephelerinin korunup, içerideki taşıyıcı öğelerin kaldırılması koruma ölçütlerine aykırıdır.
	Madde-1.7 (M-1.7)	Taşıyıcı sistemin çökmesini önlemek amacıyla alınması gerekli acil güvenlik önlemleri dışında (örneğin deprem hasarı sonrasında), sağlayacağı yarar veya zarar tam olarak belirlenmeden tarihi esere herhangi bir müdahale yapılmamalıdır.
	Madde-3.7 (M-3.7)	Geleneksel ve yeni teknikler arasında tercih yapılmadan önce, her yapıımın durumu, güvenlik ve mukavemet talepleri göz önünde tutularak değerlendirilmeli, en az müdahale getiren ve kültürel değerlerle en uyumlu olan seçilmelidir.
	Madde-3.9 (M-3.9)	Mümkün olan yerlerde, yapılan müdahalenin geriye dönüşe uygun olması (reversible), böylece yeni bilgiler edinildiğinde yapılan müdahalelerin esere zarar vermeden kaldırılarak daha uygun olanlarla yer değiştirmesi arzu edilir.
	Madde-3.10 (M-3.10)	İstenmeyen yan etkileri önlemek amacıyla, onarımda kullanılan malzemelerin uzun dönem etkileri araştırılmalıdır.
	Madde-3.11 (M-3.11)	Strüktürün özel niteliklerine ve çevresine zarar verilmemelidir.
	Madde-3.12 (M-3.12)	Her müdahale mümkün olduğunca, strüktürün ilk tasarımına, yapıım tekniğine ve tarihi değerine saygı göstermeli ve onun gelecekte de anlaşılmasını sağlayacak izleri korumaya özen göstermelidir.
	Madde-3.15 (M-3.15)	Harap strüktürler mümkün olduğunca onarılmalı, tümü yenilenmemelidir.
	Madde-3.17 (M-3.17)	Söküm ve tekrar birleştirmeye ancak, strüktürün durumu ve malzemesi dolayısıyla başka bir yöntemle koruma olanaksız veya zararlı olduğunda, ek bir seçenek olarak, başvurulmalıdır.
Mimari Mirası Koruma Bildirgesi	Madde-4.3.3[1] (M-4[1])	Geleneksel tekniklerle inşa edilmiş yapılarda strüktürel güvenliği arttırmak amacıyla yapılacak müdahaleler yapıımın özgün strüktürel bünyesini değiştirmemeli ve geri dönülebilir olmalıdır.
	Madde-4.3.3[2] (M-4[2])	Erken modern ve çağdaş yapı strüktürleri söz konusu olduğunda, özellikle kamusal kullanımlarda olması durumunda, yapıımın özgün niteliklerinin başkalaştırılmasına yol açılmaması öngörülür.

Kültürel ve doğal mirasın korunması, onarımı ve değerlendirilmesi konusunda çalışan uluslararası kuruluşlar, zamanla koruma alanında tüzük ve bildirgeler yayınlamaktadır. Kültürel değerlere sahip her tarihi yapı örneği, kendine özel; tarihi, sanatsal, fiziksel, işlevsel ve strüktürel özelliklere sahiptir. Yapıların sorunları, kendilerine özgün özellikleri gibi özel ve farklı olmaktadır. Dolayısı ile tüm bu yapı stokunun hasar ve sorunlarının kesin tarif ve yöntemlerle güçlendirilmesi olanaksızdır. Tarihi yapılar, kültürel ve mimari önemlerine saygı gösterirken uzun ömürlülüklerini ve güvenliklerini sağlamak için genellikle güçlendirmeye ihtiyaç duyarlar. Bu süreçlerde uluslararası tüzük ve bildirgelerde yer alan maddelere göre dikkate alınması gereken önemli hususlar;

- Güçlendirme malzemelerinin ve tekniklerinin tarihi binanın yapımında kullanılan orijinal malzemelerle uyumluluğudur. Yapının özgünlüğünden ödün vermeyen malzeme ve yöntemlerin seçilmesi esastır. Bu, tarihi binada kullanılan orijinal yapım tekniklerini ve malzemeleri anlamak için kapsamlı araştırma ve analizler yapılmasını gerektirir.
- Gelecek nesillerin neyin orijinal, neyin sonradan eklenmiş olduğunu tespit edebilmelerini sağlamak için güçlendirme müdahaleleri geri döndürülebilir ve binanın orijinal dokusundan ayırt edilebilir olmalıdır. Bu ilke, herhangi bir değişikliğin geri döndürülebilir olması ve şeffaflık ve gelecekteki referanslar için açıkça belgelenmesi gereken minimum müdahale koruma yaklaşımıyla uyumludur.
- Tarihi binaların yapısal olarak güçlendirilmesi, hem yapı mühendisliği hem de mirasın korunması konusunda uzmanlığa sahip nitelikli profesyoneller tarafından gerçekleştirilmelidir. Bu disiplinler arası yaklaşım, güçlendirme müdahalelerinin binanın tarihi değerinden ödün vermeden yapısal gereklilikleri karşılmasını sağlamak için gereklidir.
- Ayrıca, güçlendirilen tarihi yapıların düzenli olarak izlenmesi ve bakımının yapılması, herhangi bir sıkıntı veya bozulma belirtisinin erken tespit edilmesi ve daha fazla hasarı önlemek için derhal ele alınması açısından hayati önem taşımaktadır. Bu proaktif yaklaşım,

tarihi binaların uzun vadeli korunmasını sağlamak için düzenli izleme ve bakımın önleyici koruma ilkesiyle uyumludur.

Çalışma kapsamında, restorasyon ve koruma uygulamaları içerisinde önemli bir yere sahip olan güçlendirme teknikleri, uluslararası alanda kabul gören tüzük ve bildirgelere dayanarak sınıflandırılmış ve analiz edilmiştir. Bu analizler, Şekil 16'da, belirli güçlendirme tekniklerinin hangi koruma maddeleriyle uyumlu veya uyumsuz olduğunu ifade edecek şekilde ele alınmıştır. Bu süreçte, özellikle "Mimari Mirasın Analizi, Korunması ve Strüktürel Restorasyonu için İlkeler" adlı belgede yer alan Madde-3.7, Madde-3.9 ve Madde-3.12 gibi maddelerde uygunluk problemlerinin olduğu tespit edilmiştir. Bu maddeler genellikle yapıların geri dönüştürülebilirliğine odaklanmakta olup uygulanan güçlendirme teknikleri sonrasında yapıların geri dönüştürülebilir olmaları çoğu zaman mümkün olmadığını göstermektedir. Yapılan değerlendirme ve gözlemler, "Mimari Mirasın Koruma Bildirgesi"nde yer alan bazı maddelerin, yapıların özgün strüktürel özellikleri ile doğrudan ilişkili olduğunu ve bu maddelerin, güçlendirme tekniklerinin yapının özgün strüktürel yapısına müdahale edebileceğini vurgulaması, koruma ilkeleri ile güçlendirme tekniklerinin uyumsuzluğunu ortaya koymaktadır. Özellikle derz enjeksiyonu gibi bazı tekniklerin, herhangi bir madde ile sakıncalı olduğu vurgulanmamadır fakat bazı maddelerle yapılan analiz ve araştırmalar sonucunda bu tekniklerin uygunluk durumunun tekrar değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca sismik izolatör, sismik damper, yüzey güçlendirmesi, ağ takviyesi ve taşıyıcı kolonlar gibi yöntemlerle gerçekleştirilen güçlendirme teknikleri ise bu değerlendirme noktaları açısından diğer yöntemlere göre uygun bulunmayan madde sayısının fazla olduğu yöntemler olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, güçlendirme tekniklerinin seçim ve uygulanmasında koruma ilkeleriyle olan uyumun önemini vurgulamaktadır. Bu analizler, koruma ve restorasyon çalışmalarında bilimsel bir metodolojiyi ve disiplinlerarası bir yaklaşımı teşvik ederek, tarihi yapıların sürdürülebilirliğini artırmayı amaçlamakta ve bu bağlamda gelecekteki restorasyon projeleri için kritik bilgiler sunmaktadır.

















Şekil 16. Güçlendirme teknikleri ve koruma maddeleri arasındaki uygunluk durumunun değerlendirilmesi – Yazar tarafından oluşturulmuştur. (Assessment of the compatibility between retrofitting techniques and conservation articles - Created by the author.)

Teknolojik gelişmeler, tarihi yapıların korunması ve restorasyonunda kullanılabilecek uygun tekniklerin geliştirilmesine imkân tanımaktadır. Özellikle Anadolu gibi kıtalar arası bir köprü işlevi gören, zengin kültürel mirasa sahip olan ve tarihi mirasları bünyesinde barınan coğrafyalar bu tür tekniklerin geliştirilmesi için önemli alanlar olmaktadır. Anadolu'nun tarihsel ve kültürel mirasının önemli merkezlerinden birisi olan, geçmişten günümüze pek çok medeniyete ev sahipliği yapmış ve bu süreçte çeşitli mimari eserleri bünyesinde barındırarak çok katmanlı bir kimlik üretmiş Mardin kenti de bu bağlamda önemli bir çalışma alanı olmaktadır. Çalışma alanında yapılan detaylı gözlemler sonucunda Mardin'de yer alan tarihi yapılarda güçlendirme stratejilerine ihtiyaç duyan yapıların olduğu tespit edilmiştir. Özellikle, farklı medeniyetlerin etkilerini taşıyan ve bu nedenle çeşitli yapısal özelliklere sahip Mardin gibi tarihi bölgelerde, bu yapıların sayısı oldukça fazladır. Tarihi yapıların analiz edilmesinde teknolojik gelişmeler ile birlikte gözleme dayalı analizler de önem kazanmıştır. Fotoğraflama teknikleri ile

birlikte gözleme dayalı çalışmalar daha etkin gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada da gözleme dayalı kolaylıkla belirlenebilen yapılar kategorize edilmiştir. Gözlemler sonucunda, bu yapılar, Zinciriye Medresesi'nin doğu yönünde yer alan giriş kapısı, Mor Sobo Katedrali, Mor Loozor Manastırı, Midyat sivil mimarlık örneği, Osmanlı dönemine ait mescit, Dereiçi sivil mimarlık örnekleri ve Dara Antik Kenti tarihi kapısı olarak belirlenmiştir (Tablo 3). Bu eserlere ait strüktürel problem olarak tanımlanabilecek açıdan görsellere yer verilmiştir. Mardin'de güçlendirme stratejilerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyan yapıların bunlarla sınırlı olmadığına altını çizmek gerekmektedir. Bu çalışma, gerçekleştirilen hızlı gözlemlere dayalı bilgilere yer vermiştir. Geliştirilen stratejiler sırasında, kapsamlı analizler ve deneyler gerçekleştirilmelidir. Bu bağlamda, bu çalışma, Mardin gibi tarihi dokusu zengin olan şehirlerde, tarihi yapıların korunması ve güçlendirilmesi için teknolojik yaklaşımların entegre edilebileceğini belirtmektedir.

Tablo 3. Mardin kentinde güçlendirme stratejilerine ihtiyaç duyan tarihi yapıların gözleme dayalı tespiti – Yazar tarafından oluşturulmuştur. (Observation-based identification of historical buildings in need of retrofitting strategies in Mardin city - Created by the author..)

Eser	Güncel Durum	Strateji Önerisi	Uydu Görüntüsü	Görsel
Zinciriye Medresesi Doğu Kapısı (Artuklu)	Dini Yapı	Yapı elemanının güçlendirilmesi		
Mor Sobo Katedrali (Midyat)	Harabe	Yapı elemanının ve yapısal bütünlüğün güçlendirilmesi		
Mor Loozor Manastırı (Midyat)	Harabe	Yapı elemanının ve yapısal bütünlüğün güçlendirilmesi		
Sivil Mimari Eser (Midyat)	Harabe	Yapı elemanının ve yapısal bütünlüğün güçlendirilmesi		
Osmanlı Dönemine ait Mescit (Artuklu)	Harabe	Yapı elemanının ve yapısal bütünlüğün güçlendirilmesi		
Dereiçi Sivil Mimarlık Eserleri (Savur)	Harabe	Yapı elemanının güçlendirilmesi		
Dara Antik Kenti Kapısı (Dara)	Harabe	Yapı elemanının ve yapısal bütünlüğün güçlendirilmesi		

Mardin'in kültürel mirasını oluşturan yapılar, sadece doğal afetler değil, aynı zamanda iklim değişikliği, yer altı su seviyelerindeki değişiklikler, yapısal yıpranma ve yetersiz bakım gibi faktörler nedeniyle de risk altındadır [111,112]. Bu bağlamda, yapılacak analizlerin sadece mevcut

hasarların tespiti ile sınırlı kalmaması, aynı zamanda bu hasarların gelecekteki olası etkilerini de öngörerek proaktif bir yaklaşım sergilemesi gerekmektedir. Örneğin, Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin sürekli hareketliliği, potansiyel sismik riskleri artırmakta ve Mardin'deki tarihi yapılar için

acil müdahale gerekliliğini doğurmaktadır. Bu risklerin detaylı analiz edilmesi, sadece mevcut hasarların değil, aynı zamanda gelecekte oluşabilecek sorunların da önceden tespit edilmesine olanak sağlayacaktır. Tabloda yer alan yapıların dışında, Mardin'de yer alan daha küçük ölçekli fakat benzer öneme sahip sivil mimarlık örneklerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Özellikle geleneksel evler, zanaatkar atölyeleri ve dini yapılar, Mardin'in sosyo-kültürel yapısının bir parçasını oluşturmakta ve bu yapıların da aynı özenle ele alınması gerekmektedir. Bu tür yapılar için önerilecek güçlendirme tekniklerinin, hem yapısal bütünlüğü koruyacak hem de estetik ve tarihsel dokuyu bozmayacak nitelikte olması önemlidir.

Mardin'e özgü yapı malzemesi olan kireçtaşının dayanıklılığı, nem ve sıcaklık gibi çevresel koşullardan nasıl etkilendiği üzerine detaylı laboratuvar testleri yapılmalıdır. Bu testler sonucunda elde edilecek veriler, tarihi yapıların restorasyonu ve güçlendirilmesi sürecinde kullanılacak malzemelerin seçimini daha isabetli kılacaktır. Literatürde Mardin bölgesinde çıkarılan kireçtaşının analizine yer verilen bir adet çalışma bulunmaktadır. Semerci [113] çalışmasında Mardin'de Kasımiye Medresesi'nden alınan kireçtaşı numuneleri ile analizler gerçekleştirmiştir. Bu analizlerde medreseden alınan farklı numunelerin karşılaştırmalı analizi sonucunda farklı değerlerin ortaya çıktığı görülmüştür. Çalışma aynı yapı içerisinde kullanılan yapı malzemelerinin dayanımlarının farklılık gösterebileceğini ortaya koymuştur. Bu durum aynı yapı içerisinde farklı bölümlerin güçlendirilme sürecinde dahi özelleştirilmiş analizlere ihtiyaç duyulabileceğini ve Mardin'deki tarihi yapılara dair deneysel çalışmalarının artmasının bir gereklilik olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, tarihi yapıların güçlendirilmesine yönelik uygulamalarda, koruma ilkeleri temel öncelik olmalıdır. Bu kapsamda, uyumluluk, geri döndürülebilirlik, profesyonel uzmanlık ve sürekli bakım gibi hususlar, güçlendirme sürecinin ayrılmaz bileşenleri olarak değerlendirilmelidir. Söz konusu ilkelerin bütüncül bir yaklaşımla entegre edilmesi, tarihi binaların kültürel ve mimari değerlerinin korunmasına ve gelecek nesillere aktarılmasına olanak sağlayacaktır. Böylelikle, Mardin gibi tarihsel ve kültürel öneme sahip şehirlerdeki mimari mirasın sürdürülebilirliği sağlanabilecektir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Tarihi yapılar, geçmişle bugün ve gelecek arasındaki ilişkiyi sağlayan ve bize yapıldığı dönemin yapım tekniği, malzeme özellikleri, yaşanmışlıkları hakkında da önemli bilgiler veren kültür varlıklarıdır. Bu sebeplerden dolayı bu yapıların korunması ve gelecek nesillere aktarılması gereklidir. Hiç kuşkusuz tarihi yapılara zarar veren birçok doğal ve yapay etmenler bulunmaktadır. Ülkemiz deprem kuşağında yer alan bir ülkedir ve tarihi yapılara etki eden en riskli dış yüklerden biri de depremdir. Türkiye genel yapı stoğunda, önemli ölçüde tarihi yığma yapı bulunmaktadır. Yığma yapılar hakkındaki yönetmelik şartlarının yerine tam olarak getirilmemesi, uygulama da yapılan hatalar, uygulama sırasında kontrollerin yetersizliği, malzeme özellikleri gibi nedenlerle yığma yapıların davranışında ciddi zayıflıklar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunların çözümünde ise mevcut yapıların analizleri ve sonuçlara göre uygun müdahale tekniklerinin seçilmesi oldukça büyük önem arz etmektedir. Doğru yapısal analizler, tarihi yapıların davranışının belirlenmesine ve yapının güçlendirilmesi sırasında doğru yöntemler kullanılmasına imkan tanımaktadır. Türkiye'nin zengin tarihi dokusu, birçok yığma yapının da yer aldığı Mardin gibi şehirlerde, kültürel mirasın korunmasını zorunlu kılmaktadır. Ancak, bu yapıların korunması kadar, doğru tekniklerle güçlendirilmesi de hayati bir öneme sahiptir.

Yapılan çalışmalar, Mardin'deki tarihi yapıların çoğunun farklı medeniyetlerin izlerini taşıyan karmaşık yapısal özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Zinciriye Medresesi'nin doğu yönündeki giriş kapısı, Mor Sobo Katedrali, Mor Loozor Manastırı gibi yapılar, ciddi strüktürel problemlere sahip olup, hızlı bir şekilde güçlendirme stratejilerinin geliştirilmesine ihtiyaç duymaktadır. Bu kapsamda, yapılan gözlemler sonucunda, derz enjeksiyonu, dış çelik takviyesi, bağlantı çubukları, kenetler, zivanalar vb. gibi çağdaş malzeme teknikleri ile çeşitli yöntemlerin tarihi yapıların güçlendirilme sürecinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Ancak, bu tekniklerin uygulanmasında, hem özgün yapının korunması hem de strüktürel güvenliğin sağlanması amacıyla uluslararası koruma tüzükleri ile uyumlu bir yaklaşım benimsenmelidir. Özellikle, Mardin gibi tarihi dokusu zengin bölgelerde, güçlendirme stratejileri belirlenirken, koruma belgelerinde yer alan ilkeler ile teknik çözümlerin entegre edilmesi gerekmektedir. Bu belgeler, tarihi yapıların hem yapısal bütünlüğünü korumak hem de kültürel mirası gelecek nesillere aktarmak adına büyük önem taşımaktadır. Bu sayede kültürel değerlerin

korunması ile yapısal güvenlik arasındaki hassas denge sağlanarak, bu yapıların uzun vadeli korunması mümkün olacaktır.

Teknolojik gelişmeler ile birlikte güçlendirme alanında artan çeşitli teknik yaklaşımların kullanımında, uluslararası koruma tüzükleri kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Dış yüklerin etkisinin azaltılması, yapı elemanlarının güçlendirilmesi ve yapısal bütünlüğün iyileştirilmesi, tarihi yapıların güçlendirilmesinde öne çıkan üç temel yaklaşımdır. Her bir yöntem, yapıların dayanıklılığını ve kullanım ömrünü artırma açısından farklı avantajlar sağlamaktadır. Dış etkenlere karşı koruma, yapısal güvenlik ve estetik değerlerin dengelenmesi, bu yaklaşımların uygulanmasındaki temel zorluklardır. Uluslararası koruma tüzükleri, tarihi yapıların özgünlüğünün ve bütünlüğünün korunmasına yönelik ilkeler ortaya koymaktadır. Venedik Tüzüğü, Nara Özgünlük Belgesi ve Burra Tüzüğü gibi belgeler, yapıların restore edilmesi, yenilenmesi ve güçlendirilmesi süreçlerinde uyulması gereken temel ilkeleri tanımlamaktadır. Bu ilkeler, tarihi yapıların kültürel değerlerinin gözetilmesi, asli niteliklerinin korunması ve özgün malzeme ile tekniklerinin kullanılması gerektiğini vurgulamaktadır. Güçlendirme uygulamalarının planlanması ve uygulanması aşamalarında, bu tüzüklerde yer alan ilkeler ile teknik yaklaşımların uyumlu bir şekilde bütünleştirilmesi önemlidir. Uzmanlar tarafından yürütülen titiz bir değerlendirme ve planlama süreci, uygulamaların başarısında kritik rol oynamaktadır. Sonuç olarak, tarihi yapıların güçlendirilmesi, çok disiplinli bir yaklaşım gerektirmektedir. Teknik çözümler ile koruma tüzüklerindeki ilkelerin bütünleştirilmesi, tarihi mirasın sürdürülebilirliğinin sağlanması adına büyük önem taşımaktadır. Kültürel değerlerin korunması ve yapıların güvenli kullanımı arasındaki hassas denge gözetilerek, tarihi yapıların gelecek nesillere aktarılması mümkün olabilecektir. Mardin'deki tarihi yapıların güçlendirilmesi de bölgedeki kültürel zenginliği koruma hedefiyle birlikte ele alınmalıdır. Bu bağlamda, yerel yapı malzemeleri ve tekniklerinin dikkate alındığı, uluslararası standartlarla uyumlu, disiplinler arası bir yaklaşım benimsenmelidir. Bu çalışma, güçlendirme tekniklerinin koruma tüzükleri ile ilişkilendirilmesine yer vererek bu alanda yapılacak olan çalışmaları hızlandıracak bir rehber ve Mardin'deki tarihi yapıların korunması ve güçlendirilmesine yönelik stratejilerin geliştirilmesi konusunda yol gösterici bir adım niteliğindedir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

İzzettin KUTLU: Kapsamlı literatür taraması gerçekleştirmiş, uluslararası koruma ve tüzükler incelemiş, ilişkileri kurmuş, gözleme dayalı analizler yapmış, sonuçları analiz etmiş ve yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He conducted a comprehensive literature review, examined international conservation and regulations, identified relations, performed observational analyses, synthesized the results, and wrote the manuscript.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Matthys H., Noland L., Evaluation, strengthening and retrofitting of masonry buildings. TMS, Colorado (1989).
- [2] Ehsani M., Saadatmanesh H., Velazquez-Dimas J., Behavior of retrofitted URM walls under simulated earthquake loading. Journal of Composites for Construction, 3(3) (1999) 134-142. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(1999\)3:3\(134\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(1999)3:3(134))
- [3] Binda L., Modena C., Casarin F., Lorenzoni F., Cantini L., Munda S., Emergency actions and investigations on cultural heritage after the L'Aquila earthquake: the case of the Spanish Fortress. Bulletin of Earthquake Engineering, 9 (2011) 105-138. <https://doi.org/10.1007/s10518-010-9217-3>
- [4] D'Ayala DF., Paganoni S., Assessment and analysis of damage in L'Aquila historic city centre after 6th April 2009. Bulletin of Earthquake Engineering, 9 (2011) 81-104. <https://doi.org/10.1007/s10518-010-9224-4>
- [5] Mazzarella L., Energy retrofit of historic and existing buildings. The legislative and regulatory point of view. Energy and Buildings, 95 (2015) 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.073>

- [6] Foraboschi P., Resisting system and failure modes of masonry domes. *Engineering Failure Analysis*, 44 (2014) 315-337. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.05.005>
- [7] Foraboschi P., Church of San Giuliano di Puglia: seismic repair and upgrading. *Engineering Failure Analysis*, 33 (2013) 281-314. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.05.023>
- [8] Örmecioğlu HT., Tarihi yapıların yapısal güçlendirilmesinde ana ilkeler ve yaklaşımlar. *Politeknik Dergisi*, 13(3) (2010) 233-237.
- [9] Fırat S., Işık N., Selçuk E., Tarihi yapıların temel sistemlerinin güçlendirilmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı) (2020) 182-189. <https://doi.org/10.46810/tdfd.755813>
- [10] Soyluk A., Tuna ME., Sismik taban izolasyonu uygulaması için tarihi Şehzade Mehmet Camisinin dinamik analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3) (2011) 667-675.
- [11] Fırat FK., Tanrıverdi Ş., Ural A., Kara ME., Kubbe yapı formlarının kenet ile güçlendirilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(2) (2022) 326-334. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1077401>
- [12] Bal A., Şimşek S., Tarihi yağma bir yapının lifli polimerler (FRP) ile güçlendirme alternatiflerinin araştırılması ve proje uygulaması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(3) (2019) 112-119.
- [13] Carhoglu Aİ., Zabin P., Korkmaz KA., Kars kümbet camisinin deprem davranışının incelenmesi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 2(1) (2014). 189-196.
- [14] Diz-Mellado E., Mascort-Albea EJ., Romero-Hernández R., Galán-Marín C., Rivera-Gómez C., Ruiz-Jaramillo J., Jaramillo-Morilla A., Non-destructive testing and Finite Element Method integrated procedure for heritage diagnosis: The Seville Cathedral case study. *Journal of Building Engineering*, 37 (2021) 102134. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.102134>
- [15] Ragozzino E., Nonlinear seismic response in the western L'Aquila basin (Italy): Numerical FEM simulations vs. ground motion records. *Engineering Geology*, 174 (2014) 46-60. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.03.010>
- [16] Aydın AC., Özkaya SG., The finite element analysis of collapse loads of single-spanned historic masonry arch bridges (Ordu, Sarpdere Bridge). *Engineering Failure Analysis*, 84 (2018) 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.11.002>
- [17] The International Scientific Committee on the Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage (ISCARSAH)., *ISCARSAH Principles* (2003). <https://iscarsah.org/wp-content/uploads/2014/11/iscarsah-principles-tc3bcrk.pdf> Erişim 26 Ağustos 2024
- [18] Wang C., Sarhosis V., Nikitas N., Strengthening/retrofitting techniques on unreinforced masonry structure/element subjected to seismic loads: A literature review. *The Open Construction & Building Technology Journal*, 12(1) (2018) 251-268. <https://doi.org/10.2174/1874836801812010251>
- [19] Chuang SW., Zhuge Y., Seismic retrofitting of unreinforced masonry buildings—a literature review. *Australian Journal of Structural Engineering*, 6(1) (2005) 25-36. <https://doi.org/10.1080/13287982.2005.11464942>
- [20] Bhattacharya S., Nayak S., Dutta SC., A critical review of retrofitting methods for unreinforced masonry structures. *Journal of Disaster Risk Reduction*, 7 (2014) 51-67. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2013.12.004>
- [21] Jokilehto J., *A history of architectural conservation*. Routledge, New York (2017).
- [22] Saygı AS., Sahil S., Çanakkale-Bozcaada Geleneksel Kent Dokusu ve Evleri. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 5(3) (2017) 13-35.
- [23] Tuna ME., *Depreme dayanıklı yapı tasarımı*. Turhan Kitabevi, Ankara (2000).
- [24] Naeim F., Kelly JM., (1999) *Design of seismic isolated structures: from theory to practice*. John Wiley & Sons, New York.
- [25] Julie S., Sajeeb R., Performance of base isolators and tuned mass dampers in vibration control of a multistoried building. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 2 (2012) 01-07.
- [26] Cimellaro GP., Marasco S., *Introduction to dynamics of structures and earthquake engineering (Vol. 45)*. Springer, Cham (2018).
- [27] Towashiraporn P., Park J., Goodno BJ., Craig JI., Passive control methods for seismic response modification. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 4(1) (2002) 74-86. <https://doi.org/10.1002/pse.107>
- [28] Soyluk A., Sismik taban izolatörü kullanımının mimari tasarıma etkisi. *Doktora tezi*. Gazi Üniversitesi (2010).
- [29] De Luca A., Mele E., Molina J., Verzeletti G., Pinto AV., *Base isolation for retrofitting*

- historic buildings: Evaluation of seismic performance through experimental investigation. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 30(8) (2001) 1125-1145. <https://doi.org/10.1002/eqe.54>
- [30] Kelly JM., Aseismic base isolation: review and bibliography. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 5(4) (1986) 202-216. [https://doi.org/10.1016/0267-7261\(86\)90006-0](https://doi.org/10.1016/0267-7261(86)90006-0)
- [31] Kilar V., Petrovcic S., (2018) Seismic rehabilitation of masonry heritage structures with base-isolation and with selected contemporary strengthening measures. In: Ivorra S, Brebbia CA (ed) *Seismic Resistant Structures*, WIT Press, Southampton, ss 13-23.
- [32] Seki M., Miyazaki M., Tsuneki Y., Kataoka K., A masonry school building retrofitted by base isolation technology. 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, Yeni Zelanda, (2000).
- [33] Nanda RP., Agarwal P., Shrikhande M., Suitable friction sliding materials for base isolation of masonry buildings. *Shock and Vibration*, 19(6) (2012) 1327-1339. <https://doi.org/10.3233/SAV-2012-0675>
- [34] Tomažević M., Klemenc I., Weiss P., Seismic upgrading of old masonry buildings by seismic isolation and CFRP laminates: a shaking-table study of reduced scale models. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 7(1) (2009) 293-321. <https://doi.org/10.1007/s10518-008-9086-1>
- [35] Chiozzi A., Simoni M., Tralli A., Base isolation of heavy non-structural monolithic objects at the top of a masonry monumental construction. *Materials and Structures*, 49(6) (2016) 2113-2130. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0637-z>
- [36] Symans MD., Constantinou MC., Semi-active control systems for seismic protection of structures: a state-of-the-art review. *Engineering Structures*, 21(6) (1999) 469-487. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(97\)00225-3](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(97)00225-3)
- [37] Soong TT., Dargush GF., *Passive energy dissipation systems in structural engineering*. Wiley, New York (1997).
- [38] Housner G., Bergman LA., Caughey TK., Chassiakos AG., Claus RO., Masri SF., vd., *Structural control: past, present, and future*. *Journal of Engineering Mechanics*, 123(9) (1997) 897-971. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(1997\)123:9\(897\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(1997)123:9(897))
- [39] Asteris PG., On the structural analysis and seismic protection of historical masonry structures. *The Open Construction & Building Technology Journal*, 2(1) (2008) 124-133. <https://doi.org/10.2174/1874836800802010124>
- [40] Taleb R., Bouriche F., Remas A., Boukri M., Kehila F., Use of ambient and forced vibration tests to evaluate seismic properties of an unreinforced masonry building rehabilitated by dampers. 15th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE), Lisbon, Portekiz, (2012).
- [41] Longarini N., Zucca M., A chimney's seismic assessment by a tuned mass damper. *Engineering Structures*, 79 (2014) 290-296. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.05.020>
- [42] Benedetti D., Increasing available ductility in masonry buildings via energy absorbers. *Shaking table tests. European Earthquake Engineering*, 3 (2004) 1-29.
- [43] Gocevski V., Petraskovic Z., Seismic analysis of existing masonry structures reinforced with "SYSTEM DC90" dampers. *International Conference on Earthquake Engineering*, Üsküp, Makedonya, (2013).
- [44] Abrams DP., *New perspectives on seismic rehabilitation. Asia-Pacific workshop on Seismic Design and Retrofit of Structures*, Taipei, Taiwan, (1999).
- [45] Pilorge AG., Impact of friction dampers and ductility factor on the seismic response of concrete moment resisting frame buildings. *Yüksek Lisans Tezi, Concordia University* (2018).
- [46] Binda L., Modena C., Baronio G., Abbaneo S., Repair and investigation techniques for stone masonry walls. *Construction and Building Materials*, 11(3) (1997) 133-142. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(97\)00031-7](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(97)00031-7)
- [47] Valluzzi MR., Tinazzi D., Modena C., Shear behavior of masonry panels strengthened by FRP laminates. *Construction and Building Materials*, 16(7) (2002) 409-416. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00043-0](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00043-0)
- [48] Salaman A., Stepinac M., Matorić I., Klasić M., Post-earthquake condition assessment and seismic upgrading strategies for a heritage-protected school in Petrinja, Croatia. *Buildings*. 12(12) (2022) 2263. <https://doi.org/10.3390/buildings12122263>
- [49] Naaman AE., *Ferrocement and laminated cementitious composites*. Techno Press, Ann Arbor 3000(1) (2000).
- [50] ElGawady M., Lestuzzi P., Badoux M., *Retrofitting of masonry walls using shotcrete. The 2006 New Zealand Society for Earthquake Engineering Conference, Yeni Zelanda, (2006).*

- [51] Karantoni FV., Fardis MN., Effectiveness of seismic strengthening techniques for masonry buildings. *Journal of Structural Engineering*, 118(7) (1992) 1884-1902. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1992\)118:7\(1884\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1992)118:7(1884))
- [52] Augenti N., Nanni A., Parisi F., Construction failures and innovative retrofitting. *Buildings*, 3(1) (2013) 100-121. <https://doi.org/10.3390/buildings3010100>
- [53] ElGawady M., Lestuzzi P., Badoux M., A review of conventional seismic retrofitting techniques for URM. 13th International Brick and Block Masonry Conference, Amsterdam, Hollanda, (2004)
- [54] Abrams D., Lynch J., Flexural behavior of retrofitted masonry piers. *The KEERC-MAE Joint Seminar on Risk Mitigation for Regions of Moderate Seismicity*, Illinois, Amerika, (2001).
- [55] Kadam SB., Singh Y., Li B., Out-of-plane behaviour of unreinforced masonry strengthened using ferrocement overlay. *Materials and Structures*, 48(10) (2015) 3187-3203. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0390-8>
- [56] Fauzan., Ismail FA., Hakam A., Zaidir., Amalia SH., Experimental study on masonry building strengthened with ferrocement layers. *GEOMATE Journal*, 14(45) (2018) 84-90. <https://doi.org/10.21660/2018.45.7305>
- [57] Garofano A., Ceroni F., Pecce M., Modelling of the in-plane behaviour of masonry walls strengthened with polymeric grids embedded in cementitious mortar layers. *Composites Part B: Engineering*, 85 (2016) 243-258. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.09.005>
- [58] Tomazevic M., *Earthquake-resistant design of masonry buildings*. World Scientific, Singapur 1 (1999).
- [59] Borri A., Corradi M., Sisti R., Buratti C., Belloni E., Moretti E., Masonry wall panels retrofitted with thermal-insulating GFRP-reinforced jacketing. *Materials and Structures*, 49 (2016) 3957-3968. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0766-4>
- [60] Binda L., Saisi A., State of the art of research on historic structures in Italy. (2001) https://www.researchgate.net/publication/237440027_State_of_the_Art_of_Research_on_Historic_Structures_in_Italy Erişim 31 Mayıs 2024.
- [61] Sunrise Updates. <https://www.sunrisetools.co.uk/blog/post/8-how-to-pointing-repointing-brickwork> Erişim 24 Mayıs 2024
- [62] Tetley R., Madabhushi G., Vulnerability of adobe buildings under earthquake loading. *International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Thessaloniki, Yunanistan, (2007).
- [63] Tinazzi D., Arduini M., Modena C., Nanni A., FRP structural re-pointing of masonry assemblages. 3rd International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, Ottawa, Kanada, (2000).
- [64] Alcaino P., Santa-Maria H., Experimental response of externally retrofitted masonry walls subjected to shear loading. *Journal of Composites for Construction*, 12(5) (2008) 489-498. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(2008\)12:5\(489\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(2008)12:5(489))
- [65] Moropoulou A., Bakolas A., Anagnostopoulou S., Composite materials in ancient structures. *Cement and Concrete Composites*, 27(2) (2005) 295-300. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.018>
- [66] Apostolopoulou M., Aggelakopoulou E., Siouta L., Bakolas A., Douvika M., Asteris PG., Moropoulou A., A methodological approach for the selection of compatible and performable restoration mortars in seismic hazard areas. *Construction and Building Materials*, 155 (2017) 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.210>
- [67] Pusat SE., Tarihi yapıların onarımında kullanılacak harç üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi (2002).
- [68] Akbulut DE., Tarihi yapıların onarımında kullanılacak harçların seçimine yönelik bir öneri. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi (2006).
- [69] Hamid AA., Mahmoud A., El Magd SA., Strengthening and repair of unreinforced masonry structures: state-of-the-art. 10th International Brick and Block Masonry Conference, Calgary, Kanada, (1994).
- [70] Rai DC., Goel SC., Seismic strengthening of unreinforced masonry piers with steel elements. *Earthquake Spectra*, 12(4) (1996) 845-862. <https://doi.org/10.1193/1.1585913>
- [71] Taghdi M., Seismic retrofit of low-rise masonry and concrete walls by steel strips. Doktora Tezi, University of Ottawa (1998).
- [72] Prota A., Marcarì G., Fabbrocino G., Manfredi G., Aldea C., Experimental in-plane behavior of tuff masonry strengthened with cementitious matrix-grid composites. *Journal of Composites for Construction*, 10(3) (2006) 223-233. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(2006\)10:3\(223\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(2006)10:3(223))

- [73] Triantafillou TC., Fardis MN., Strengthening of historic masonry structures with composite materials. *Materials and Structures*, 30 (1997) 486-496. <https://doi.org/10.1007/BF02524777>
- [74] Amiraslanzadeh R., Ikemoto T., Miyajima M., Fallahi A., A comparative study on seismic retrofitting methods for unreinforced masonry brick walls. 15th World Conference on Earthquake Engineering, International Association for Earthquake Engineering, Lisbon, Portekiz, (2012).
- [75] Al-Manaseer A., Neis W., Load tests on post-tensioned masonry wall panels. *Structural Journal*, 84(6) (1987) 467-472. <https://doi.org/10.14359/2768>
- [76] Korkmaz SZ., Korkmaz HH., Türer A., Elastik art-germe şeritleriyle, yığma yapıların güçlendirilmesi. Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalışmayı Bildirileri, Ankara, Türkiye, (2005).
- [77] Teng JG., Chen J., Smith ST., Lam L., Behaviour and strength of FRP strengthened RC structures: a state-of-the-art review. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, 156(1) (2003) 51-62. <https://doi.org/10.1680/stbu.2003.156.1.51>
- [78] ElGawady M., Lestuzzi P., Badoux M., A review of retrofitting of unreinforced masonry walls using composites. 4th Int. Conf. On Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, Alberta, Kanada, (2004).
- [79] Mahmood H., Ingham JM., Diagonal compression testing of FRP-retrofitted unreinforced clay brick masonry wallettes. *Journal of Composites for Construction*, 15(5) (2011) 810-820.
- [80] Fırat FK., Eren A., Tarihi yığma yapılarıdaki hasarlı kemerler üzerinde FRP etkisinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(4) (2015) 659-670. <https://doi.org/10.17341/gummfd.46980>
- [81] Petrovčić S., Kilar V., Design considerations for retrofitting of historic masonry structures with externally bonded FRP systems. *International Journal of Architectural Heritage*, 16(7) (2022) 957-976. <https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1853278>
- [82] Saleem MU., Numada M., Amin MN., Meguro K., Seismic response of PP-band and FRP retrofitted house models under shake table testing. *Construction and Building Materials*, 111 (2016) 298-316. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.073>
- [83] Burgoyne C., Does FRP have an economic future?. 4th Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, Calgary, Kanada, (2004).
- [84] Sathiparan N., Mayorca P., Nesheli KN., Guragain R., Meguro K., Experimental study on in-plane and out-of-plane behavior of masonry wallettes retrofitted by PP-band meshes. *Seisan Kenkyu*, 57(6) (2005) 530-533. <https://doi.org/10.11188/seisankenkyu.57.530>
- [85] Macabuag J., Guragain R., Bhattacharya S., Seismic retrofitting of non-engineered masonry in rural Nepal. . *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, 165(6) (2012) 273-286. <https://doi.org/10.1680/stbu.10.00015>
- [86] Meguro K., Soti R., Navaratnaraj S., Numada M., Dynamic testing of masonry houses retrofitted by bamboo band meshes. *JSCE Journal of Earthquake Engineering*, 68(4) (2012) I_760-I_765. https://doi.org/10.2208/jscejsee.68.I_760
- [87] Carozzi FG., Poggi C., Bertolesi E., Milani G., Ancient masonry arches and vaults strengthened with TRM, SRG and FRP composites: Experimental evaluation. *Composite Structures*, 187 (2018) 466-480. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.12.075>
- [88] Anania L., Badalà A., D'Agata G., The post strengthening of the masonry vaults by the Ω -Wrap technique based on the use of C-FRP. *Construction and Building Materials*, 47 (2013) 1053-1068. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.012>
- [89] Valvona F., Toti J., Gattulli V., Potenza F., Effective seismic strengthening and monitoring of a masonry vault by using Glass Fiber Reinforced Cementitious Matrix with embedded Fiber Bragg Grating sensors. *Composites Part B: Engineering*, 113 (2017) 355-370. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.01.024>
- [90] Zampieri P., Simoncello N., Tetougueni CD., Pellegrino C., A review of methods for strengthening of masonry arches with composite materials. *Engineering Structures*, 171 (2018) 154-169. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.05.070>
- [91] Garmendia L., Larrinaga P., San-Mateos R., San-José JT., Strengthening masonry vaults with organic and inorganic composites: an experimental approach. *Materials & Design*, 85 (2015) 102-114. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.06.150>

- [92] Padalu PKVR., Vashisht R., Ramancharla PK., (2023). A Review on Construction Techniques and Structural Restoration of Ancient Masonry Buildings. In Goel MD, Kumar R, Gadve SS (ed) Structural Engineering Convention, Springer Nature Singapore, ss 335-350.
- [93] Roca P., Cervera M., Gariup G., Pela' L., Structural analysis of masonry historical constructions. Classical and advanced approaches. Archives of Computational Methods in Engineering, 17 (2010) 299-325. <https://doi.org/10.1007/s11831-010-9046-1>
- [94] Tomažević M., Klemenc I., Seismic behaviour of confined masonry walls. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 26(10) (1997) 1059-1071. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9845\(199710\)26:10<1059::AID-EQE694>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199710)26:10<1059::AID-EQE694>3.0.CO;2-M)
- [95] Brignola A., Frumento S., Lagomarsino S., Podestà S., Identification of shear parameters of masonry panels through the in-situ diagonal compression test. International Journal of Architectural Heritage, 3(1) (2008) 52-73. <https://doi.org/10.1080/15583050802138634>
- [96] Yardim Y., Lalaj O., Shear strengthening of unreinforced masonry wall with different fiber reinforced mortar jacketing. Construction and Building Materials, 102 (2016) 149-154. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.095>
- [97] Darbhanzi A., Marefat M., Khanmohammadi M., Investigation of in-plane seismic retrofit of unreinforced masonry walls by means of vertical steel ties. Construction and Building Materials, 52 (2014) 122-129. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.020>
- [98] Spina G., Ramundo F., Mandara A., Masonry strengthening by metal tie-bars, a case study. Paper presented at the Structural Analysis of Historical Constructions. 4th International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions, Padova, İtalya, (2004).
- [99] Ural A., Fırat FK., Tuğrulerçi Ş., Kara ME., Experimental and numerical study on effectiveness of various tie-rod systems in brick arches. Engineering Structures, 110 (2016) 209-221. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.11.038>
- [100] Tanrıverdi S., Yavuz C., Investigation of the effects of clamp depths on the flexural behavior of walls in masonry walls. Construction and Building Materials, 393 (2023) 132081. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132081>
- [101] Çelik T., Tanrıverdi Ş., Ural A., Fırat FK., Yığma yapılarda kullanılan kenetlerin yapı davranışına etkilerinin incelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(3) (2021) 650-659. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.874494>
- [102] Ural A., Kara ME., Uslu S., Kenet ve zıvanaların yığma duvarların kesme (kayma) davranışına etkisi, 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Erzurum, 537-548, (2015)
- [103] Da Porto F., Guidi G., Dalla Benetta M., Verlatto N., Combined in-plane/out-ofplane experimental behaviour of reinforced and strengthened infill masonry walls. 12th Canadian Masonry Symposium, British Columbia, Kanada, (2013).
- [104] Martins A., Vasconcelos G., Fangueiro R., Cunha F., Experimental assessment of an innovative strengthening material for brick masonry infills. Composites Part B: Engineering, 80 (2015) 328-342. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.06.012>
- [105] Çakmak AŞ., Moropoulou A., Mullen CL., Interdisciplinary study of dynamic behavior and earthquake response of Hagia Sophia. Soil dynamics and earthquake engineering, 14(2) (1995) 125-133. [https://doi.org/10.1016/0267-7261\(94\)00031-B](https://doi.org/10.1016/0267-7261(94)00031-B)
- [106] Aydınğün GŞ., Tarih boyunca yaşanan depremler sonrası Ayasofya onarımları. Deprem Sempozyumu, Kocaeli, (2005).
- [107] Kocaman İ., Mercimek Ö., Gürbüz M., Erbaş Y., Anıl Ö., The effect of Kahramanmaraş earthquakes on historical Malatya Yeni Mosque. Engineering Failure Analysis, 161 (2024) 108310. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108310>
- [108] ICOMOS. Carte Del Resturo, (1931). https://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOS_TR_tr0660878001536681682.pdf, Erişim 3 Mayıs 2024
- [109] UNESCO. Lahey Konvansiyonu, (1954). <https://unesco.org.tr/Home/Page/60?slug=Yerlerinden-Edilmiş-Kültür-Varlıkları-İhtisas-Komitesi>, Erişim 3 Mayıs 2024
- [110] ICOMOS. Venedik Tüzüğü, (1964). https://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOS_TR_tr0243603001536681730.pdf, Erişim 3 Mayıs 2024
- [111] Kutlu İ., Şimşek D., Mardin Mimarlık Mirasında Mimarbaşı Lole'nin

Rolü. İDEALKENT, 16(44) (2024) 710-746.
<https://doi.org/10.31198/idealkent.1456731>

- [112] Bekar İ., Kutlu I., Ergün R., Importance performance analysis for sustainability of reused historical building: Mardin Sabanci City Museum and art gallery. *Open House International*, 49(3) (2024) 550-573. <https://doi.org/10.1108/OHI-04-2023-0080>
- [113] Semerci F., Mardin kireçtaşının yapı malzemesi olarak kullanımına yönelik analizlerinin yapılması: Kasımiye Medresesi örneği. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 2(2) (2017) 60-79.