



# Betonarme Perde Duvarların Eğilme ve Kesme Etkilerine Karşı Güçlendirilmesi Üzerine Literatür Değerlendirmesi

## Literature Review on Retrofitting of Reinforced Concrete Shear Walls Against Flexural and Shear Effects

Yunus EFE<sup>1\*</sup>, İdris BEDİRHANOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, yefe\_21@hotmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5296-2195>

<sup>2</sup>Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ibedirhanoglu@dicle.edu.tr  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6852-3041>

### MAKALE BİLGİLERİ

#### Makale Geçmişi:

Geliş 15 Ocak 2024  
Revizyon 25 Ocak 2024  
Kabul 27 Temmuz 2024  
Online 30 Eylül 2024

#### Anahtar Kelimeler:

Betonarme perde duvar, Eğilme  
Güçlendirme, Lifli polimer,  
Sargılama

### ÖZ

Bölgemizde son yaşanan 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri dahil olmak üzere depremler sonrası yapılan saha çalışmalarında iyi bir perde duvara sahip bir binada deprem etkisi karşısında iyi çalışmış perde duvarın, yapının rijitliğini artırarak, ötelenmesini azalttığı ve bu şekilde binanın göçmesinin ve ağır hasar almasının önüne geçildiği görülmüştür. Buna karşılık binalardaki kusurlu perdelerin ise deprem esnasında ağır hasar aldığı ve binanın toptan göçme riskini oldukça artırdığı gözlemlenmiştir. Kusurlu betonarme perdelerin davranışlarını iyileştirecek alternatif güçlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi ya da bu perdelerin belirlenip, güçlendirilerek etkin hale getirilmesi önem kazanmaktadır. Perde duvarın güçlendirilmesi binanın deprem performansına katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada yanıl yükler nedeni ile betonarme perde duvarlarda eğilme ve kesme etkileri sonucu oluşabilecek hasarların güçlendirilmesine yönelik literatürde birçok çalışma bulunmasına karşılık farklı detayların incelenebileceği deneysel çalışma yapılması gerekliliği görülmüştür.

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 15 January 2024  
Received in revised form 25  
January 2024  
Accepted 27 July 2024  
Available online 30 September 2024

#### Keywords:

Confinement, Fibre reinforced  
polymer (FRP), Retrofitting,  
Flexure, Shear wall

### ABSTRACT

After The February 6, 2023, Kahramanmaraş earthquakes in our region reconnaissance studies carried out. If building had shear walls with well-detailed and well-functioned, it was observed that against the earthquake effect shear wall was increased the stiffness and rigidity of building and preventing heavy damage and collapsing of building. On the other hand, it was observed that defective shear walls in the building increase the risk of severe damage and total collapse of the building during an earthquake. It is important to develop alternative retrofitting methods to improve the effects of these defective concrete shear wall or to identify these shear wall problems to strengthen and make the building wall effective. Besides, Strengthening the shear wall will contribute to the earthquake performance of the building. A lot of studies carried out in the literature related to damages resulting from bending and shear forces in reinforced concrete shear walls. However, it was deemed necessary to conduct more different details of experimental studies and examination of these studies.

Doi: 10.24012/dumf.1420105

\* Sorumlu Yazar

## Giriş

Depremlerden sonra hasar gören yapılar üzerinde yapılan teknik incelemeler sonucunda perde duvarlarda oluşan hasarlar, perde duvarların binanın genel deprem davranışına katkısı ve perdesiz yüksek binaların ne kadar zayıf oldukları özellikle 06 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrası sahada gözlemlenmiştir.

Türkiye’de son yaşanan 06 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrası da sahada incelemeler gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmalarında betonarme perde duvara sahip yapıların deprem esnasında ağır hasar almasına rağmen diğer yapısal elemanlarda hasarları azaltarak yapının toptan göçmesini engellediği gözlemlenmiştir. Bu da bir kez daha yapının perde duvar içermesinin yaşam kaybını büyük oranda düşürdüğünü göstermektedir. Eğer bir yapı da perde duvar mevcut ise meydana gelen deprem büyüklüğünün etkilerinin büyük bir çoğunluğu betonarme perde duvarlar tarafından karşılanmaktadır.

Ülkemizde genel olarak beton kalitesinin çok düşük olması, düz yüzeyli donatı kullanılması, enine donatı aralık ve detaylarının yeterli olmaması, tasarım hataları, perde uç bölgesi oluşturulmaması, yetersiz etriye ve uygulama hataları gibi uygulamada sık karşılaşılan hatalar betonarme perde elemanın dış etkilere karşı davranışını etkilemekte ve sünekliğini ciddi bir şekilde azaltmaktadır.

Bu çalışmanın amacı perde duvarların genel davranışı, yönetmeliklerde yer alan sınır koşulları, özellikle deprem sonrası sahada karşılaşılan ve tespit edilen eksiklikler ve kusurlar, bu eksikliklerin giderilmesi için yapılan çalışmalar, literatürde Lifli Polimerler (LP/FRP) ile gerçekleştirilen güçlendirme çalışmaları ve son olarak perde duvarlar ile ilgili literatürde açıklığı, eksikliği olduğu değerlendirilen tevzi demirin yanlış kullanımı ve etkileri, perde uç bölgesinin yönetmeliğe uygun oluşturulmaması ve etkileri konularının incelenmesi ve değerlendirilmesidir.

## Materyal ve Metot

Bu bölümde betonarme perde duvarların tasarım esasları, davranışı, literatürdeki yeri, gelişimi, perde duvar tasarımına esas standartlar yönetmelikler ile belirlenen kıstaslar ve deprem sonrası yerinde gözlemlenen hasar ve göçme türlerinden bahsedilmiştir.

### Betonarme Perde Duvar

Yapıların artan yüksekliği ile ağırlıkları yani yükü artmaktadır. Bu büyük yüke ilave olarak meydana gelebilecek yanal yük (deprem, rüzgâr vs.) etkileriyle oluşabilecek ötelenmelere karşı yapının yönetmeliklerce belirlenen deplasman sınırını aşmaması için rijit davranabilmesi istenir. Bu rijitliği sağlayabilmesi için tasarımda ve en etkili yöntem betonarme perde ilavesidir. Geometrik şekilleri itibari ile eğilme rijitlik (EI) değeri yüksek olduğu için yapıya etkiyen yatay yüklerin büyük bir bölümü betonarme perde duvarlar tarafından karşılanır. Perde duvarların bu yükleri karşılayabilmesi ve

bina performansına katkı sağlayabilmesi için tasarım kurallarına uygun üretilmiş olması gerekmektedir.

Literatür incelendiğinde ilk perde duvar yapımı Büyük Kanto depremi (1923) sonrası T. Naito tarafından önerilmiştir. Naito burada betonarme perde duvarlar ile yapıların depreme karşı daha rijit davranış sağlayacağını önermiştir. Tokachioki (1968) depreminde yapılan gözlemler sonucu bina toplam kapalı alanının her bir  $1 \text{ m}^2$ 'si için yapının her bir yönünde  $30 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  miktarında betonarme perde duvar kullanılması ile binanın deprem karşısında ağır hasar görmediği görülmüştür. Naito'nun perde önerisi ise Japonya ve Şili hariç diğer ülkelerde hemen karşılık bulamamıştır. Amerika'da betonarme perde duvara ilk defa 1950 yılında ve Türkiye'de ise 1968 yılı yayınlanan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliği (ABYYHY-1968) ile yer verilmiştir [1], [2]. Türkiye'de 1968 yılı öncesi yayınlanan 1940, 1944, 1949, 1953 ve 1962 yönetmeliklerinde betonarme elemanlardan bahsedilirken 1968 yılında yayınlanan yönetmelik ile yapısal elemanların temel hesaplama ve boyut koşullarından bahsedilmiştir [3]. Mevcut Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY 2018) betonarme perde duvarlar uzun kenarın kısa kenara oranı 6 olan taşıyıcı sistem yapı elamanı, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları TS500 (2000)'de ise uzun kenarın kısa kenara oranı en az 7 olan düşey taşıyıcı olarak tanımlanmaktadır. Ancak literatürde ve farklı standartlarda bu oran için farklı değerler verilebilmektedir [4], [5].

Perde duvar yatay yük etkisi altında konsol kolon gibi davranır ve göçme şekilleri incelendiğinde ise perde duvarlarda kapasitesi, tasarımı, yükseklik uzunluk oranı vs. etkilere bağlı olarak eğilme göçmesi, kesme göçmesi, eğilme ve kesme etkisinin beraber görüldüğü göçme, toptan göçme, devrilme dönme göçmesi ve burulma göçmesi gibi farklı göçme türleri oluşmaktadır. Bunun yanında Amerika ve Şili'de perde duvarların çok ince olması nedeni ile düzlem dışı burkulma gibi göçme türleri de gözlenmiştir.

Perde duvarın eğilme kapasitesinin kesme kapasitesinden düşük olduğu eğilme göçmesinde genellikle sünek bir davranış oluşmaktadır. Bu davranış genellikle yükseklik/boy oranı 2 ve üzeri olan perdelerde görülmektedir. Eğilme göçme türünde, yanal kuvvetlerin etkisi ile perdenin bir ucunda basınç gerilmeleri oluşurken diğer ucunda çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Basınç etkisinin olduğu bölgede etriyenin düzgün aralıkta ve sayıda olmaması veya eksikliği ile betonun sıkışması, beton kaplamasının dökülmesi, demir donatıda burkulması oluşurken, perdenin diğer ucunda ise çekme gerilmelerinin oluşması ile betonda çatlaklar demir donatı da akma veya kopmalar meydana gelebilmektedir. Ayrıca gövde de tevzi donatısı eksiklikleri nedeniyle büyük kesme gerilme etkileri oluşabilir. Perde elemanda daha sünek göçme olması için standartlar ve yönetmelikler tasarımda perde duvarın eğilme davranışı göstereceği tasarım şartları oluşturmaktadır. Kesme göçmesi, eğilme göçmesinin aksine gevrek bir göçme türüdür. Genellikle yükseklik/boy oranı 2 altında olan perde duvarlarda görülmektedir. Gevrek ve ani bir göçme olduğu için

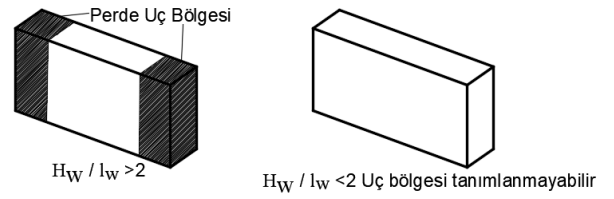
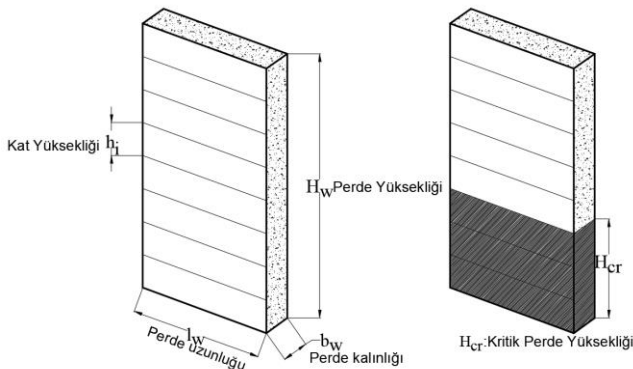
standart ve yönetmelikler bu tür bir hasar ve göçme modunun oluşmasını önlemek istemektedir. Kesme göçmesinde diyagonal çekme hasarı, diyagonal basınç, sık görülen kesme hasarlarıdır. Bununla birlikte perde duvarda eğilme ve kesme davranışının birlikte görüldüğü göçme türleri ile de karşılaşılmaktadır.

Perde duvarların temel kullanım amaçları yapıda yatay elemanlar ile yüklerin aktarımını ve yapının yönetmeliklerce belirlenen rijitliği ve dayanımı sağlamasıdır. Yapıya etkiyecek yatay yüklerin etkin bir şekilde karşılanabilmesi için boyut ve donatı düzen detaylarına ek olarak planda yerleşim şekli de büyük önem göstermektedir. Boyutları gereği yapıya yerleşiminin mümkün olduğu ölçüde simetrik olması beklenmektedir. Perde duvarın bir bölgeye veya belli bir yöne yerleşimi etkin çalışmasını engelleyecek ve yatay yüklerin etkilerine karşı gelemeyecektir [6], [7].

### Betonarme Perde Duvar Tasarım Esasları

Perde duvarlar boşluklu ve boşluksuz perde olarak iki gruba ayrılmaktadır [4]. İstenilen rijitliğin sağlanabilmesi ise perde duvarın beton dayanımına, şekline, atalet momentine, perde duvarın yükseklik uzunluk oranına, donatı düzenine ve donatı oranı gibi belli başlı faktörlere bağlıdır.

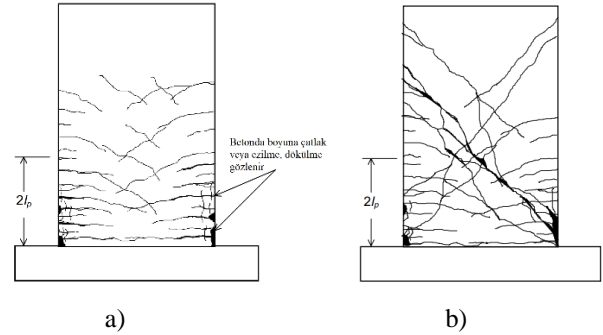
Perde duvar boyutlarına ilişkin tanımlar ve perde duvarın uç bölgesi oluşturma şartı Şekil 1’de paylaşılmıştır. Perde duvar davranışını en çok etkileyen parametre yükseklik/uzunluk ( $H/L$ ) oranıdır ve bu oran perde duvarın göçme davranışını etkilemektedir. Genel olarak  $H/L > 2$  olan perdeler narin (slender) olarak adlandırılmakta ve bu perdelerde eğilme göçmesi hâkimdir.  $H/L < 2$  olan perdeler bodur (squat) perde olarak adlandırılmakta ve bu perdelerde kesme veya kesme eğilme hâkim göçme türü görülmektedir. ASCE 41-17’de ise perde boyutları  $H/L > 3$  için baskın eğilme davranışı,  $H/L < 1.5$  baskın kesme davranışı ve  $1.5 < H/L < 3$  için ise eğilme-kesme davranışlı hâkim göçme görüldüğü belirtilmektedir [4], [8].



Şekil 1. Perde duvar boyut tanımları

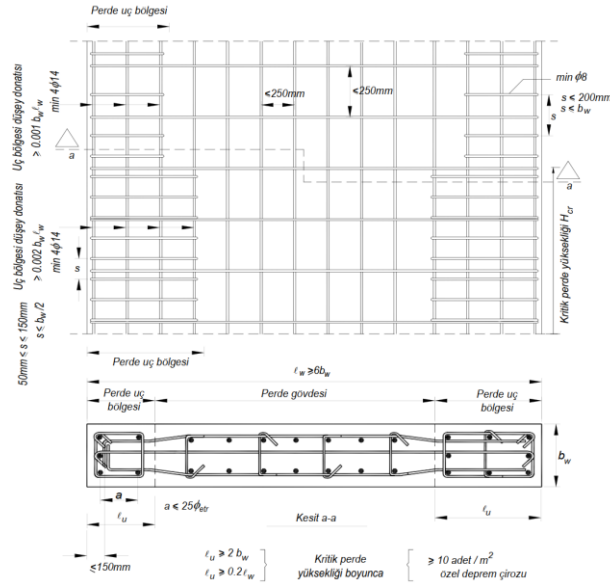
TBDY 2018 ve literatürde genel olarak  $H/L > 2$  olan ve süneklik düzeyi yüksek perdelerde yapıya etkiyen yanal kuvvetler nedeni duvarda eğilme etkisi ile perde köşelerinde aksel basınç ve çekme kuvvetleri oluşmaktadır. Bu etkileri azaltmak ve istenilen dayanımı sağlamak için bu tür perdelerin her iki ucunda da perde uç bölgesi oluşturulması gerekmektedir. Uç bölgesi için yönetmelikte ve diğer standartlarda farklı donatı oranları ve şekilleri belirtilse de oluşturulan uç bölgesi ile perde sünek bir davranış sergilemesi amaçlanmaktadır.

Diğer taraftan  $H/L < 2$  olan bodur perdelerde ise yapıya etkiyen yükler nedeni ile perde kesitinde kesme kuvveti dayanımı kritik olduğu için TBDY 2018’e göre perde gövdesi, perdenin tamamını temsil etmektedir [4]. Şekil 2’de perde duvarın yanal yük etkisinde göçme davranışı paylaşılmıştır.



Şekil 2. Perde duvar yatay yük etkilerine karşı göçme davranışı a) eğilme göçmesi b) kesme göçmesi [9].

$H/L > 2$  olan perdelerde yapıya etkiyen yanal yükler nedeni ile eğilme momenti etkisi ile uç kısımlarda zorlanmalar meydana gelir. Bu etkiyi karşılamak ve azaltmak için yönetmelik gereği perdenin her iki ucunda kolonlar gibi perde uç bölgesi oluşturulmaktadır. Bu bölge perde duvarın eğilme moment kapasitesini arttırmakta, eğilme momenti etkisi ile oluşacak yoğun basınç etkisini dağıtarak gerilmeyi azaltmakta, perdenin yanal stabilitesini arttırmakta ve oluşturulan uç bölgesine sargı donatılarının yerleşimi ile betonun sargılayıp, yük altında perdenin sünek davranmasını sağlamaktadır. Deprem yönetmeliğinde perde uç bölgesi ve perde gövdesi donatılarının düzenleme koşulları aşağıdaki Şekil 3’te paylaşılmıştır.



Şekil 3. Perde duvar uç bölgesi ve gövde donatılarının yerleşim esaslarına ilişkin koşullar (TBDY 2018)

Deprem yönetmeliklerindeki genel yaklaşım aynı olmakla beraber ülkeler sismik koşullarına göre farklı yaklaşımlar geliştirmektedir. Tablo 1'de TBDY 2018 ile önemli sismik tasarım standartlarına ait belli başlı koşullar ifade edilmektedir. Tablo 1'de paylaşılan Şili'de betonarme eleman tasarım esasları her ne kadar Amerikan Yapısal Eleman Tasarımı Gereksinimleri Standardını (ACI 318), esas alıyorsa da Şili sismik tasarım esasları ile Amerika'daki sismik tasarım esasları ayrılmaktadır. Şili'de yapıların deprem etkilerine karşı çok daha rijit davranmasının istenmesi nedeniyle, tasarım esaslarında belirlenen katlar arası görelî ötelenme limiti  $0.002h$  iken diğer üç standartta bu değer 0.01 ile 0.02 mertebesindedir. Yani Şili'de yapılan bir yapının Türkiye, Amerika veya Avrupa'ya göre neredeyse 10 kat daha az ötelenme yapması istenmektedir. Aynı özelliklere sahip bir yapının Şili ve Amerikan sismik tasarım esasları ile tasarlandığında Şili yönetmeliklerinde tarif edilen katsayıların neredeyse %50 daha güvenli tarafta olması nedeni ile de yapıya etkiyen kesme kuvveti değeri Amerikan sismik tasarım standardı ile tasarlanan yapıya göre 2 kat daha yüksek kesme kuvvetine maruz kalması istenmektedir. Bu da Japonya ve Şili'de büyük deprem etkilerine rağmen yapıların neden sağlam kaldığının en büyük göstergesidir [4], [10], [11], [12], [13], [14].

Tablo 1. Türkiye, Şili, Amerika ve Avrupa Birliği tarafından kullanılan sismik tasarım standartlarının ve yönetmeliklerinin karşılaştırılması

	Tasarım Yer hareketi
TBDY 2018	AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası ile ifade edilmektedir. 1.Bölge yer ivmesi (PGA)<0.33 g 2. Bölge 0.33g 3. Bölge 0.5g 4.Bölge yer ivmesi (PGA) > 0.75g 1. Bölge - A0 = 0.4 g 2. Bölge - A0 = 0.3 g 3. Bölge - A0 = 0.2 g 4. Bölge - A0 = 0.1 g Ülke üç sismik bölgeye ayrılmıştır. Sıfır periyotlu ivmelenme A0 ile tanımlanarak ifade edilmiştir.
NCh433.OF96	Zone 1 - A0 = 0.2 g Zone 2 - A0 = 0.3 g Zone 3 - A0 = 0.4 g

MCE<sub>R</sub> (Maksimum Beklenen deprem etkisi) haritası ile tanımlanmıştır.

ASCE/SEI 7-22

SS - Kısa süreli spektra tepki 2.0g'ye kadar değişmekte

S1 - 1 saniye spektral tepki 0.8g'ye kadar değişmektedir.

Eurocode 8'de ise M deprem büyüklüğü yapının ilgili merkez üssüne uzaklığına bağlı formül ile hesaplanmakta ve maksimum 0.3g değerini almaktadır.  $4 < M < 7.3 - 3 \text{ km} < R < 200 \text{ km}$

Eurocode -8

$$\log a_g = -1.48 + 0.27M - 0.92 \log R$$

#### Yapı sistemi

TBDY 2018

Yeni yapılacak yapılarda ve mevcut binaların güçlendirme tasarımı için uygulanır.

NCh433.OF96

Yeni yapılacak binaların tasarımını kapsamaktadır.

ASCE/SEI 7-22

Yeni yapılacak binaların tasarımını kapsamaktadır.

Eurocode -8

Binaların sismik tasarımı için geçerlidir.

#### Görelî kat ötelenme sınırları

Her bir deprem doğrultusu için binanın herhangi bir katında hesaplanan görelî kat ötelenmelerinin en büyük değeri verilen koşullara göre değerlendirilip (a) veya (b) koşuluna göre bulunması önerilmektedir. Bu da yaklaşık %2 değeriye denk gelmektedir.

TBDY 2018

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008 \kappa \quad \lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.016 \kappa$$

NCh433.OF96

Diyafram kütle merkezinde  $0.002h$  ve diyaframın diğer noktalarında  $0.001h$ 'tan küçük olması istenmektedir.

ASCE/SEI 7-22

Yapı sistemine ve risk kategorisine, analiz yöntemine bağlı olarak  $0.015h_{sx}$  ile  $0.020h_{sx}$  ötelenme sınırını aşmaması istenmektedir.

Eurocode -8

Katlar arası ötelenme sınırı %1'e eşittir.

#### Taban kesme kuvveti formülleri

TBDY 2018

$$V_{TE}^{(X)} = m_t S_{AR} (T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g$$

NCh433.OF96

$$Q_0 = CIP \quad C = \frac{2.75 A_0}{gR} \left(\frac{T'}{T}\right)^n \quad C_{min} = A_0/6g$$

$C_{max}$  NCh433 Tablo 6.4 (R değerine göre)

$$V = C_s W \quad C_s = \left(\frac{S_{DS}}{R}\right) \leq \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

ASCE/SEI 7-22

$$C_{smin} = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01$$

$$C_{smin} = 0.5 S_1 / \left(\frac{R}{I_e}\right) \text{ göçmeye yakın}$$

Eurocode -8

$$F_b = S_d(T_1) m. \lambda$$

#### Burulma düzensizliği

TBDY 2018

Her iki yönde  $\pm 5\%$  ek dışmerkezlilik etkileri de göz önüne alınarak, görelî kat ötelemeleri hesaplanacaktır.

Her iki yönde  $\pm 5\%$  ek dışmerkezlilik etkileri de göz önüne alınarak, görelî kat ötelemeleri hesaplanacaktır.

NCh433.OF96

Veya  $\pm 0.1bk.Zk/H$  her seviyede uygulanan burulma momentleri, o seviye-deki eksantriklik ile çarpılarak hesaplanacaktır.

ASCE/SEI 7-22

Eksantriklik, diyafram boyutunun %5'ine dik yönde dışmerkezlilik etkileri de göz önüne alınarak, hesaplanacaktır.

Eurocode -8

Her iki yönde  $\pm 5\%$  ek dışmerkezlilik etkileri de göz önüne alınarak, görelî kat ötelemelerinin hesabı hesaplanacaktır.

#### Genel Dizayn Spektrumu

TBDY 2018

$$S_{ae}(T) = (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}) S_{DS} \quad 0 \leq T \leq T_A$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad T_A \leq T \leq T_B$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad T_B \leq T \leq T_L$$

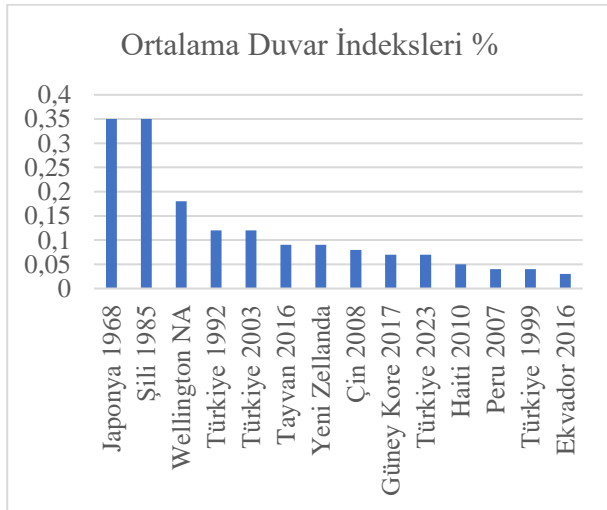
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_1}{T^2} \quad T_L \leq T$$

NCh433.OF96

$$S_a(T) = \frac{I A_0 \alpha}{R^*} \quad \alpha = \frac{1 + 4.5 \left(\frac{T_B}{T_0}\right)^p}{1 + \left(\frac{T_B}{T_0}\right)^p}$$

ASCE/SEI 7-22	$0 < T = 0.2 \text{ sec: } S_a(T) = \frac{S_{DS}}{2.5} + \frac{T}{0.2} (0.6S_{DS})$
	$0.2 \text{ sec} < T < T_S: S_a(T) = S_{DS}$
	$T_S < T < T_L: S_a(T) = \frac{S_{D1}}{T}$
	$T_L < T: S_a(T) = \frac{S_{D1}T_L}{T^2}$
Eurocode -8	$0 \leq T \leq T_B: S_c(T) = a_g S [1 + \frac{T}{T_B} (\eta 2,5 - 1)]$
	$T_B \leq T \leq T_C: S_c(T) = a_g S \eta 2,5$
	$T_C \leq T \leq T_D: S_c(T) = a_g S \eta 2,5 [\frac{T_C}{T}]$
	$T_D \leq T \leq 4s: S_c(T) = a_g S \eta 2,5 [\frac{T_C T_D}{T^2}]$

Türkiye deprem yönetmeliğinde  $\Sigma A_g$  herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusu ile aynı yönde çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının en kesit alanlarının toplamını,  $\Sigma A_p$  binanın tüm katlarının alanları toplamını,  $V_t$  ise yapıya etkiyen deprem yükünü ifade etmektedir. Yönetmelikte herhangi bir katta deprem doğrultusu ile aynı yönde çalışan taşıyıcı eleman oranının minimum 0.002 olması istenmektedir. Bu da Türkiye’de yapılacak beş katlı bir binada beklenen toplam kat alanında minimum betonarme taşıyıcı eleman alanına göre %1’dir. S. Pujol ve diğerleri (2024) tarafından Kahramanmaraş depremleri sonrası saha incelemeleri çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada taşıyıcı eleman oranının toplam kat alanına oranı ile elde edilen indeks yüzdeleri bulunup dünyadaki örnekleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4’te duvar indekslerinin karşılaştırması paylaşılmıştır. Deprem sonrası incelemede hasarlı yapıların çoğunun duvar indeksinin %0,10’a yakın olduğu gözlenmiştir. Binalarda büyük oranda perde duvar yapımına sahip Şili ve Japonya’da ise bu oran ortalama %0.35 olarak görülmektedir. Bu da deprem etkilerine karşı yapıda perde duvar oranının önemini göstermektedir.



Şekil 4. Ortalama duvar indekslerinin Türkiye ve diğer ülkelere göre karşılaştırmaları [1]

Tablo 2’de Türkiye, Amerika ve Avrupa standart ve yönetmelikleri perde duvar tasarım koşulları karşılaştırılması paylaşılmıştır. Tasarım koşulları ve kısaltmalar benzer tanımları ifade etmektedir. TBDY 2018 minimum beton dayanımı, perde genişliği, donatı oranı, detay koşulları, ile Amerikan ve Avrupa standardına göre geliştirilmiştir. Perdelerde eksenel yük sınırı koşullarında TBDY 2018 ve ACI 318 beton karakteristik dayanımını baz alırken Eurocode-8 dizayn

tasarım sınıfını almaktadır. Bu da TBDY 2018’e göre yapılan tasarımın daha güvenli tarafta kaldığını ifade etmektedir.

Tablo 2. Betonarme eleman tasarım standartları ve deprem yönetmeliklerinde perde duvar tasarım koşulları

Gereklilik	TBDY 2018	ACI 318	Eurocode -8
Minimum Beton Dayanımı	C25/30	Minimum 2500 psi (17,24 MPa)	C20/25
Perde Boyut Koşulu min $l_w$	$\geq 6 b_w$	$\geq 2.5 b_w$	$\geq 4 b_w$
Perdelerde Eksenel Yük Sınırı	$A_c \geq \frac{N_{dm}}{0.35 f_{ck}}$	$\phi P_{n,max} \geq P_u$ $\geq 0.2 f'_c A_g$	$\frac{N_{ed,EC}}{f_{cd} A_c} \leq 0.35$
Genişlik koşulu min $b_w$	250 mm, $h_{kat}/16$	Min (101.6 mm (4inch); $h/25$ )	200 mm, $h_s/15$
Max $s_w$ ; max $s_h$	250 mm	Min ( $l_w/5, 3h, 18 \text{ in (457 mm)}$ )	250 mm; $25. b_{wo}$
Min $\phi_w$ ; min $\phi_h$	8 mm	$\leq No. 5 (\phi 16)$	8 mm
Min $\rho_v$ ; min $\rho_h$	0.0025; 0.0025	0.0012; 0.0020	0.002; 0.002
Min $\rho_{uç}$	0.002; 0.001 ( $H_{cr}$ dışı)	$6 \sqrt{\frac{f'_c}{f_y}}; M_u/3V_u$ ( $H_{cr}$ dışı)	0.005; 0.002 ( $H_{cr}$ dışı)
Min $A_{s,uç}$	4Ø14	$\leq No. 5 (\phi 16)$	Ø12
Min $l_{uç}$ ( $H_{cr}$ iç; dış)	Maks(0.21 $l_w$ ; 2 $b_w$ ) / Maks(0.11 $l_w$ ; $b_w$ )	0.15. $l_w$	Maks(0.15 $l_w$ ; 1.50 $b_w$ )
Max $s_{uç}$ ( $H_{cr}$ iç; dış)	Min (150 mm; $b_w/2$ ) / min (200 mm; $b_w$ )	152 mm	Min (100 mm; 8. $d_{bi}$ ) /
Perde Duvar Uç Bölge Koşulu	Oluşacak aşırı gerilmelere karşı uç bölgesinin sargılanması istenmektedir. Belli sargılama şekilleri detaylı paylaşılmıştır.	Oluşacak aşırı gerilmelere karşı uç bölgesinin sargılanması istenmektedir.	Oluşacak aşırı gerilmelere karşı uç bölgesinin sargılanması istenmektedir.

### Mevcut Perde Davranışının Performansı Üzerine Yapılan Çalışmalar ve Gözlemler

Benjamin ve William (1957) tarafından H/L oranı 0,57 olan bodur perde numuneleri monotonik yükler altında yük deplasman grafikleri, dayanımları, göçme modları ve belirlenen değişkenlerin duvarın nasıl yüke tepki verdiğini incelemiştir [15]. Cardenas ve diğerleri (1972) tarafından H/L oranı 0.5 ve daha az olan yirmi bir perde numunesi test edilerek ACI tarafında da önerilen dayanım formülleri geliştirilmiştir [16]. Alexander vd. (1973) H/L<1.5 olan 5 adet perde duvar farklı yükseklik boy oranları ile farklı yatay yükler etkiyerek perde davranışı incelenmiştir. Farklı oranlardaki enerji yutma kapasiteleri ve süneklik düzeyleri karşılaştırılmıştır [17]. Hiroswa (1975) H/L oranları 1 ila 2.3 arasında değişen 49 numune monotonik ve çevrimsel yüke tabi tutularak deney sonu eğilme ve kesme göçme modları incelenmiş ancak süneklik açısından bilgi paylaşılmamıştır [18]. Barda vd. (1977) uç bölgesi oluşturulmuş 8 adet bodur betonarme perde duvar numunesi çevrimsel yükler altında test edilmiştir. Kesme göçme türünün hüküm olduğu deneylerde eğilme kapasitesinin artırılması

amaçlanmıştır. Deneylerde perde uç bölgesi boyuna ve enine donatılarının ve yükseklik uzunluk oranlarının etkileri ile onarım ve güçlendirme teknikleri incelenmiştir. Çalışmanın çıktıları ACI'da yer almış ve ilgili bölümüne temel teşkil etmiştir [19]. Paulay vd. (1982) çalışmasında bodur perde duvarların çevrimsel yükler altındaki etkisi incelemiş ve göçme türleri açıklanmıştır [20]. Oesterle vd. (1984) H/L oranı 2.4 olan yirmi adet farklı perde uç bölgesi donatı düzenine ve şekline sahip perde duvarlarda, perde uç bölgesinin donatı ile sargılanmasının perde duvarın dayanımına ve deplasman kapasitesine olumlu etki gösterdiği belirtilmiştir [21]. Pilakoutas and Elnashai (1995) H/L oranı 2 olan altı adet perde duvar çevrimsel yükler altında test edilmiş, perde uç bölgesi donatı oranı, sargılama ve etriye tevzi donatısı içeriği deney parametresi olarak kabul edilmiştir [22]. Salonikios vd. (1999) farklı donatı düzenine sahip bodur perde duvarlar Eurocode 8 ve ACI standartlarının deneysel olarak teyidinde yönelik incelenmiş, gövde ve uç donatısı düzeni ile eğilme hâkim göçme davranışı oluşabildiği belirtilmiştir [23]. Hidalgo (2002) gerçekleştirdiği çalışmasında ACI 318 tarafından önerilen düşey donatı oranının en az yatay donatı oranına eşit olması ile ilgili inceleme gerçekleştirmiş ve yatay donatıların süneklik davranışı üzerine katkı sağladığını, donatı oranlarının düşürülmesinin ise ciddi perde hasarlarına sebebiyet vereceğini belirtmiştir [24]. Massone ve Wallace (2004) narin perdelerin eğilme ve kesme davranışı üzerine çalışma gerçekleştiren, Shirai et al. (2007) H/L oranı 2.89 Japon standartlarına göre tasarlanan numune ile eğilme hâkim göçme gerçekleştirilmiş ve yeni standarda göre eğilme hâkim göçme olarak nitelendirilmiştir [25], [26]. Dazio et al. (2009) ve Beyer et al. (2011) çalışmaların narin perdelerin eğilme davranışı üzerine araştırma gerçekleştirmiş, sargılama etkisi ve narin perde de kesme davranışı incelenmiştir [27], [28]. Kuang and Ho (2008) tarafından standart detaylarına uygun olmayan bodur perde detaylandırılıp sünekliğe etkisi incelenmiştir [29]. Orakçal ve diğerleri (2009) 1950 ve 1970'ler arasında inşa edilen az donatı oranına sahip narin perdeler üzerine araştırma gerçekleştirmiş ve sonuçların standarttaki hesaplamalar ile karşılaştırmıştır [30]. Abdullah ve Wallace (2019) deprem etkileri sonrası beton ezilmelerinin ve donatı burkulmalarının yüksek olduğu görece ince narin perde duvarların uç bölgelerinin ve perdenin yanal dengesizliğe karşı duyarlılığı üzerine literatürde bulunan binden fazla test çalışması incelenerek çeşitli parametrelerle deplasman kapasitesinin tespiti için çalışma gerçekleştirilmiştir. Geçmişten betonarme perde duvar tasarımının gelişimini sağlayan çalışmalardan sonra günümüze ulusal ve uluslararası binlerce deneysel, analitik ve perde modelleme üzerine çalışma yapıldığı görülmektedir [31].

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrası sahada gözlenen Şekil 5 a'da perde uç bölgesinde ezilme ve Şekil 5 b'de ise perde duvarın uç kısmında eğilme kuvvetleri sonrası oluşan ezilme ve sonrasında betonun göçmesi ile duvar uzunluğu boyunca gövdede boyuna donatıların burkulmasıyla sonuçlanan perde hasarı oluşmuştur. İlginç bir şekilde boydan boya aynı

aralıklarda tevzi demir çatlakların nedeni tevzi demirinin sıyrılmaya çalıştığı görülmüştür. İki hasar tipinde de uygun perde uç bölgesinin oluşturulmadığı, etriye ve çirozların kancalarının 135°'lik açı yerine 90° olması, tevzi ve gövde donatılarının yönetmelikte belirtilene uygun olarak aralıkta, sayıda ve şekilde yerleştirilmediği, gözlemlenmiştir.



a)

b)

Şekil 5. a) Perde uç bölgesi hasarı b) perde uç bölgesinde beton ezilmesi, kırılması ile başlayıp perde boyunca boyuna donatıların burkulması

Şekil 6'da yönetmeliğe uygun olmayan tevzi donatısı, perde uç bölgesi betonun segregasyona uğramış boşluklu bir beton olması ve etriye detaylarını takip eden uygun olmayan beton yerleşimi ile hem basınç hem de kayma kuvvetleri etkili olmuştur. Tevzi demir donatı detayı ve beton yerleşimine dikkat edilmemesi nedeni ile hem basınç ezilmesi hem de kesme kuvveti aktarımı ile oluşan kayma hasar türlerine rastlanılmıştır. Betonarme sisteminde beton ile donatının beraber çalışması gerekirken, lokal boşluk kaldığı ve onarılmadığı için yapıya gelen bütün kesme kuvvetini demir tek başına karşılayamamıştır.



Şekil 6. Uygun olmayan perde tevzi, gövde donatısı detayı ve hatalı beton yerleşimi sonrası oluşan perde hasarı

Şekil 7'de deprem etkisi ile perde uç bölgesinde betonda ezilme mevcut, ezilme oluşma nedeni ise perde uç bölgesinin yönetmeliğe uygun olarak oluşturulmamış olumasıdır.



Şekil 7. Perde gövde kesme ve uç bölgesi ezilme hasarı

Şekil 8’de uygun olmayan perde yerleşimi sonrası yapı deprem etkisi ile yapıda 1. mod etkisi gözlemlenmiş ve yapı 1. mod da göçmüştür. Planda kırmızı çizgiler perde duvarları ifade ederken mavi çizgiler kolonları ifade etmektedir [1].



Şekil 8. Planda düzensiz perde yerleşimi nedeni ile oluşan hasar ve perde yerleşim planı [1].

### Perde Duvarların Lifli Polimer ile Güçlendirilmesi Üzerine Literatürde Yapılan Çalışmalar

Yapıların ve perde duvarların deprem yükleri altındaki davranışı ile ilgili literatür incelendiğinde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Ancak konu özelinde perde duvarların güçlendirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar ve literatür incelendiğinde ise Fiorato vd. (1983), Lefas ve Kotsovas (1990), Vecchio vd. (2002), perde duvarların ilk olarak eski kusurlu betonun kaldırılarak temizlenerek yerine yeni yerleştirilecek betonun, harcın, mevcut donatı ve eski beton ile sağlam bağlantısı yapılarak uygulanmıştır [32], [33], [34]. Sonrasında Fiorato vd. (1983), ve Corazao ve Durani (1989), Alcocer ve Jirsa (1991), beton mantolama uygulaması ile literatürde güçlendirme uygulamaları yapıldığı görülmüştür [32] [35] [36]. Miglacci vd. (1983), Estrada (1990), Alcocer ve

Jirsa (1991), Hoffschild vd. (1993), Biddah (1997), Elnashai ve Pinho (1997), Taghdi vd. (2000), Cho vd. (2004), yapının durumu, uygulama teknikleri ve işçilik faktörlerinin etkisi ile çelik parçaları kullanılarak güçlendirme uygulamaları ile ilgili çalışmalarda yapılmıştır [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42]. Zamanla gelişen yapı malzemesi teknolojisi ile yeni uygulamalar ve güçlendirme teknikleri üzerine çalışma yapıldığı, çalışmaların perde davranışına ve dayanımına göre farklı türlerde ve şekillerde önerildiği görülmektedir.

Son yıllarda uygulama ve kullanım kolaylığı sağlayan LP ile ilgili yapılan çalışmalar sonrası belirlenen esaslar yönetmelik ve standartlarda yer bulmuştur. Güncel TBDY 2018 yönetmeliğine LP ile güçlendirme esasları eklenmiş olsa da perde duvarların LP ile güçlendirilmesine ilişkin detay bulunmamaktadır [4]. Benzer şekilde Amerikan Beton Enstitüsü LP Tasarım ve Yapım Yönetmeliğinde (ACI 440.2R-08) LP ile güçlendirme için belirtilen hükümlerin en boy oranı 2.0’den büyük olan ve boyutları 900 mm’yi aşan elemanlar için, yapılacak testler ile etkinliği gösterilmediği sürece önerilmediği belirtilmektedir [43].

Literatürde perde duvarların LP ile güçlendirilmesine yönelik yapılan ilk çalışmalardan biri, Ehsani vd. (1997) yaşanan deprem sonrası betonarme bir binanın cam lifli polimer (GFRP) ile güçlendirilmesi çalışmasıdır [44]. Güçlendirmenin etkinliğinin perde duvarın birim genişliğinin moment kapasitesinin %74’e yükselmesini sağladığı ve güçlendirilmeyen perdenin kapasitenin %13 civarında olduğu gözlemlenmiştir [44]. Pantelides vd. (1999), köprü ayak ve kirişleri ile birleşim bölgelerini LP ile güçlendirmişler ve birleşim bölgesi kesme kapasitesi %30 arttığı gözlemlenmiştir [45]. Volny ve Pantelides (1999) çevrimsel yükler altında güçlendirilen numunelerde güçlendirme malzemesinin beton yüzeyi ile olan temasının da parametreler arasında değerlendirildiği ve deneyler sonrası numunelerde karbon LP (CFRP) düşük bir değerde çalıştığı ve beton yüzeyden ayrıldığı ve perdede kesme göçmesi gözlemlenmiştir [46].

Lombard vd. (2000) basınç dayanımı 40 MPa olan bodur biri orijinal, biri onarılmış ve ikisi güçlendirilmiş olmak üzere dört adet perde duvar çevrimsel yükler altında deneysel ve analitik olarak incelendiği çalışma sonrası karbon LP ile güçlendirmenin hasar sonucu kaybedilen elastik dayanımı kazanmak için, akma dayanımı ile eğilme kapasitesini arttırmak ve hasarsız duvarları güçlendirilerek dayanımını arttırmak için kullanılabilir olduğu belirtilmiştir [47]. Sheikh vd. (2002) yaptığı çalışmada orijinal ve hasarlı olup onarılan perde numuneleri karbon ve cam LP ile güçlendirdikten sonra güçlendirmenin eğilme ve kesme kapasitesine etkileri incelenmiş, farklı polimerlerin özelliklerinin güçlendirmeye etkileri karşılaştırılmıştır [48]. Ghobarah ve Khalil (2004) perde duvarların kesme ve süneklik davranışlarının muhtemel rehabilitesi için 38 MPa dayanıma sahip bodur perde numunelerini deneysel çalışma ile incelemiştir. Numunelerde güçlendirme karbon LP ile perdenin tamamı iki kat ve perde uç bölgesi iki kat polimer ankrajlanarak gerçekleştirilmiştir. Güçlendirilen numunelerin orijinal numunelere göre

ortalama %50 daha fazla yük taşıdığı ve %60 daha fazla yatay deplasman yaptığı görülmüştür [49]. Antoniadis vd. (2005) beton basınç dayanımı ortalama 27 MPa olan altı adet perde duvar numunesi LP bantları için kullanılan özel tip ankrajların eğilme kapasitesi artışına etkisini incelemek üzere deneye tabi tutulmuştur. Hasarlı perdelerin onarımı ve güçlendirilmesini takip eden deneyler sonrası güçlendirilmiş perde numunelerin eğilme kapasitelerinin %5 ila %48 oranında arttığı gözlemlenmiştir [50]. Antoniadis vd. (2007) Beton dayanımı 25 MPa olan 11 adet bodur perde duvar numunesi ilk önce göçme durumuna kadar test edildikten sonra onarılıp, güçlendirilip tekrar teste tabi tutularak davranışları incelenmiştir. LP ile güçlendirme işlemleri sonrası tekrar test edilen numunelerin deplasman kapasitelerinin, orijinal numunelere oranla %25 daha düşük olduğu ancak güçlendirilmesinin duvarlarda olumsuzlukların gelişmesini engellemede etkili olduğu görülmüştür [51]. Naderpour vd. (2008) analitik çalışmada perde duvarın plastik mafsallı oluşması beklenen bölgede uygulanan karbon LP güçlendirme ile sadece kesme dayanımını değil sargılama etkisi ile süneklik artışıyla çatlak dayanımı %35, eğilme kapasitesi %20'ye kadar modelde görülmüştür [52]. Li ve Lim (2010) dört adet beton basınç dayanımı 40 MPa olan bodur perde duvar numunesinin ilk önce göçme anına kadar test edilip sonra onarılıp LP ile güçlendirilerek tekrar göçme anına kadar test edilmiş ve duvar performansının geri kazanıldığı belirtilmiştir [53]. Mostofinejad ve Anaei (2012) beton dayanımı 31.6 ve 49 MPa olan perde duvarların plastik mafsallı bölgelerinin LP sargılanarak eğilme kapasitesi üzerindeki davranışının incelendiği ve FRP ile güçlendirilmesinin, duvarın sünekliğini ve deplasman kapasitesini %50 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir [54]. El-Sokkary ve Galal (2012) beton dayanımı 37 ve 45 MPa olan orijinal ve LP ile güçlendirilmiş iki adet perde duvarın sabit eksenel yük altında yatay çevrimsel yüke tabi tutularak eğilme ve kesme kapasitelerinin etkinliğini gözlemlenmek için göçme anına kadar deneye tabi tutulmuş ve deney sonunda güçlendirilmiş numunenin eğilme kapasitesinde %80'lik bir artış oluşurken, sünekliğinde bir azalma olduğu gözlemlenmiştir [55]. Dan (2012) tarafından yapılan çalışmada H/L oranı 3 ve beton sınıfı C20/25 olan iki adet demir profiller ile kaplı betonarme perde duvar göçme öncesi duruma kadar test edildikten sonra karbon LP ile güçlendirilerek tekrar teste tabi tutulmuş, hasar sonucu dayanımı düşen perde duvarların kısmi sargılama etkisini ve eğilme kapasitesini arttırmaya yönelik bir uygulama olması amaçlanmıştır. Deney sonucunda onarılıp güçlendirilen numunelerin yük taşıma kapasitelerinin, orijinal hasarsız numune ile benzerlik taşırken, dayanım ve enerji yutma kapasitelerinde ise hafif bir düşüş olduğu tespit edilmiştir [56]. Altın vd. (2012) beton dayanımı 15,5 MPa olan biri orijinal, diğer dördü karbon LP şeritleri ile farklı düzenlerde güçlendirilen toplamda beş adet bodur perde duvar numunesi deneye tabi tutulmuş, güçlendirme şekillerinin perde duvarın yanıl dayanımı, enerji yutma kapasitesini ve deplasman kapasitesini arttırdığı gözlemlenmiştir [57]. Lau ve Cruz-Noguez (2013) çalışmada ana amaç ise yeni tüp ankraj sisteminin LP ile güçlendirilmiş numunelerdeki

performans değerlerinin arttırmaya etkisi incelenmiş ve deneylerde yeni tüp ankraj sisteminin LP'nin beton yüzeyinden erken ayrılma etkilerini, demir sıyrılma hatalarını düşürdüğünü ve sünekliğini artırarak ani diyagonal kesme etkilerini iyileştirdiği gözlemlenmiştir [58]. Shaheen vd. (2013) düzensiz etriye, zayıf sargılama ve plastik mafsallı bölgesinde yetersiz bindirme boyuna sahip beton dayanımı 20 MPa olan dokuz adet bodur perde numune göçme anına kadar test edilmiş, sonra onarılarak ve belirlenen düzenlerde LP ile güçlendirilerek tekrar göçme anına kadar teste tabi tutulmuştur. Deney sonunda LP'nin gevrek kesme göçmesini elimine etmede etkili olduğu gözlemlenmiştir [59]. Nguyen vd. (2014) beton dayanımı 34,65 MPa bodur ve narin perde duvar, orijinal ve güçlendirilerek hem analitik olarak hem de deneysel olarak incelenmiş ve güçlendirilmesinin çatlak gelişimine ve göçmeye neden olacak kesme etkilerini iyileştirdiği gözlemlenmiştir [60]. Qazi vd. (2015) beton dayanımı 40,6 MPa olan iki adet bodur perde numunesi orijinal ve kesme etkilerine karşı güçlendirilmiş olarak hazırlandığı, deneye tabi tutulduğu güçlendirme yöntemi ile perde numunesinin dayanım ve deplasman kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir [61]. Zhang vd. (2015) beton dayanımı 40 MPa olan dört adet perde numunesi (iki tane L şeklinde ve iki tane T şeklinde) test edilmiştir. Hasar gören numuneler onarılıp LP ile güçlendirildikten sonra tekrar teste tabi tutulmuş ve deney sonrası orijinal numunelerin mukavemet ve dayanımının çoğunun onarım ve güçlendirme işlemi ile geri kazanıldığı ancak onarılan numunelerin, orijinal numunelere göre sünekliğinin azaldığı gözlemlenmiştir [62]. Shen vd. (2017) beton dayanımı 31 MPa olan 6 adet bodur perde duvar numunesinden biri güçlendirilmeden diğerleri ise farklı şekillerde bazalt LP şeritler ile güçlendirilerek deneye tabi tutulmuş, deneyler sonucunda güçlendirilen numunelerin dayanımlarında ve enerji yutma kapasitelerinde artış olduğu tespit edilmiştir [63]. Qazi vd. (2019) beton dayanımı 35 MPa olan üç adet bodur perdeden ikisi farklı karbon LP konfigürasyonları uygulanarak güçlendirildiği çalışmada, güçlendirilen numunelerin orijinal numuneye göre kesme dayanımı ve deplasman kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir [64]. Shen vd. (2019) beton dayanımı 31 MPa olan 7 adet bodur betonarme perde duvarlardan biri orijinal, üç adedi belli oranda korozyona uğramış ve diğer üç adedi ise korozyona uğradıktan sonra bazalt LP ile onarılmış, sabit eksenel yük altında çevrimsel yatay yükler ile göçme anına kadar deneye tabi tutulmuştur. Bazalt LP ile güçlendirilen korozyonlu numunelerin sismik dayanıma katkı sağlayıp, perde dayanımını iyileştirdiği gözlemlenmiştir [65]. El-Kashif vd. (2019) eski standartlara göre tasarlanan beton küp dayanımları 42,1 ve 52,3 MPa olan perde duvarların LP ile güçlendirilmesinin etkileri sonlu eleman analizi modelleri oluşturularak incelenmiştir. Analitik çalışmalar, LP ile gerçekleştirilen sargılamanın gevrek kesme göçmesini engellemede etkili olduğu gözlemlenmiştir [66], [67], [68].



## Araştırma Bulguları

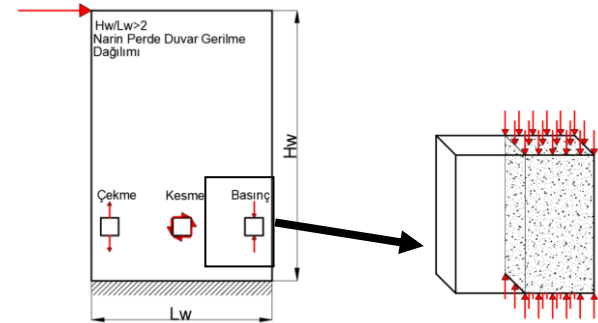
Ülkemizde TÜİK verilerine göre hanehalkının ikamet ettikleri binaların inşa yılı incelendiğinde ve yapım tarihi bilinmeyen yapılarda eklendiğinde hanehalkının %53,6'sı 2001 yılı öncesinde inşa edilen yapılarda ikamet etmektedir. Yapı denetimi ve hazır beton kullanımında 2001 yılı öncesi zorunluluk hali olmaması, yönetmeliklere uygun olmayan yapı stoğu hakkında fikir vermektedir. Bu yapıların hepsinin dönüştürülmesinin veya mevcut yönetmeliklere uygun hale getirilmesinin ne kadar zorunlu olduğu görülmektedir. Son yaşanan 6 Şubat Kahramanmaraş Pazarcık-Elbistan depremleri sonrası saha çalışmaları perde duvarlarda; uç bölgelerinin oluşturulmadığı, etriye kancalarının uygun şekilde ve aralıkta düzenlenmediği, beton dayanımının düşük kaldığı, yeterli sargılama olmaması nedeni ile betonun ezilerek boyuna donatıların burkulduğu, perde duvar üstü döşeme altı birleşim bölgesinde betonun düzenli yerleştirilmediği veya betonun segregasyona uğradığı, tevzi demir donatı yerleşimine de dikkat edilmemesi ile birleşim bölgesinde hem basınç ezilmesi hem de kesme kuvveti aktarımı ile oluşan kayma hasarlarının olduğu gözlenmiştir. Mevcut yapı stoğu düşünüldüğünde çoğu yapının beton dayanım değerinin TBDY 2018 tarafında istenen minimum C25 koşulunu sağlamadığı, gözlenmiştir.

Yönetmelik ve standartlarda perde duvarların LP ile güçlendirilmesine yönelik hükümler incelenmiştir. TBDY 2018'de LP ile yapının güçlendirilmesi ile ilgili bölümde perde duvarlara uygulanmasına yönelik kesin hükümler bulunmamaktadır. ACI 318'de minimum perde boyutunun 2,5bw olduğu, Amerikan Beton Enstitüsü LP Tasarım ve Yapım Yönetmeliğinde (ACI 440.2R-08) taşıyıcı elemanların LP ile güçlendirme yapılabilmesi için en boy oranı 2.0'den büyük olan ve boyutları 900 mm'yi aşan elemanlar için, yapılacak testler ile etkinliği gösterilmediği sürece önerilmediği belirtilmektedir. Yani Amerikan standartları da perde duvarların LP ile güçlendirilmesi ile ilgili kesin hükümler içermemektedir [4], [43].

Literatür, deneysel ve kuramsal çalışmalar incelendiğinde Ehsani vd. (1997), Pantelides vd. (1999), Volny ve Pantelides (1999), bodur perdenin göçme davranışı LP'in yapının ve perde duvarın tamamına uygulanarak güçlendirme ile kesme davranışı iyileştirilmiştir. Sheikh vd. (2002) bazalt ve karbon LP kullanarak bunların perde duvarın eğilme ve kesme kapasitene etkisini incelenmiştir. Eğilme davranışının iyileştirilmesine yönelik yapılan güçlendirmede perde duvarda kesme göçmesi görülmüştür. Antoniadis vd. (2005,2007), Shaheen vd. (2013) çalışmalarında çoğunlukla bodur perde duvar numuneleri test edilip, onarılıp, güçlendirip tekrar teste tabi tutularak, perde duvarda özellikle eğilme kapasitesi ve kesme kapasitesi artışı sağlanmıştır. Mostofiejad ve Anaci (2012) perde duvar plastik mafsallı bölgesini güçlendirerek deneye tabi tutmuş ve eğilme kapasitesinde artış gözlenmiştir. Ankray kullanılmadığı için sargılanan LP katmanı arttığı halde etkinliklerinin az seviyelerde olduğu gözlenmiştir. Dan (2012) çelik profiller içeren narin perde duvar deney

sonrası onarılıp, şerit LP ile güçlendirilerek incelenmiş ve taşıma kapasitesi aynı değerde iken, dayanım ve süneklikte düşüş gözlenmiştir. Altın vd. (2012) düşük dayanımlı bodur perde duvar farklı LP şerit şekilleri ile tam sargılanarak ve ankraylanarak deneye tabi tutulmuş ve güçlendirilmiş perde duvarın deplasman ve enerji yutma kapasitesinin arttığı tespit edilmiştir. Qazi vd. (2015), Shen vd. (2017), Qazi vd. (2019), Shen vd. (2019) bodur perde, Nguyen vd. (2014) ise narin ve bodur perdeler şerit LP ile ankray uygulanarak kesme etkilerine karşı güçlendirilmiş, dayanım ve deplasman kapasitesi artışı gözlenmiştir [44]- [66]. Bedirhanoglu (2022) aşırı düşük kısa kolonların güçlendirme sonrası davranışını incelemiş ve kesme etkilerini iyileştirmek için yapılan LP sargılanmanın, betonun basınç dayanımını da arttırdığını belirtmiştir [69].

Literatürde LP ile sadece perde uç bölgesinin farklı ankray şekil ve detayları ile güçlendirilmesinin perde davranışına etkileri üzerine araştırma yapılmamıştır. Şekil 9'da görüleceği üzere narin perdelerin uç bölgelerinde eksenel basınç ve çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Perde uç bölgelerine yapılacak ankraylı sargılama perde duvarın eğilme davranışını iyileştirecek ve sargılanmanın etkisi ile uç bölgede dayanım artışı ile perde kesme güvenli hale de gelmiş olacaktır. Sadece perde uç bölgesinde yapılacak sargılama ile hem maliyet hem uygulama kolaylığı sağlayacaktır. Buna ek olarak literatürde karşılaşılmayan Şekil 9'da gösterildiği gibi perde uç bölgesinin küçük modeli oluşturularak narin perdelerde uç bölgesinin davranışı bu modeller üzerinden incelenebilir. Model üzerinden LP sargılanmanın etkileri de deneyler ile tespit edilebilir.



Şekil 9. Narin perdelerde oluşan gerilme görünümü

Literatürde yapılan çalışmaların çoğu yüksek dayanımlı beton ile gerçekleştirilmiştir. Mevcut yapı stoğu durumunu yansıtmaları için düşük dayanımlı betona sahip perde duvarların LP ile güçlendirilmesine yönelik az sayıda yapılan çalışmaların artırılması gerekmektedir. Deprem sonrası karşılaşılan hasarlarda ve literatürde tevzi demir düzeni, şekillerinin perde davranışına nasıl bir etki göstereceği ve davranışın güçlendirme detaylar üzerine çalışmalar yapılması gerektiği düşünülmektedir. Bununla birlikte perde duvarların yapı için ne kadar hayati öneme sahip olduğu ve mevcut binalarımızın deprem afetine karşı güçlendirilmesinde etkin bir şekilde kullanılabilen detaylar geliştirilmesi gerektiği görülmüştür.

## Sonuçlar

Bu çalışmada mevcut perdeler ile kusurlu davranış gösteren perde duvarlar üzerine yapılan çalışmalar incelenip kıyas edilmiştir. Depremde gözlenen hasarlar irdelenmiş, kusurlu perdelerin LP ile güçlendirilmesine yönelik literatür çalışmaları incelenerek kısa özeti sunulmuştur. Literatürde LP ile güçlendirmenin pratik ve etkili olduğunu göstermektedir. Çalışmalarda LP perde duvarın tamamına bez veya şerit şeklinde ankrajlı veya ankrajsız uygulanarak perdenin kesme, eğilme, kesme ve eğilme birlikte görülen göçme türlerinin iyileştirilmesi için kullanılmıştır. Ankrajlı kullanımın, ankrajsız kullanıma göre daha etkin olduğu gözlenmiştir. Hasar almış perde duvarlarda ise kaybedilen dayanım ve deplasman kapasitesinin geri kazanımı için uygulanmıştır. Bununla birlikte LP uygulaması perde duvarın, süneklilik, dayanım, deplasman kapasitesini de iyileştirdiği çalışmalarda gözlenmiştir. Bu sebeple LP'nin taşıyıcı elemanın hasar almasını sınırlandırdığı ve hasarlı elemanın ise hasar öncesi duruma getirme de kullanılabilceği görülmektedir. Ancak literatürde perde duvarların sadece uç bölgelerinin farklı ankraj düzenleri ile sargılanmasının perde davranışına etkisi incelenmemiştir. Uç bölgesi sargılanarak düşük dayanımlı betonarme perde duvarda basınç etkisi ile dayanım artışı gözlenebilir. İncelenen perde numunelerinin beton dayanımları genellikle 25 MPa'dan daha büyük betonlar kullanılmıştır. Literatürdeki bu hususun değerlendirilerek düşük dayanımlı perde duvarların güçlendirilmesine yönelik çalışma yapılması gerekmektedir. Sahada ve literatürde donatı detayları ve parametreleri incelenmiş ve TBDY 2018'e uygun olarak düzenlenmediği gözlenmiştir.

Depremde gözlenen hasarlar ve LP üzerine yapılan literatür çalışmaları sonrası aşağıdaki hususlar tespit edilmiş olup bu konular üzerine öneriler paylaşılmıştır.

- 1- Literatürde 25 MPa'dan daha yüksek beton dayanımına sahip perde numunelerinin incelendiği gözlenmiştir. Daha düşük dayanımlı beton sınıfları ile araştırma yapılması önerilmektedir.
- 2- Literatürde narin perdelerde, perde uç bölgesinin LP ile farklı ankraj kombinasyonları uygulanarak etkilerinin incelenmesine yönelik çalışma yapılmadığı gözlenmiştir. Perde uç bölgesi boyunca farklı ankraj detayları tasarlanarak deneysel olarak incelenmesi önerilmektedir.
- 3- Perde üstü, döşeme altı bölgede betonun hatalı ve uygun yerleşiminin sağlanmaması nedeni ile perdelerde kesme ezilme hasarlarının oluştuğu gözlenmiştir. Hasar türünün incelenmesi önerilmektedir.
- 4- Donatı detaylarının yönetmeliğe uygun şekilde düzenlenmemesi nedeni ile perdelerin tevzi demir eksikliği, düzensizliği nedeni ile etkinliği zayıflamış perde duvarlarda oluşacak hasarların LP ile güçlendirilmesine yönelik detayların geliştirilmesi önerilmektedir.

## Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Yazar Katkıları

Efe: Çalışma konsepti ve tasarım, Veri toplama, Verilerin analizi ve yorumlanması, Taslağın oluşturulması, Revizyon.

Bedirhanoglu: Çalışma konsepti ve tasarım, Verilerin analizi ve yorumlanması, Taslağın oluşturulması.

## Kaynakça

- [1] S. Pujol, . I. Bedirhanoglu, C. Donmez, J. D. Dowgala, M. Eryilmaz-Yildirim, K. Klaboe, F. B. Koroglu, B. Ozturk, L. Pledger ve E. Sonmez, "Quantitative evaluation of the damage to RC buildings caused by the 2023 southeast Turkey earthquake sequence," *EERI Earthquake Spectra*, pp. 1–26, 2024, DOI: 10.1177/8755293023.
- [2] T. Shiga, A. Shibata ve T. Takahashi, "Earthquake Damage and Wall Index of Reinforced," *Tohoku District Symposium*, no. No. 12, pp. 29–32 (in Japanese), Dec. 1968.
- [3] S. Cansız, "Türkiye'de Kullanılan Deprem Yönetmeliklerinin Özellikleri ve Eşdeğer Yatay Deprem Yüklü Hesabının Değişimi," pp. 58-71, Ocak 2022.
- [4] TBDY, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Ankara: Çevre Şehircilik Bakanlığı, 2018.
- [5] TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, 2000.
- [6] N. Kumbasar ve Z. Celep, Betonarme Yapılar, İstanbul: Sema Matbaacılık, 1998.
- [7] K. Darılmaz, Betonarme, İstanbul: Birsan Yayınevi, 2022.
- [8] ASCE 41-17 Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, ASCE, 2017.
- [9] FEMA 306 Evaluation Of Earthquake Damaged Concrete And Masonry Wall Buildings Basic Procedures Manual, FEMA 1998.
- [10] Chilean Standard NCh433.Of96: Seismic Design of Buildings, Chile, 1996.
- [11] ACI 318-19 Building Code Requirements, American Concrete Institute (ACI), 2019.
- [12] ASCE 7-22 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers (ASCE), 2022.
- [13] Comparison of U.S. and Chilean Building Code Requirements and Seismic Design Practice 1985–2010, National Institute of Standards and Technology NIST), 2012.

- [14] Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1 : General rules, seismic actions and rules for buildings, European Standard, 2004.
- [15] J. R. Benjamin ve H. A. Williams, "The Behavior of One-Story Reinforced Concrete, Journal of the Structural Division," *ASCE*, May 1957, pp. pp. 1-49.
- [16] A. E. Cardenas, J. M. Hanson, W. G. Corley ve E. Hognestad, "Design Provisions for Shear Walls," *Journal of the American Concrete Institute*, Feb 1972.
- [17] C. M. Alexander, A. C. Heidebrecht ve W. K. Tso, "Cyclic load tests on shear wall panels," *Rome: Proceedings, fifth world conference on earthquake engineering*, 1973, pp. 1116-1119.
- [18] M. Hiroswawa, "Past Experimental Results on Reinforced Concrete Shear Walls and Analysis on Them," *In Kenchiku Kenkyu Shiryo: Building Research Institute, Ministry of Construction. (In Japanese).*, 1975, p. No. 6 (p. 277).
- [19] F. Barda, J. Hanson ve W. G. Corley, "Shear strength of low-rise walls with boundary elements," *Special Publication*, pp. 53, 149-202..
- [20] T. Paulay, M. J. N. Priestley ve A. J. Syngge, "Ductility in earthquake resisting squat shear walls," *ACI Journal Proceedings*, July 1982, pp. Vol. 79, No. 4, pp. 257-269.
- [21] R. G. Oesterle, J. D. Aristizabal-Ochoa, K. N. Shiu, W. G. Corley ve O. A., "Web Crushing of Reinforced Concrete Structural Walls," *ACI Journal Proceedings*, 1984, p. 81(3).
- [22] K. Pilakoutas ve A. Elnashai, "Cyclic behavior of reinforced concrete cantilever walls I: Experimental results," *ACI Structural Journal*, pp. 92(3), 271-281.
- [23] T. N. Salonikios, A. J. Kappos, I. A. Tegos ve G. G. Penelis, "Cyclic load behavior of low-slenderness reinforced concrete walls: Design basis and test results," *ACI Structural Journal*, 96(4), pp. 649-660.
- [24] P. A. Hidalgo, R. M. Jordan ve M. P. Martinez, "An analytical model to predict the inelastic seismic behavior of shear-wall, reinforced concrete structures," *Engineering Structures*, 2002, pp. 24(1), 85-98.
- [25] L. M. Massone ve J. W. Wallace, "Load-deformation responses of slender reinforced concrete walls," *ACI Structural Journal-American Concrete Institute*, 2004, pp. 101(1), 103-113.
- [26] K. Shirai, T. Matsumori ve T. Kabeyasawa, "3-D Dynamic Collapse Test of a Six-Story Full-Scale RC Wall-Frame Building," *Structural Engineering Research Frontiers*, pp. 1-10.
- [27] A. Dazio, K. Beyer ve H. Bachmann, "Quasi-static cyclic tests and plastic hinge analysis of RC structural walls," *Engineering Structures*, 2009, 31(7), pp. 1556-1571.
- [28] K. Beyer, A. Dazio ve M. J. Nigel Priestley, "Shear deformations of slender reinforced concrete walls under seismic loading," *ACI Structural Journal*, 108(108), pp.167-177.
- [29] J. S. Kuang ve Y. B. Ho, "Seismic Behavior and Ductility of Squat Reinforced Concrete Shear Walls with Nonseismic Detailing," *ACI Structural Journal*, pp. 105(2), 225-231.
- [30] K. Orakçal, L. M. Massone, and J. W. Wallace ve J. W. Wallace, "Shear Strength of Lightly Reinforced Wall Piers and Spandrels," *ACI Structural Journal*, August 2009, pp. 455-465.
- [31] S. A. Abdullah ve J. W. Wallace, "Drift Capacity of Reinforced Concrete Structural Walls with Special Boundary Elements," *ACI Structural Journal*, Jan 2019, V. 116, No. 1 pp. 183-194.
- [32] A. Fiorato, R. Oesterle ve W. Corley, "Behavior of Earthquake Resistant Structural Walls before and after Repair," *ACI Journal*, 80(5), pp. 403-413, 1983.
- [33] I. Lefas ve M. Kotsovos, "Strength and Deformation Characteristics of Reinforced Concrete Walls under Load Reversal," *ACI Structural Journal*, 87(6), pp. 716- 726, 1990.
- [34] F. Vecchio, O. Haro de la Pena, Bucci, F. ve D. Palermo, "Behavior of Repaired Cyclically Loaded Shear Walls," *ACI Structural Journal*, 99(3), pp. 27-334., 2002.
- [35] M. Corazao ve A. J. Durrani, "Repair and strengthening of beam-to-column connections subjected to earthquake loading,," *National Center for Earthquake Engineering Research*, State University of New York at Buffalo, New York, 1989.
- [36] S. M. Alcocer ve J. O. Jirsa, "Reinforced concrete frame connections rehabilitated by jacketing," *Phil M. Ferguson Structural Engineering Laboratory*, the University of Texas at Austin, 1991.
- [37] A. Migliacci, R. Antonucci, N. A. Maio, P. Napoli, A. S. Ferretti ve G. Via, "Repair techniques of reinforced concrete beam-column joints," *Final report, IABSE Symposium on Strengthening of Building Structures-diagnosis and therapy* pp. 355-362, 1983.
- [38] A. Elnashai ve R. Pinho, "Repair and Retrofitting of RC Walls using Selective Techniques," *Journal of Earthquake Engineering*, 2:4, pp. 525-568.
- [39] S. Cho, B. Tubber, W. Cook ve D. Mitchell, "Structural Steel Boundary Elements for Ductile Concrete Walls," *Journal of Structural Engineering*, 130:5, pp.762-768.
- [40] J. I. Estrada, "Use of steel elements to strengthen a reinforced concrete building." *University of Texas at Austin*, M.Sc. thesis, p. 66 pages, 1990.
- [41] T. E. Hoffschild, H. G. L. Prion ve S. Cherry, "Seismic retrofit of beam-to-column joints with grouted steel tubes," *Proceedings of the Tom Paulay Symposium on Recent Developments in*

- Lateral Force Transfer in Buildings, University of California, San Diego, La Jolla, CA*, pp. 403-431, 1993.
- [42] A. M. S. Biddah, A. Ghobarah ve T. S. Aziz, "Upgrading of no ductile reinforced concrete frame connections," *ASCE, Journal of Structural Eng.*, Vol. 123, No. 8, pp. 1001-1010, 1997.
- [43] ACI 440.2R-08 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, American Concrete Institute (ACI) , 2008.
- [44] M. Ehsani ve H. Saadatmanesh, "Fiber composites: An economical alternative for retrofitting earthquake-damaged precast-concrete walls," *Earthquake Spectra*, 1997, 13(2), pp. 225-241.
- [45] C. P. Pantelides, J. Gergely ve D. R. Lawrence, "Retrofit of RC Bridge Pier with CFRP Advanced Composites," *Journal of Structural Engineering*, Volume 125, Issue 10, 1999.
- [46] V. A. Volnyy ve C. P. Pantelides, "Bond Length of CFRP Composites Attached to Precast Concrete Walls," *Journal of Composites for Construction*, Volume 3, Issue 4, 1999.
- [47] J. Lombard, D. T. Lau, J. L. Humar ve S. Foo, "Seismic strengthening and repair of reinforced concrete shear walls," *New Zealand Society for Earthquake Engineering*, Paper No. 2032, 2000.
- [48] S. A. Sheikh, D. DeRose ve J. Mardukhi, "Retrofitting of Concrete Structures for Shear and Flexure with Fiber-Reinforced Polymers," *ACI Structural Journal*, 99(4), pp. 451-459, 2002.
- [49] A. Ghobarah ve A. A. Khalil, "Seismic Rehabilitation Of Reinforced Concrete Walls Using Fibre Composites," *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Paper No. 3316, 2004.
- [50] K. K. Antoniadis, T. N. Salonikios ve A. J. Kappos, "Tests on Seismically Damaged Reinforced Concrete Walls Repaired and Strengthened Using Fiber-Reinforced Polymers," *Journal Of Composites For Construction*, 9:3, pp. 236-246, 2005.
- [51] K. K. Antoniadis, T. N. Salonikios ve A. J. Kappos, "Evaluation of hysteretic response and strength of repaired R/C walls strengthened with FRPs," *Engineering Structures*, 29, pp. 2158-2171, 2007.
- [52] H. Naderpour, A. Kheyroddin ve S. R. H. Vaez, "Nonlinear behavior of RC shear walls externally bonded with FRP sheets," *Fourth International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE2008)*, 2008.
- [53] B. Li ve C. L. Lim, "Tests on Seismically Damaged Reinforced Concrete Structural Walls Repaired Using Fiber-Reinforced Polymers," *Journal of Composites for Construction*, 14(5), pp. 597-608, 2010.
- [54] M. Davood ve M. M. Anaei, "Effect of confining of boundary elements of slender RC shear wall by FRP composites and stirrups," *Engineering Structures*, pp. 1-13, 2012.
- [55] H. El-Sokkary ve K. Galal, "Cyclic Tests on FRP-Retrofitted RC Shear Wall Panels," *15 WCEE Lisboa*, 2012.
- [56] D. Dan, "Experimental tests on seismically damaged composite steel concrete walls retrofitted with CFRP composites," *Engineering Structures*, 45, pp. 338-348, 2012.
- [57] S. Altin, Ö. Anil, Y. Koprman ve M. E. Kara, "Hysteretic behavior of RC shear walls strengthened with CFRP strips," *Composites: Part B*, 44, pp. 321-329, 2012.
- [58] D. T. Lau ve C. A. Cruz-Noguez, "Developments on Seismic Retrofit of RC Shear Walls with FRP," *5th International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering*, 2013.
- [59] I. K. Shaheen, C. A. Cruz-Noguez ve D. T. Lau, "Seismic Retrofit of R.C. Shear Walls with Externally Bonded FRP Tow Sheets," *3rd Specialty Conference on Disaster Prevention and Mitigation*, 2013.
- [60] K. L. Nguyen, M. Brun, A. Limam ve E. Ferrier, "Pushover experiment and numerical analyses on CFRP-retrofit concrete shear walls with different aspect ratios," *Composite Structures*, 113, pp. 403-418, 2014.
- [61] S. Qazi, L. Michel ve E. Ferrier, "Impact of CFRP partial bonding on the behaviour of short reinforced concrete wall under monotonic lateral loading," *Composite Structures*, 128, pp. 251-259, 2015.
- [62] Z. Zhang, B. Li ve K. Qian, "Experimental Investigations on Seismically Damaged Nonrectangular Reinforced-Concrete Structural Nonrectangular Reinforced-Concrete Structural," *Journal of Composites for Construction ASCE*, 04015033-1-14, 2015.
- [63] D. Shen, Q. Yang, Y. Jiao, Z. Cui ve J. Zhang, "Experimental investigations on reinforced concrete shear walls strengthened with basalt fiber-reinforced polymers under cyclic load," *Construction and Building Materials*, 136, pp. 217-229, 2017.
- [64] S. Qazi, L. Michel ve E. Ferrier, "Seismic behaviour of RC short shear wall strengthened with externally bonded CFRP strips," *Composite Structures*, 211, pp. 390-400, 2019.
- [65] D. Shen, Q. Yang, C. Huang, Z. Cui ve J. Zhang, "Tests on seismic performance of corroded reinforced concrete shear walls repaired with basalt fiber-reinforced polymers," *Construction and Building Materials*, 209, pp. 508-521, 2019.
- [66] K. F. O. El-Kashif, A. K. Adly ve H. A. Abdalla, "Finite element modeling of RC shear walls strengthened with CFRP subjected to cyclic loading," *Alexandria Engineering Journal*, 58, pp. 189-205, 2019.

- [67] P. Ezzatfar, "Concrete Structural Walls Using Quasi-Static Reversed Cyclic Loading Protocol," *The Degree of Doctorate of Philosophy In Civil Engineering Middle East Technical University*, 2016.
- [68] T. Terziođlu, "Experimental Evaluation of The Lateral Load Behavior of Squat Structural Walls," *Master of Science Graduate Program in Civil Engineering Bođaziçi University*, 2011.
- [69] I. Bedirhanoglu, A. Ilki ve T. C. Triantafillou, "Seismic Behavior of Repaired and Externally FRP-Jacketed Short Columns Built with Extremely Low-Strength Concrete," *ASCE, Journal of Composites for Construction*, pp. 04021068-1-20, 2022.