

## BETONARME ÇERÇEVELERİN GÜÇLENDİRİLMESİ VE DEPREM PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ

Eyyup Erdal YILMAZ<sup>1</sup>, Mehmet UZUN<sup>2</sup>, Mustafa Tolga ÇÖĞÜRCÜ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat  
Mühendisliği Bölümü, Konya Türkiye

<sup>2</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği  
Bölümü, Karaman Türkiye

erdal@yapisem.com, mehmetuzun@kmu.edu.tr, mtolgac@selcuk.edu.tr

### Özet

Yapıların deprem etkisi altındaki davranışları deprem mühendisliği için önemli bir çalışma alanıdır. Deprem etkisi altında yapılardan beklenen en önemli unsurlar yeterli rijitlik, yeterli dayanım ve sünekliktir. Yapıların bu temel kriterleri sağlaması deprem etkisi altında ağır hasarlar görmesini önleyecektir. Ancak ülkemizde bulunan yapıların önemli bir kısmı yapı kusurları ve proje hataları nedeniyle bu kriterleri sağlamamaktadır. Bu nedenle geçmiş yıllarda yaşanan depremlerde çok fazla can ve mal kaybı yaşanmıştır. Deprem performansı yetersiz yapıların depremlerde ağır hasar alması nedeniyle yapıların güçlendirilmesi konusu son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Deprem performansı yetersiz yapılar için birçok güçlendirme tekniği geçmiş yıllardaki çalışmalar doğrultusunda ortaya atılmıştır. Bu çalışmada iki farklı güçlendirme yöntemi denenmiştir. Bir tanesi referans numunesi olmak üzere üç tane betonarme çerçeve numune hazırlanarak yatay yük altındaki davranışları incelenmiştir. Numunelerde yapılarda görülen genel kusurlara yer verilmiştir. Seçilen yöntemlerin yatay yük taşıma kapasitesini artırması yanında deplasman yapabilme kabiliyetini de artırması göz önüne alınmıştır. Bu sayede çerçevelerin sünekliğinin artırılması amaçlanmıştır. Seçilen güçlendirme teknikleri sayesinde hem yatay yük taşıma kapasitesinde artış hem de süneklik yani çerçevenin yaptığı deplasmanda artış sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Güçlendirme Teknikleri, Deprem Performansı, Çelik Çapraz ile Güçlendirme, Betonarme Çerçeveler

## **STRENGTHENING THE REINFORCED CONCRETE FRAMES AND ENHANCING THE EARTHQUAKE PERFORMANCE**

### **Abstract**

Behavior of buildings under earthquake is an important area for earthquake engineering. The most important elements expected from the structures under earthquakes are adequate stiffness, strength and ductility. The fact that the structures meet these basic criteria will prevent the heavy damage under the earthquake effect. However, a significant part of the buildings in our country have the construction defects and project errors. Therefore, many life and property losses were experienced in the earthquakes in the past years. Strengthening the structures has gained importance due to insufficient structures of earthquake performance damaged in past earthquakes. Many strengthening techniques for inadequate structures of earthquake performance have been put forward in line with previous studies. In this study, two different strengthening methods were tried. Three reinforced concrete frame samples, one of which is a reference sample, were prepared and their behavior under lateral load was examined. General defects seen in the existing structures are given in the samples. In addition to increasing the seismic load carrying capacity of the selected methods, it is also considered to increase the displacement characteristics. In this way, it is aimed to increase the ductility of the frames. Through the selected reinforcement techniques, obtained both the increase in the seismic load carrying capacity and the ductility.

**Keywords:** Strengthening Techniques, Seismic Performance, Strengthening with Steel Brace, Reinforced Concrete Frame

### **1. Giriş**

Dünya'nın birçok yerinde eski yapıların imalatında yatay yük göz ardı edilerek ya da eski yönetmelikler dikkate alınarak deprem davranışı zayıf yapılar imal edilmiştir [1-3]. Ülkemizde de geçmiş yıllarda imal edilen yapıların önemli bir bölümü deprem davranışı yetersiz yapılardır [4]. Bu tip yapıların depremlere karşı dayanıklı ve ekonomik bir çözüm yöntemi ile güçlendirilmesi önemli sorunlardan biridir [5]. Güçlendirme konusunda yapılan çalışmalar daha önce yaşanan depremlerin oluşturduğu yıkımların yeniden yaşanmaması için oldukça önemli bir konudur. Yapılardan beklenen rijitlik,

dayanım ve süneklik özelliklerinden herhangi birini ya da birkaçını iyileştirmeye yönelik çalışmalar güçlendirme olarak tanımlanmaktadır [6]. Yapıda kullanılacak güçlendirme tekniğinin yeterli performansı vermeyen yapı elemanları başta olmak üzere, yapının kullanım amacı ve seçilen güçlendirme tekniğinin uygulanabilir olması da dikkate alınarak seçilmelidir.

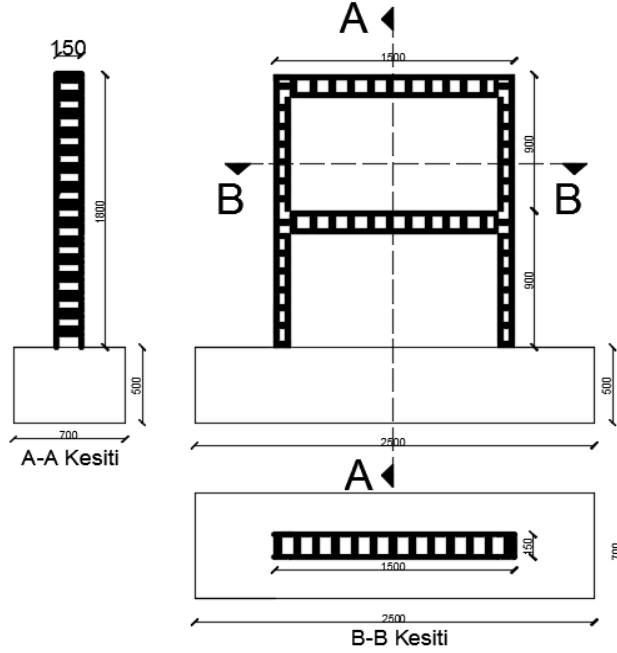
Son yıllarda güçlendirme konusunun önem kazanması ile çalışmalarda artışlar olmuş ve çeşitli güçlendirme yöntemleri ortaya çıkmıştır. Kirişlerin güçlendirilmesinde FRP (Fiber Reinforced Polymer) ve CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) ile güçlendirme [7-9], mantolama ile güçlendirme ve çelik levhalar veya çelik lamalarla güçlendirme [10-12] yöntemleri genel olarak kullanılan yöntemlerdir. Betonarme çerçevelerin güçlendirilmesinde ise çerçevelere betonarme duvarlar eklenmesi [13, 14], çelik çaprazlar ile rijitleştirilmesi [15, 16], mevcut dolgu duvarların çeşitli materyaller ile kaplanması gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır [5].

Güçlendirme konusu her geçen gün ilginin arttığı depremler sonrasında sürekli gündeme gelen bir konudur. Bu nedenle literatürde konu ile ilgili güncel birçok çalışma bulunmaktadır. Sukrawa, düşük katlı ve orta yükseklikteki yapılarda çelik çaprazlar ile güçlendirmenin analitik incelemesini yapmıştır [17]. Perera ve diğ. dolgu duvarlar yerine çelik çaprazların çerçevelerde kullanılmasına yönelik bir çalışma yapmıştır [18]. Kesner ve Billington çelik çerçevelerin çimento esaslı kompozit panellerle güçlendirilmesi konusunda bir çalışma yapmıştır [19]. Sivri ve diğ. çelik çaprazlarla güçlendirilmiş bir çerçevenin doğrusal olmayan davranışını incelemişlerdir [20]. Climent ve diğ. dolgu duvar ile güçlendirilmiş betonarme çerçevenin davranışını incelemişlerdir [21].

Bu çalışmada Türkiye’de bulunan mevcut yapılardaki kusurlar dikkate alınarak 3 adet betonarme çerçeve numunesi üretilmiştir. Bu numunelerden bir tanesi referans olarak kabul edilmiş diğer numunelere ise güçlendirme teknikleri uygulanmıştır. Güçlendirme uygulanan numunelerde kolon ve kiriş köşelerine korniyerler yerleştirilmiş ve bunlar arasına belirli aralıklarla çelik lamalar kaynatılmıştır. Diğer güçlendirme numunesinde ise çelik lamalar ve korniyerlere ek olarak çelik korniyer ile çaprazlar yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda uygulanan yöntemlerinin süneklik, dayanım ve rijitlik adına daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

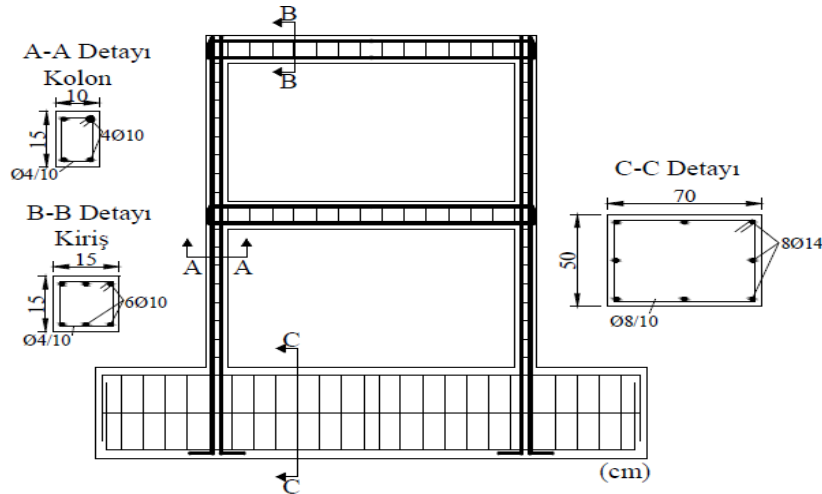
## 2. Materyal ve Metot

Betonarme çerçevelerden beklenen rijitlik, süneklik, yüksek dayanım özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılan bu çalışma da 1/3 ölçekli 3 tane deney numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin geometrik özellikleri, donatı düzeni, beton sınıfı, çelik sınıfı aynı şekilde alınmıştır. Numunelerin boyutları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Numune boyutları

Numunelerde beton sınıfı C19 olarak hedeflenmiş ve karışım bu doğrultuda hazırlanmıştır. Çelik sınıfı ise genel hatalara uygun olarak S220 kullanılmak istenmiş ancak temininde problem yaşandığı için S420 nervürlü donatı kullanılmıştır. Numunelerde donatı düzeni ve miktarları Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Numunelerin donatı düzeni ve miktarları

Numunelerde genel anlamda karşılaşılan kusurlara dikkat edilerek üretim gerçekleştirilmiştir. Numunelerde bulunan kusurlar aşağıdaki gibidir:

- Kolon-kiriş birleşim bölgesinde etriyelerin devam ettirilmemesi (Şekil 3),
- Zayıf kolon – kuvvetli kiriş düzenlemesi,
- Etriye kancalarının  $135^0$  olmaması (Şekil 3),
- Beton dayanımının düşük olması



Şekil 3. Numunelerin üretiminde uygulanan hatalar

Referans numunesi (RF1) herhangi bir güçlendirme yöntemi uygulanmamış numunedir. KL2 numunesi çelik korniyerlerin kolon ve kiriş köşelerine belirli aralıklarla lamalar sayesinde kaynatılması ile güçlendirilmiş numunedir (Şekil 4).

KL3 numunesi ise çelik korniyer ve lamaların kaynatılmasına ek olarak korniyerler ile çelik çaprazlar oluşturulmuş numunedir (Şekil 5).



Şekil 4. KL2 numunesi



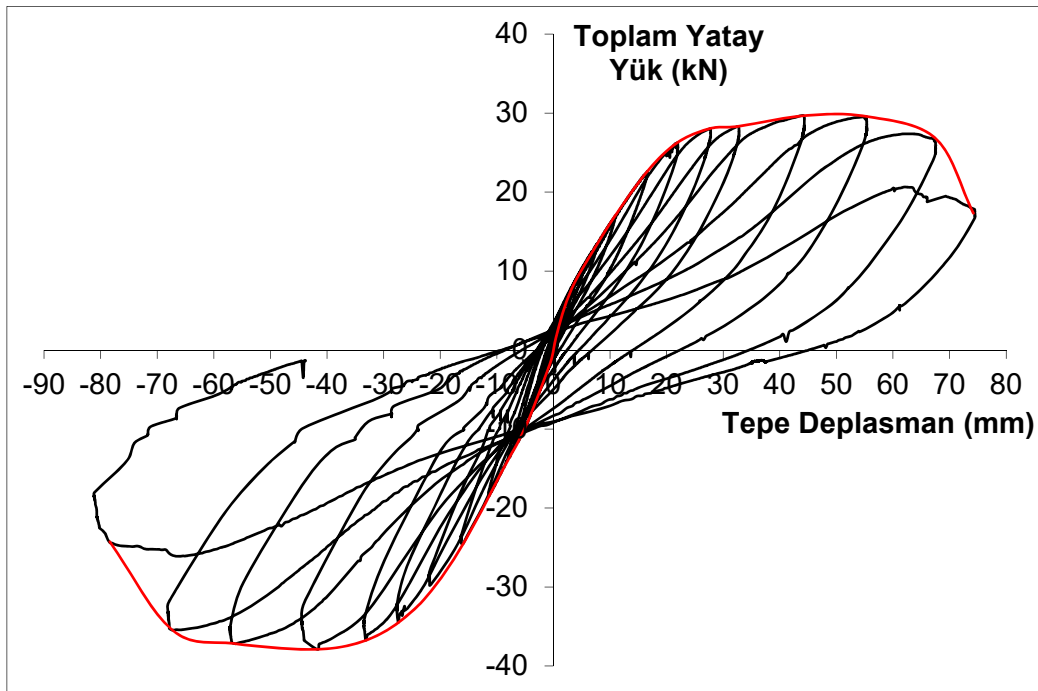
Şekil 5. KL3 numunesi

Numuneler reaksiyon duvarına bağlanarak yatay yük uygulanmıştır. Yatay yükün uygulanabilmesi için 500 kN çekme, 500 kN basınç kuvveti kapasiteli hidrolik silindir kullanılmıştır. Uygulanan yüklemenin okunabilmesi için hidrolik silindire loadcell (yük hücresi) bağlanmıştır. Deney numunesindeki yerdeğiştirmelerin ölçülebilmesi için kat hizalarında ikişer adet ve temelde dört adet olmak üzere toplamda 8 adet elektronik yer değiştirme ölçüm aleti olan LVDT kullanılmıştır. Kullanılan LVDT'ler 200 mm okuma

yapabilmektedir. LVDT ve loadcell tarafından okunan değerlerin dijital ortama aktarılabilmesi için data logger kutusu kullanılmıştır. Uygulanan yatay yükün gerçek deprem davranışına yakın bir sonuç vermesi için üst kata 2 birim alt kata 1 birim gelecek şekilde uygulanması sağlanmıştır.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışma da numunelerin tersinir-tekrarlanır yatay statik yük etkisi altında davranışı incelenmiştir. RF1 numunesi taşıma kapasitesine ulaştığında 37.88 kN'luk bir yük taşımış ve 2. kat hizasında 41.74 mm yatay yer değiştirme yapmıştır. Numunenin histerezis eğrisi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. RF1 numunesi histerezis eğrisi [22]

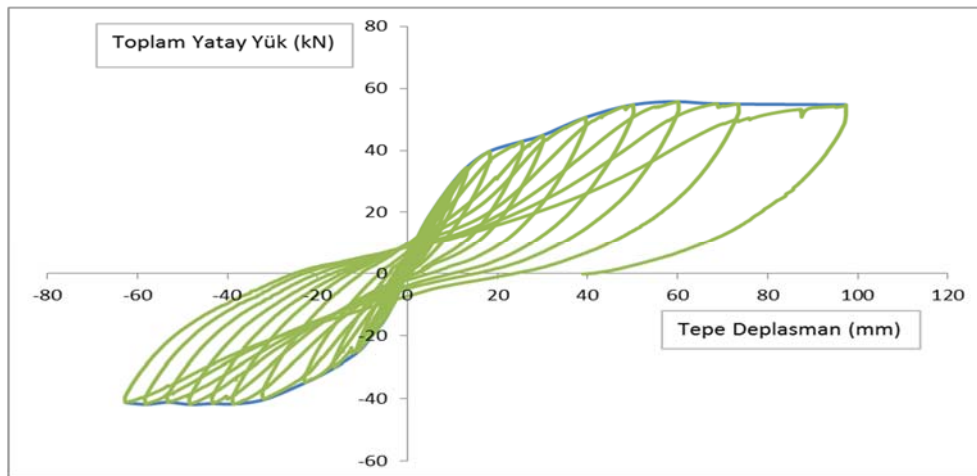
KL2 numunesi ise daha yüksek bir dayanıma ulaşmış ve daha sünek bir davranış sergilemiştir. Deney esnasında güç kayıpları kaynaklardaki zorlamalar ile oluşmuştur. Kaynaklardan bazılarında kopmalar ve açılmalar meydana gelmiştir (Şekil 7).



YÜK: -41.70 kN TEPE DEPLASMANI: -38.80 mm

Şekil 7. KL2 numunesinde kaynaklarda meydana gelen açılmalar

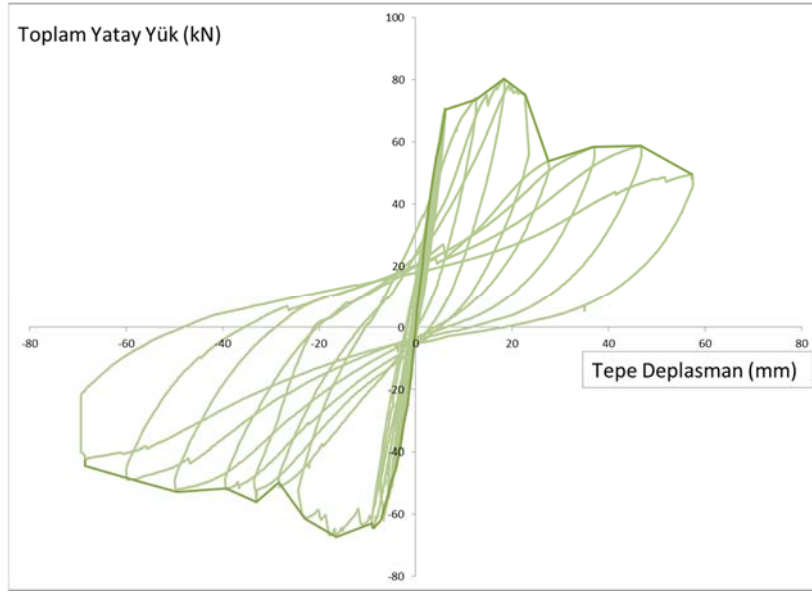
KL2 numunesi taşıma gücü kapasitesine ulaştığında ise 54.65 kN'luk bir yatay yüke ulaşmış ve 2. kat hizasında 60 mm yatay yer değiştirme yapmıştır. KL2 numunesine ait histerezis eğrisi Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. KL2 numunesine ait histerezis eğrisi

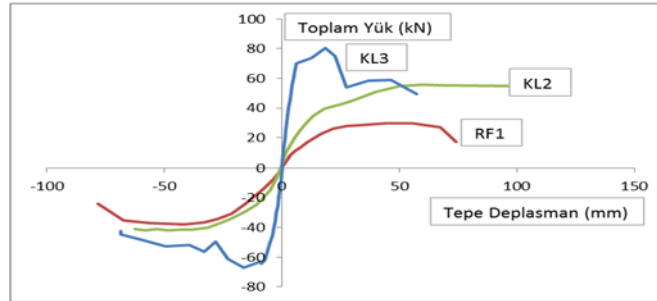


KL3 numunesi KL2 numunesinden farklı olarak çelik çaprazlar ile desteklenmiştir. KL3 numunesi daha rijit bir davranış ve daha yüksek bir dayanım kazanmıştır. Ancak sünek bir davranış göstermeden çelik çaprazlarda burkulmalar oluşmuştur. KL3 numunesinde de yine kaynaklardan dolayı güç kayıpları yaşanmıştır. KL3 numunesinin taşıma gücüne ulaştığı anda taşıdığı yatay yük 78.4 kN ve 2. kat düzeyindeki yatay yer değiştirmesi 20 mm olmuştur. KL3 numunesine ait histerezis eğrisi Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. KL3 numunesine ait histerezis eğrisi

Görüldüğü gibi KL3 numunesi daha rijit bir davranış sergilemesine rağmen çerçevenin davranışı daha gevrek hale gelmiştir. KL2 numunesinde ise taşınan yatay yük KL3 numunesine göre daha az olmasına rağmen süneklik ciddi bir artış göstermiştir. Şekil 10’da üç numunenin yatay yük – yer değiştirme grafikleri birlikte verilmiştir.



Şekil 10. Yatay yük – yer değiştirme grafiği

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Her iki güçlendirme yönteminde de RF1 numunesine göre yatay yük taşıma kapasitesinde artış gözlenmiştir.
- KL3 numunesinde çelik çaprazlarda burkulma gözlenmesi nedeni ile RF1 numunesine göre süneklikte azalma gözlenmiştir.
- KL2 numunesinde elde edilen süneklik değeri RF1 numunesine göre daha fazla olmuştur. Bu da göstermektedir ki uygulanan güçlendirme yöntemi sayesinde hem yatay yük taşıma kapasitesinde hem de süneklikte artış elde edilmiştir.
- KL2 numunesine uygulanan güçlendirme yöntemi KL3 numunesine göre daha az yatay yük taşımasına rağmen süneklik önemli ölçüde artış göstermiştir.
- KL3 numunesine uygulanan güçlendirme yönteminde elastik bölgede taşınan yük ciddi anlamda artış göstermiştir.
- KL3 numunesinde elastik ötesi davranışta çelik çaprazlardaki burkulma nedeniyle ani güç kayıpları yaşanmış ve grafikte ani inişler gerçekleşmiştir.
- Her iki yöntemde de güç kayıplarının oluşması kaynaklarda kopmalar ve ayrışmalar sonucu gerçekleşmiş ani rijitlik kayıpları grafikte inişlere neden olmuştur.
- KL3 numunesinde kullanılan çelik çaprazlarda burkulma için önlem alınmalı aksi takdirde yapılarda uygulanması durumunda yapının gevrek bir davranış göstermesine sebep olacaktır.
- KL2 numunesine uygulanan yöntem sünekliği ve yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırmıştır. Bu yöntem rahatlıkla mevcut yapılarda uygulanabilir.
- Her iki yöntemde de en zayıf noktalar kaynaklar olduğu için güçlendirme sırasında yapılacak kaynaklar çok iyi kontrol edilmeli hataya fırsat verilmemelidir.
- KL3 numunesinin burkulma problemi çözülerek çalışmanın tekrarlanması bu güçlendirme yönteminde de başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir.
- Numunelerde kullanılan S420 çelik sayesinde boyuna donatılarda herhangi bir sıyrılmaya gözlemlenmemiştir. Ancak S220 nervürlü çelik ile çalışmanın tekrarı sağlanabilirse taşıma gücü kapasitelerinde daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilir.

## **Kaynaklar**

- [1] Valente M, Milani G. Alternative retrofitting strategies to prevent the failure of an designed reinforced concrete frame. *Engineering Failure Analysis*. 2018; 89: 271-85.
- [2] Lee CH, Ryu J, Kim DH, Ju YK. Improving seismic performance of non-ductile reinforced concrete frames through the combined behavior of friction and metallic dampers. *Engineering Structures*. 2018; 172: 304-20.
- [3] Leeanansaksiri A, Panyakapo P, Ruangrassamee A. Seismic capacity of masonry infilled rc frame strengthening with expanded metal ferrocement. *Engineering Structures*. 2018; 159: 110-27.
- [4] Özdemir H, Eren İ. Çerçeveye yapılan ankraj aralığının, bölme duvarlı çerçeve güçlendirmesine etkisi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 2014; 30(4): 248-56.
- [5] Yılmaz ÜS, Arslan MH, Kaltakçı MY. Betonarme dış perde duvarla güçlendirilmiş çerçevelerin dayanım parametrelerinin deneysel ve analitik yöntemlerle irdelenmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi*. 2010; 3(1): 11-22.
- [6] Demir H. Depremden hasar görmüş betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesi, İstanbul: İTÜ Yayınları; 1999.
- [7] Li A, Diagana C, Delmas Y. Cfrp contribution to shear capacity of strengthened rc beams. *Engineering Structures*. 2001; 23: 1212-20.
- [8] Abdalla HA. Evaluation of deflection concrete members reinforced with fibre reinforced polymer (frp) bars. *Composite Structures*. 2002; 56(1): 63-71.
- [9] Avril S, Ferrier E, Vautrin A, Hamelin P, Surrel Y. A full-field optical method for the experimental analysis of reinforced concrete beams repaired with composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2004; 35(7-8): 873-84.
- [10] Oh BH, Coe JY, Park DG. Static and fatigue behavior of reinforced concrete beams strengthened with steel plates for flexure. *Journal of Structural Engineering*. 2003; 129(4): 527-35.
- [11] Sharif A, Al-Sulaimani GJ, Basunbul IA, Baluch MH, Husain M. Strengthening of shear damaged rc beams by external bonding of steel plates. *Magazine of Concrete Research*. 1195; 47(173): 329-34.

- [12] Demirci EE, Amil AP, Şahin R. Çelik korniyer ve lamalar yapıştırarak suretiyle betonarme kirişlerin eğilmeye karşı güçlendirilmesi. TÜBAV Bilim Dergisi. 2011; 4(2): 103-12.
- [13] Anil Ö, Altin S. An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames. Engineering Structures. 2007; 29: 449-60.
- [14] Frosch RJ, Li W, Jirsa JO, Kreger ME. Retrofit of non-ductile moment-resisting frames using precast infill wall panels. Earthquake Spectra. 1996; 12(4): 741-60.
- [15] Badoux M, Jirsa JO. Steel bracing of rc frames for seismic retrofitting. ASCE Journal of Structural Engineering. 1990; 116(1): 55-74.
- [16] Maheri MR, Sahebi A. Use of steel bracing in reinforced concrete frames. Engineering Structures. 1997; 19(12): 1018-24.
- [17] Sukrawa M. Staged analysis of rc frame retrofitted with steel braces in low and medium-rise buildings. Procedia Engineering. 2017; 171: 1002-9.
- [18] Perera R, Gomez S, Alarcon E. Experimental and analytical study of masonry infill reinforced concrete frames retrofitted with steel braces. ASCE Journal of Structural Engineering. 2004; 130(12): 2032-39.
- [19] Kesner K, Billington SL. Investigation of infill panels made from engineered cementitious composites for seismic strengthening and retrofit. ASCE Journal of Structural Engineering. 2005; 131(11): 1712-20.
- [20] Sivri M, Çelik İD, Fenkli M, Kıymılı NA, Ay Z. Çelik çaprazla güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan davranışı. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2015; 19(1): 63-8.
- [21] Climent AB, Marquez AR, Pujol S. Seismic strengthening of low-rise reinforced concrete frame structures with masonry infill walls: shaking-table test. Engineering Structures. 2018; 165: 142-51.
- [22] Ünal A. TDY 2007'ye göre tasarlanmamış betonarme çerçevelerin düzlem dışı perde duvarla güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.