

Enerji Yoğaltan Elemanlar Olarak Çelik Yastıklar

Doç. Dr. Hasan Özkaynak*

*İstanbul Beykent Üniversitesi

Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Pasif sönümleyicilerin çalışma prensibi, yapıya aktarılan deprem enerjisinin yapısal elemanlar tarafından tüketilmesinin önüne geçerek, deprem sonrasında yenisi ile değiştirilebilir özellikte imal edilen sönümleyiciler tarafından tüketilmesinin sağlanmasıdır. Çelik sönümleyiciler, yapısal elemanların lineer ötesi deformasyon istemlerinin azaltılmasını ve bu sayede elemanlarda gözlenen hasar seviyesinin minimum seviyede tutulmasını sağlamaktadır.

Ülkemizde mühendislik hizmeti görmemiş ve uygulamadaki özensiz imalatlar nedeniyle deprem dayanımı yetersiz çok sayıda betonarme yapı bulunmaktadır. Deprem dayanımı yetersiz bu tip yapıların ortak problemleri, düşük dayanımlı beton kullanımı, yetersiz donatı yoğunluğu/düzeni ve etriye sıklaştırılmasının özellikle kiriş, kolon birleşim bölgelerinde yetersiz olmasından kaynaklı kötü uygulamalardır. Bu özellikler, mevcut yapılar için deprem etkileri altında dayanım ve yanal rijitlik açısından önemli zafiyetler oluşturmaktadır. Bu tip yapıların güçlendirilerek deprem dayanımlarının artırılmaları, deprem sırasında yaşanabilecek can kayıplarının azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Mevcut yapıların depreme dayanıklı hale getirilebilmeleri için yapılara betonarme perdeler eklenmesi veya düşey elemanların mantolanması gibi yapının yanal rijitliğini ve yatay yük taşıma kapasitesini artıran güçlendirme yöntemleri günümüzde uygulanmaktadır. Bu tür güçlendirme yöntemleri ile görelî yerdeğiştirmeler azaltılmakta ancak yapı elemanlarının iç kuvvet talebini önemli ölçüde artırmaktadır. Diğer taraftan bu yöntemler, bina içerisinde yaşayan insanları belirli süreliğine yapı dışına tahli-

ye edilmeye zorlamaktadır. Uygulamadaki bu tür güçlükleri içeren bu yöntemlere alternatif olarak pratik uygulanabilen ve ucuz maliyetli güçlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada yenilikçi güçlendirme yöntemleri olarak deprem enerjisinin yoğurulmasını amaçlayan ve yapısal deprem performansını önemli ölçüde arttırdığı bilinen çelik sönümleyiciler öne çıkmaktadır. Çelik sönümleyicilerin çalışma prensibi; yapıya aktarılmış olan deprem enerjisinin sönümleyiciler tarafından soğurulmasının sağlanması ve bu sayede yapısal elemanların lineer ötesi deformasyon istemlerinin azaltılarak ve elemanlarda gözlenen hasar seviyesinin minimum seviyede tutulmasıdır. Burada sunulan çalışmada SAFECLADDING isimli bir Avrupa Birliği Projesi kapsamında detaylı olarak araştırılan çelik yastıkların çevrimsel davranışları ve bir endüstri yapısında kullanılması durumunda yapısal performansa olan katkısı irdelenmiştir. Betonarme dış cephe panellerinin mevcut prefabrike yapıya bağlanmasında kullanılan çelik yastıklar, yapının deprem performansını önemli ölçüde arttırmıştır. Yapıya aktarılan taban kesme kuvveti artmasına rağmen kolon elemanların kesme kuvveti talebi azalmıştır.

1. Giriş

Deprem etkilerinin yoğun olarak hissedildiği ülkemizde yer alan yapılarımızın depreme hazır hale getirilmesi için güvenilir, pratik ve ekonomik güçlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Betonarme yapıların deprem davranışlarının iyileştirilmesi için kullanılan dayanım arttırıcı geleneksel yöntemler, yerini zamanla deprem enerjisini tüketmeyi amaçlayan yenilikçi yöntemlere bırakmaktadır. Pasif sönümleyicilerin çalışma prensibi, yapıya aktarılan deprem enerjisinin yapısal elemanlar tarafından tüketilmesinin önüne geçerek, deprem sonrasında yenisi ile değiştirilebilir özellikte imal edilen sönümleyiciler tarafından tüketilmesinin sağlanmasıdır. Çelik sönümleyiciler, yapısal elemanların lineer ötesi deformasyon istemlerinin azaltılmasını ve bu sayede elemanlarda gözlenen hasar seviyesinin minimum seviyede tutulmasını sağlamaktadır.

Literatürde mevcut olan deneysel ve analitik çalışmalar; metal sönümleyicilerin deprem enerjisini soğurarak betonarme elemanlarda hasar oluşumunu azalttığını ve yapının genel deprem performansını önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir. Deprem enerjisinin çelik plakaların deformasyonu ile yoğaltılması fikri ilk olarak Kelly (1972) çalışmasıyla ortaya atılmıştır. Bergman ve Goel (1987), Whittaker vd. (1991) ve Tsai vd. (1993) eğilme etkisinde enerji tüketme özelliği olan çapraz ve üçgen şeklinde tasarlanmış TADAS olarak isimlendirilen metal levha elemanlar geliştirmişlerdir. Priestley (1991), prekast panellerin düşey birleşim noktalarında kullanılmak üzere enerji tüketebilen çelik bağlantı elemanları geliştirmiştir. Tagawa ve Gao (2012), U şeklindeki elemanların çelik çaprazlarla bağlandığı çerçeve sistem üzerinde deneyler yapmışlardır. U şeklindeki elemanların deformasyonu ile büyük ölçüde enerji tüketimi sağlanmıştır. Deney sonuçları, elemanların enerji tüketme kapasitesinin, bağlandığı çaprazların aksenal rijitliği ile doğrudan ilgili olduğunu göstermiştir. Mashal vd. (2019) içerisinde çelik yastık tipi elemanların bulunduğu çapraz elemanlar geliştirmiştir. Elemanlar düzeyinde gerçekleştirilen deneylerden, çapraz elemanların yüksek düzeyde süneklik ve enerji tüketim özellikleri gösterdiği sonucuna varılmıştır. Literatür araştırması, metal sönümleyicilerin betonarme yapıların çevrimsel davranışına olumlu etkilerinin olduğunu ve gelişim süreci içerisinde bulunan güncel araştırma konuları arasında yer aldığını göstermektedir.

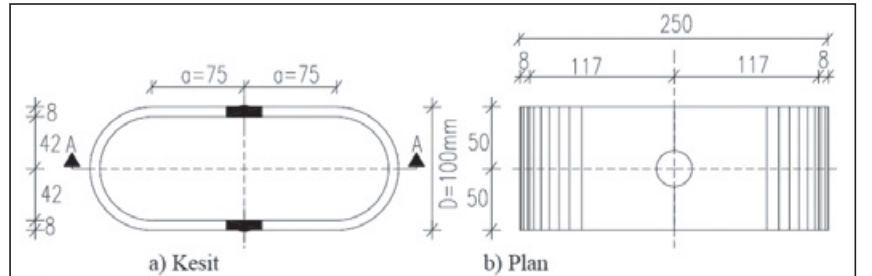
2. Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde, 2015-2018 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda yürütülen bir Avrupa Birliği projesi kapsamında gerçekleştirilen eleman ve sistem deneylerinden üretilen bilgilere yer verilecektir.

2.1. Eleman ve Sistem Deneyleri

Özkaynak vd. (2018) gerçekleştirilen eleman deneyleri kapsamında, farklı kalınlıklardaki çelik yastıkların davranışları, uzun doğrultuda kayma etkisi (Şekil 2) ve aksenal doğrultuda basınç ve çekme (Şekil 1c) çevrimsel davranışları incelenmiştir. Yumuşak çelikten imal edilen çelik yastıkların büyük deformasyon kabiliyetleri olduğunu ve kararlı çevrimsel davranış sergilemeleri nedeniyle kullanıldığı bölgeye bağlı olarak önemli ölçüde deprem enerjisi tüketebilme potansiyelinin olduğu tespit edilmiştir. Çelik sönümleyici boyutları derinliği (D) 100 mm, yüksekliği (h) 250 mm, (t) kalınlığı 8 mm ve genişliği (b) 100 mm olarak seçilmiştir, Şekil 1. Çeliğin akma dayanımı 350 MPa, kopma dayanımı 430 MPa ve kopma şekil değiştirmesi %20 olarak belirlenmiştir.

Çelik yastık kalınlığı, çevrimsel enerji tüketebilme kapasitesi, dayanım, süneklik ve rijitlik özellikleri açısından etkili bir parametredir. Kalınlık artışı çelik yastığın dayanımını da arttırmaktadır. Uzun doğrultuda gerçekleştirilen kayma deneylerine göre kalınlıkları 5 ve 8 mm olan çelik yastıkların süneklikleri 20 iken, kalınlığı 3 mm olan çelik yastık için süneklik değeri 10 olarak belirlenmiştir. Basınç ve çekme etkileri altında gerçekleştirilen deneyler ise sünekliğin yarısı mertebesinde olacağını



Şekil 1. Çelik yastıkların plan ve kesit görünümü [9]

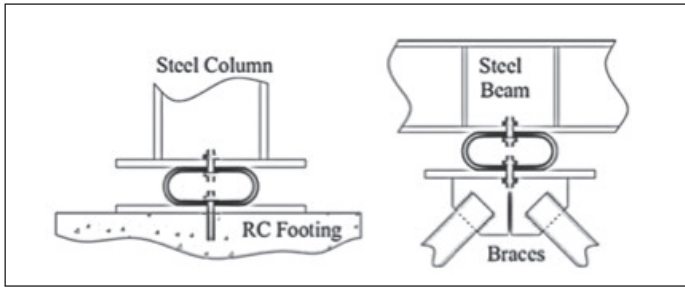


Şekil 2. Çelik yastıklara uygulanan çevrimsel etkiler [9]

göstermiştir. Çelik yastıklar geometrisi itibariyle önemli ölçüde enerji tüketme özelliğine sahip olup, yapabileceği en büyük deformasyon seviyesi büyük dairesel bölüm dışında kalan düz parçanın uzunluğu ile sınırlıdır. Kayma deneyleri, çelik yastıkların %55 seviyesinde eşdeğer sönümleme kapasitesine sahip olduğunu, basınç ve çekme etkisi altında gerçekleştirilen deneyler ise simetrik olmayan bir davranış sergileyen çelik yastıkların %13-18 arasında bir eşdeğer sönüm özelliği ortaya koyabileceğini göstermiştir.



Şekil 3. Çelik yastıkların sabit eksenel yük altında kayma deneyine aittest düzeneği [10]



Şekil 4. Çelik yastıkların yapılarda kullanımı için alternatif konumlar [10]

Çelik yastıkların yapı sistemlerinin farklı bölgelerinde kullanılması durumunda eksenel doğrultuda basınç ve çekme etkisi altında kalmaları söz konusu olabilmektedir. Çelik yastıklar önüretimli betonarme yapıların cephe panellerinin bağlantısında kullanılabileceği gibi cephe panellerinin ağırlıklarını zemine aktardığı noktalarda veya kolon altlarında yer alabilmektedir, Şekil 4. Yüksel vd. (2018) tarafından çelik yastıkların çekme ve basınç türü sabit eksenel yük etkisindeki kayma davranışları belirlenmiştir, Şekil 3.

Çelik yastıkların eksenel doğrultuda basınç etkisi altında kalmaları durumunda, kayma dayanımları önemli ölçüde artmaktadır. Kalınlığı görece olarak ince olan çelik yastık, basınç etkisi altında daha büyük eşdeğer sönümler oluşturmaktadır. Çelik yastıkların enerji tüketme kapasitesi, artan eksenel basınç yük etkisi altında daha fazla iken artan çekme etkisi altında daha düşük bir enerji tüketimi gerçekleşmektedir.

Karadoğan vd. (2019) tarafından prefabrike yapıların cephe panellerinin çelik yastıklar marifetiyle yapıya adaptasyonu amacıyla yönelik çevrimsel davranışın anlaşıl-



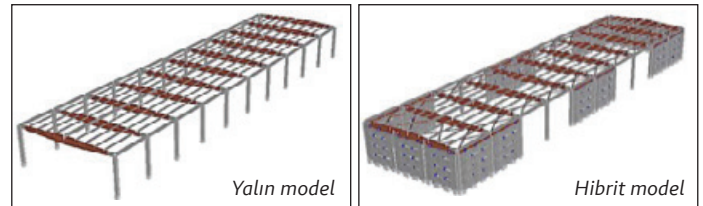
Şekil 5. Sistem deneyleri deney düzeneği ve iki panel arasında kullanılan çelik yastık [11]

ması amacıyla sistem deneyi gerçekleştirilmiştir, Şekil 5. Sistem deneyi için yanal rijitliği olmayan bir çerçeve üzerine 4 adet betonarme panel çelik yastıklar kullanılarak bağlanmış ve bütünleşik panel sisteminin yatay çevrimsel davranışı incelenmiştir. Çelik yastıkların panel sistemin enerji tüketim özelliklerini önemli ölçüde arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Sistem deneyleri sonucunda tüm hasarın çelik yastıklarda yoğunlaştığı, betonarme panel elemanlarda herhangi bir hasar oluşmadığı gözlenmiştir. İki panel arasında sıkıştırılan çelik yastıkların genel enerji tüketimine katkısı, panel altında ve kiriş arasında yer alan çelik yastıklara göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kararlı çevrimsel davranış elde edilebilmesi için iki panel arasına yerleştirilen çelik yastıkların kalınlıklarının diğerlerine göre daha ince olması gerekmektedir.

2.2 Analitik Çalışmalar

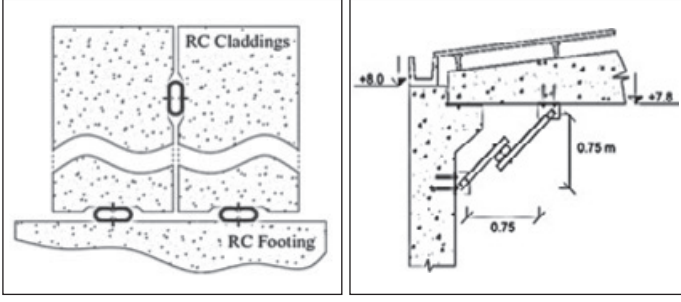
Özkaynak vd. (2018) çalışmasında çelik yastıkların önüretimli betonarme yapılarda kullanılması durumunda genel yapı davranışına önemli katkılarda bulunduğu belirlenmiştir. Plandaki boyutları 80x20 m olan bir endüstri yapısının uzun doğrultusunda aralarında 8 m mesafesi olan 11 adet çerçeve bulunmaktadır (Şekil 6). Çelik yastıkların



Şekil 6. Önüretimli betonarme yapıların yalın ve hibrit yapı modelleri [13]

katkısının irdelenmesi için yalın ve hibrit olmak üzere iki farklı yapı modeli kurgulanmış, hibrit yapının cephe panellerinin bağlantısında ve kısa doğrultuda eğik çatı makası ile kolon eleman arasında payanda olarak, panellerin arasında ve panellerin altıdan temele yük aktarılan zemin seviyesinde çelik yastıklar kullanılmıştır (Şekil 7).

Çelik yastıklar kullanılarak önüretimli betonarme yapı ile bütünleştirilen panellerin bulunduğu bina hibrit ve yalın



Şekil 7. Çelik yastıkların yapı genelinde kullanıldığı konumları [13]

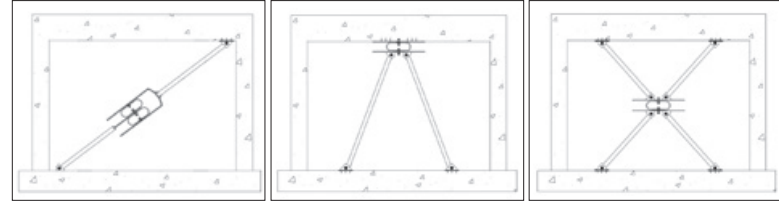
yapı modelleri üzerinde, 20 farklı deprem kaydı ile zaman tanım alanında lineer olmayan analiz gerçekleştirilmiştir (SeismoStruct). Betonarme panellerin mevcut prefabrike yapıya adaptasyonu için çelik yastık kullanılması, yapının yatay rijitliğini ve dayanımını arttırmaktadır. Hibrit yapıda toplam taban kesme kuvveti uzun ve kısa doğrultuda sırasıyla %395 ve %160 seviyesinde artmasına rağmen kolon elemanlara aktarılan kesme kuvvetinin %56 oranında azaldığı sonucuna varılmıştır. Kolon elemanların istem/kapasite oranlarının uzun ve kısa doğrultuda sırasıyla %26 ve %22'den %5 ve %2'ye düştüğü gözlenmiştir. Kolon elemanlardaki görelî tepe ötelemeleri uzun ve kısa doğrultuda yalnız durumda %3 ve %2.85 iken hibrit yapıda bu büyüklükler sırasıyla %0.65 ve %1.30'a düşmüştür. Deprem etkisi sonrasında panel elemanların tepe noktalarında gözlenen artık yerdeğiştirmelerin %0.03 olması çelik yastıkların yenisiyle tekrar değiştirilebilir olduğunu da göstermektedir.

Özkaynak (2017) analitik çalışmaları ile çelikiyastıkların çok katlı betonarme çerçeve davranışına enerji tüketimi açısından olumlu katkılarının olduğu ve yapının deprem

performansını iyileştirdiği belirlenmiştir. Kalınlığı 18 mm olan çelik sönümleyici belirli bir yerdeğiştirme seviyesinde toplam enerjinin %75'ini tüketmiştir.

3. Sonuçlar ve Öneriler

İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında tamamlanan Avrupa Birliği Projesi kapsamında araştırılan çelik yastıkların, önüretimli veya konvansiyonel betonarme yapı sistemlerinin deprem performansının artırılması açısından güvenilir, pratik ve ekonomik bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Çelik yastıkların betonarme çerçevelerde kullanılması için alternatif öneriler Şekil 8'de verilmiştir. Tüm konfigürasyon önerilerinde çelik yastıkların betonarme çerçeveye bağlantısı,



Şekil 8. Çelik yastıkların betonarme yapılarda kullanımı için öneriler

yeterli kesite sahip rijit kutu/boru kesitli çelik elemanlar ile moment aktarmayacak şekilde mafsal detayı ile yapılması önerilmektedir. Bu yöntemle tüm plastik şekil değiştirmelerin çelik yastıklarda yoğunlaşmasının sağlanması hedeflenmiştir. Önerilen yöntem, bina içerisinde yaşayan insanların tahliyesini gerektirmemesi, ileri teknoloji gerektirmemesi, uygun maliyetli olması, mevcut yapılara hızlıca uygulanabilmesi açısından son derece etkilidir.

hasanozkaynak@beykent.edu.tr

KAYNAKLAR:

- Kelly J.M, Skinner R.I and Heine A.J. (1972). Mechanisms of Energy Absorption in Special Devices for Use in Earthquake Resistant Structures, *Bulletin of New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 5(3), 63-68.
- Bergman D.M and Goel S.C. (1987). Evaluation of cyclic testing of steel-plate devices for added damping and stiffness, Report UMCE 87-10, Univ. of Michigan, Ann Arbor.
- Whittaker A.S., Bertero V.V., Thompson C.I. and Alsonson L.J. (1991). Seismic testing of steel plate energy dissipation devices. *Earthquake Spectra*, 7(4), 563-604.
- Tsai K.C, Chen H.W, Hong C.P and Su Y.F. (1993). Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic resistant construction, *Earthquake Spectra*, 9(3), 505-528.
- Priestley M.J.N. (1991). Overview of PRESSS Research Program, *Journal of Precast Concrete Institute*, 36(4), 50-57.
- Tagawa H, Gao J. (2012). Evaluation of vibration control system with U-dampers based on quasi-linear motion mechanism, *Journal of Constructional Steel Research*, 70. 213-25.
- Mashal M, Palermo A and Keats G. (2019). Innovative metallic dissipaters for earthquake protection of structural and non-structural components, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 116, 31-42.
- SAFECLADDING EU Project, "Improved Fastening Systems of Cladding Panels for Pre-cast Buildings in Seismic Zones", 2012-2015.
- Özkaynak H., Khajehdehi A., Gullu A., Azizisales F., Yüksel E., and Karadoğan F., Uni-axial behavior of energy dissipative steel cushions, *Steel and Composite Structures* Volume 27(6), 661-674 2.
- Yüksel E., Karadoğan F., Özkaynak H., Khajehdehi A., Güllü A., Smyrou E., Bal İ.E., (2017). Behaviour of steel cushions subjected to combined actions, *Bull Earthquake Eng.* 16, 707-729.
- Karadoğan F., Yüksel E., Khajehdehi A., Özkaynak H., Güllü A., Şenol E., (2019) Cyclic behavior of reinforced concrete cladding panels connected with energy dissipative steel cushions, *Engineering Structures* 189 (2019) 423-439.
- SeismoStruct. (2020). Computer software for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures, Seismosoft Ltd. <http://www.seismosoft.com>.
- Özkaynak H., Khajehdehi A., Yüksel E., Karadoğan F., (2021). Improvement of seismic performance of precast frames with cladding panels fastened by energy dissipative steel Cushions, *Bulletin of Earthquake Engineering* 19, 5339-5367.
- Özkaynak H., (2017). The effects of special metallic dampers on the seismic behavior of a vulnerable RC frame, *Structural Engineering and Mechanics*, An International Journal, 61(4) 483-496.