

Yağmur Ersan 

Graduate School of Mechatronics
Engineering, Ted University, Ankara,
Turkey

Aysen Suheyly Bagbası 

Graduate School of Mechatronics
Engineering, Ted University, Ankara,
Turkey

Bahman Paygozar 

Department of Mechanical Engineering,
Ted University, Ankara, Turkey

Shahram A. Dizaji* 

Department of Mechanical Engineering,
Ted University, Ankara, Turkey

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 27-10-2020

Kabul: 11-01-2021

*Sorumlu Yazar: S.A. Dizaji

Email: Seham.dizaji@tedu.edu.tr

Hibrit Sismik Sönümleyicinin Enerji Emilimi Üzerindeki Etkilerin İncelenmesi

Bu makalede, hibrit sismik sönümleyici tanıtılarak iki enerji soğurma sistemi, (iç sistem ve dış sistem) arasındaki boşluğun boyutuna göre verimliliği incelenmiştir. Birbirlerine bir kol yardımı ile bağlı olan bu sistemler tercih edilen çap ve kalınlıktadır. Aynı zamanda kolun işlevi yüksek deplasman olan durumlarda iç sistemi harekete dahil etmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, yapıların destek sistemi içinde aynı alanı kaplarken, iç sistem adı verilen ikincil bir mekanizma kullanarak halkaları genişletmek ve içindeki alanı arttırmaktır. Bu amaçla, ticari bir sonlu eleman paketi olan ABAQUS / Explicit'te sayısal simülasyon gerçekleştirilmiştir. Çalışmada incelenen modeller, kolun boşluk boyutu dışında damperin tüm kısımlarında aynı büyüklüktedir. Bu parametrenin yük-deplasman eğrileri ve ardından emilen enerji miktarı üzerindeki etkilerini araştırmak için modellerde 0, 5, 10 ve 15 mm dahil olmak üzere dört farklı boşluk boyutu dikkate alınmıştır. Bu parametrenin, boşluk boyutunun iç sistemin devreye girme süresini kontrol ettiği ve ardından iç tüpün de enerjiyi dağıtmaya başladığı gerekçesiyle enerjinin emilmesinde gerçekten etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu, tasarım prosedüründe kilit bir faktör olarak önerilen sistemlerin kontrol edilebilirliğini artırabilir. Boşluk boyutunu 15 mm'den 0 mm'ye düşürerek tam devreye giren sistem ile emilen enerji miktarının %34 arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Deprem, enerji soğurma, hibrit yapı, boyutsal inceleme.

1. GİRİŞ

Günümüz toplumunda çok katlı binaların sayısının artması, deprem gerçeğini akıllara getirmektedir. Bu bakımdan depremlerin getirdiği dinamik enerjinin sönümlemesinin dikkate alınması son derece önemli bir yere sahiptir. Bu yüksek katlı yapıların enerji soğurma kapasitesini geliştirmek için sismik damperler gibi ek cihazlar geliştirilmiştir (Balendra, 1991). Dinamik enerji dağıtımını amacıyla literatürde halihazırda incelenen metalik malzemenin plastik deformasyonuna dayanan yeni damper teknolojileri yer almaktadır. Bu tür damperlerin ana çalışma prensibi, bir malzeme yükleme ve boşaltma döngülerine maruz kaldığında, histerez etkisi olarak bilinen malzeme tarafından bir miktar enerjinin dağılmasıdır. Rezaei (1999) sistemin kullanılabilirliğini artırmak için yükleme sırasında çizilen histerezis döngülerinin genişletilmesi üzerinde çalışmıştır. Daha sonra, Maleki ve Mahjoubi (2013) ve Boostani (2018) emilen enerji miktarını arttırmak amacıyla hibrit sönümleyici sistemi üzerine çalışmıştır. Çalışmalarının arkasındaki fikir, destek sistemi

indeki boruların bükme kabiliyetini kullanmaktır. Sonuç olarak, çalışmalarında süneklik ve enerji dağıtım kapasitesinde önemli gelişmeler sağlanmışlardır. Ayrıca Maleki ve Mahjoubi (2014), sönümleme sistemi için optimize edilmiş parametrelerle farklı metallerle doldurulmuş iki iç içe tüp önermiştir. Çalışmalarına göre, hem plastik deformasyon hem de iç ve dış borular arasındaki sürtünme dinamik enerjiyi absorbe etmiştir. Hashemi ve Moaddab'a (2017) göre depremlerin şiddeti, kullanılan damperin sertliğini etkilemektedir, bu da bu uygulamaların daha pratik çözümlere ihtiyaç duyduğu anlamına gelmektedir. Bu çalışmanın amacı, hibrit sismik sönümleme sisteminin boyutsal değişikliklerden nasıl etkilendiğini araştırarak pratik bir mekanizma geliştirmektir. Bu çalışma Paygozar ve Dizaji (2019) tarafından daha önceden boyutsal değişimlerin emilen enerji miktarına etkilerinin yapay sinir ağıları metodu ile araştırıldığı çalışmanın devamı niteliğindedir.

Bu hibrit sismik sönümleyicinin enerji soğurması için ana mekanizması, tüplerin plastik

deformasyonlarıdır. SAC97 gibi yüklemeye modeline göre sismik yüklemenin dögüsel doğası, sistemi yüklemeye-boşaltma durumunda olmaya zorlayarak histerezis döngüleri yaratmaktadır. Bu döngüler, mekanik sismik damperlerin araştırılmasında ana fikir olan histerezis etkisi kavramını ortaya çıkartır. Bu nedenle, plastik deformasyonlar yoluyla emilen enerji miktarıyla ilgili olan bu döngülerin genişlemesi gerçekten uygulanabilir bir çözüm ve birçok araştırmanın ana fikri olabilecek niteliktedir.

2. DENEY YAPISI

Damperli yapıların çaprazlama sisteminin montajında kullanılabilen birleştirme yöntemi cıvata veya ark kaynağı olabilir. Bu bağlamda, sistemde parçaları birbirine bağlamak için ark kaynağı kullanılmıştır. Ayrıca, sistemi test edilebilmek ve fikstürlere bağlamak için ise cıvatalama yöntemi kullanılmıştır.

Bu araştırmanın tasarımının ana yapısı özetlenecek olursa sistem 1.5 çap oranına sahip farklı çapta iki tüpten ve bu iki tüpü birbirine bağlayan bir tutamaçtan oluşmaktadır (Şekil 1). Tüplerin sistem devreye girdikten sonra veya deplasmanın tüplerin arasındaki boşluk boyutundan daha büyük bir değere yükseltilmesinden sonra iki tüpün birlikte çalışması tasarlanmıştır. Yapıya kademeli olarak yükselen deplasman uygulanırken iç tüpte burulma meydana gelecektir. Bunun nedeni, modelin deprem durumunda düşük şiddetli ve yüksek şiddetli olmak üzere iki farklı fazı sönümleyecek şekilde tasarlanmış olmasıdır. Düşük şiddetli depremler meydana gelirken, enerjiyi sadece dış tüp emecektir. Öte yandan, yüksek şiddetli depremlerde hem iç hem de dış tüp devreye girecektir. Bu sönümleyici mekanizmanın kullanılması sayesinde düşük şiddetli depremler meydana geldikten sonra imalat ve onarım maliyetleri azalmaktadır. Ayrıca tasarlanan bu sistemin enerji yutma kapasitesi, aynı amaç ve aynı büyüklükte tasarlanmış diğer sistemlere göre daha yüksektir. Boşluk boyutu etkisi incelenerek simülasyonlar tamamlanmıştır ve bu çalışma

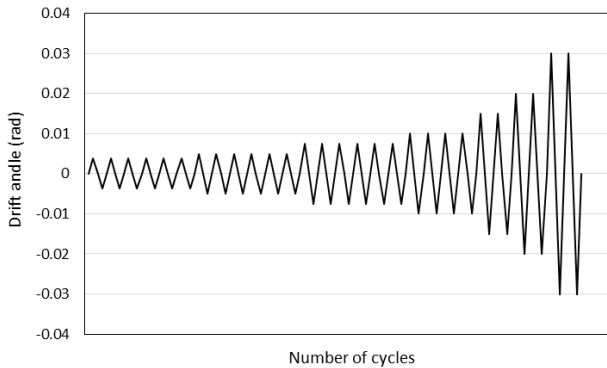
sonucunda farklı boşluk boyutlarının plastik deformasyon ile gerçekleştirilen enerji emilim miktarına etkisi araştırılmıştır.

Şekil 1'de gösterilen kurulum, araştırmanın sayısal araştırmalarını doğrulamak için kullanılmıştır. Bu amaçla, yapının her bir bileşeni, SolidWorks'te modellenmiştir ve bu çizimler Şekil 1'de gösterildiği gibi parçaları üretmek ve nihai yapıyı birleştirmek için kullanılmıştır. Tüm sabit parçalar birbirine kaynak teknikleri ile bağlanmıştır. Ayrıca, yapıyı test makinesinin fikstürüne birleştirmek için, sisteme iki harici fikstür tasarlanmıştır. Bu tasarım diğer tasarımlar gibi kolaylıkla yapılmaktadır ve kullanıcı yönünden hemen hemen aynı şartlara sahiptir.



Şekil 1 Doğrulama amacıyla üretilmiş tasarım.

Şekil 2, yüklemenin her adımına karşılık gelen yüklemeye modelini ve yer değiştirme değerlerini göstermektedir. Yer değiştirmenin artmasıyla, boşluk uzunluğu dikkate alınarak bazı yüklemeye aşamalarından sonra iç tüp devreye girecektir. Bağlantıdan sonra her iki sistem aynı anda çalışır ve böylece emilen enerji miktarı artar.



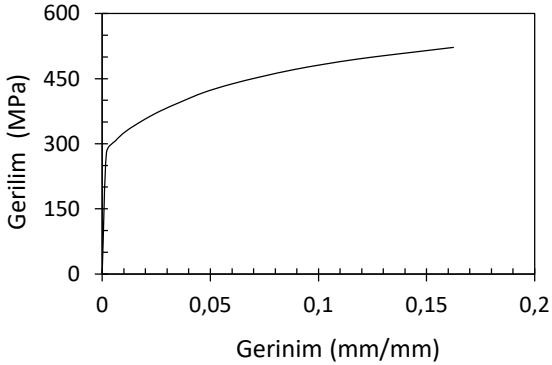
Yüklemeye Adımları	Sürüklenme Açısı (rad)	Çevrim Sayısı	Uygulanan Deplasman* (mm)
1	0.00375	6	3.75
2	0.005	6	5
3	0.0075	6	7.5
4	0.01	4	10
5	0.015	2	15
6	0.02	2	20
7	0.03	2	30

* Uygulanan deplasman miktarı sistem boyutuna göre hesaplanır.

Şekil 2 SAC ile uyumlu standart dögüsel yüklemeye modeli, (FEMA-355D, 2000).

3. SAYISAL SİMÜLASYONLAR

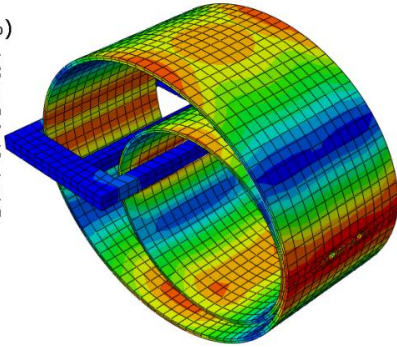
Önerilen sönümleyicinin analizinden önce, hibrit sönümleyici için gerçek bir durum çalışması tasarlanmış ve ardından SolidWorks yazılımında modellenmiştir. Tasarıma göre üretilen düzeneğe daha sonra, SAC 97 yüklemeye modeline göre yer değiştirme değerlerinde iyileştirmelerle çekme-basma deplasman kontrollü tek eksenli yüklemeye altında bir yorulma testi makinesinde test edilmiştir. Sayısal kısmın doğrulanmasının tamamlanması için deneyin yüklemeye-deplasman cevabı kullanılmıştır. Modelin sonlu eleman analizleri, deneysel olarak doğrulanmış örneklem yoluyla genişletilmiştir. Ayrıca, sayısal incelemeleri doğrulamak için; borular arasında bağlantı sağlayan saplı iki çelik borudan imal edilmiş bir numune, aynı yüklemeye koşulları altında test edilmiştir. Bu test düzeneği birkaç farklı parça içerir. Bunlar, Ø 406 mm çapında ve 10 mm kalınlığında dış tüp, Ø 265 mm çapında ve 6 mm kalınlığında iç tüp ve farklı boşluk boyutlarına (0, 5, 10, 15 mm) sahip bir koldur. Bu çalışmada kullanılan malzeme Çelik 44'tür. Bu malzemenin Young modülü ve Poisson oranı sırasıyla 210 GPa ve 0.3'tür. Çekme testi ile elde edilen malzemenin gerilim-gerinim eğrisi Şekil 3'te gösterilmektedir.



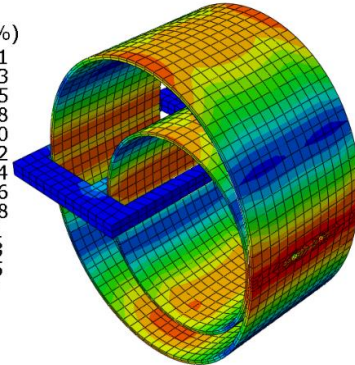
Şekil 3 Çelik 44 Malzemesinin Gerilim-Gerinim Eğrisi

Tüm sonlu eleman analizleri, ticari bir sonlu eleman paketi olan ABAQUS / Explicit içinde

S, Mises
(Avg: 75%)
378.4
347.3
316.1
284.9
253.7
222.5
191.4
160.2
129.0
97.8
66.6
35.5
4.3



S, Mises
(Avg: 75%)
383.1
351.3
319.5
287.8
256.0
224.2
192.4
160.6
128.8
97.1
65.3
33.5
1.7



Şekil 4. Döngüsel Çekme-Basma yüklemesinin 29. çevriminde deforme tüpte gerilme dağılımı; a) çekme altında ve b) basma altında

gerçekleştirilmiştir. Malzemenin plastik davranışı, yüklemeye-boşaltma koşullarını simüle etmek için yarım döngü kombine sertleştirme ile izotropik J_2 akış teoremi yardımıyla simüle edilmiştir (Smith, 2009). Ayrıca katsayı 0.1 olarak alınarak Coulomb sürtünme modeli ve problem şartlarına uygun bir temas algoritması kullanılmıştır. Modelin meshlenmesi, hassas bölgeler için $5 \times 5 \times 5$ mm boyutlarında, C3D8R tipi, 8 düğümlü tuğla elemanı ile yapılmıştır. Sınır koşulları olarak modelin bir tarafı sabitlenmiş ve diğer tarafından yüklemeye işlemi yapılmıştır, sadece tek yönde hareket serbest bırakılmıştır.

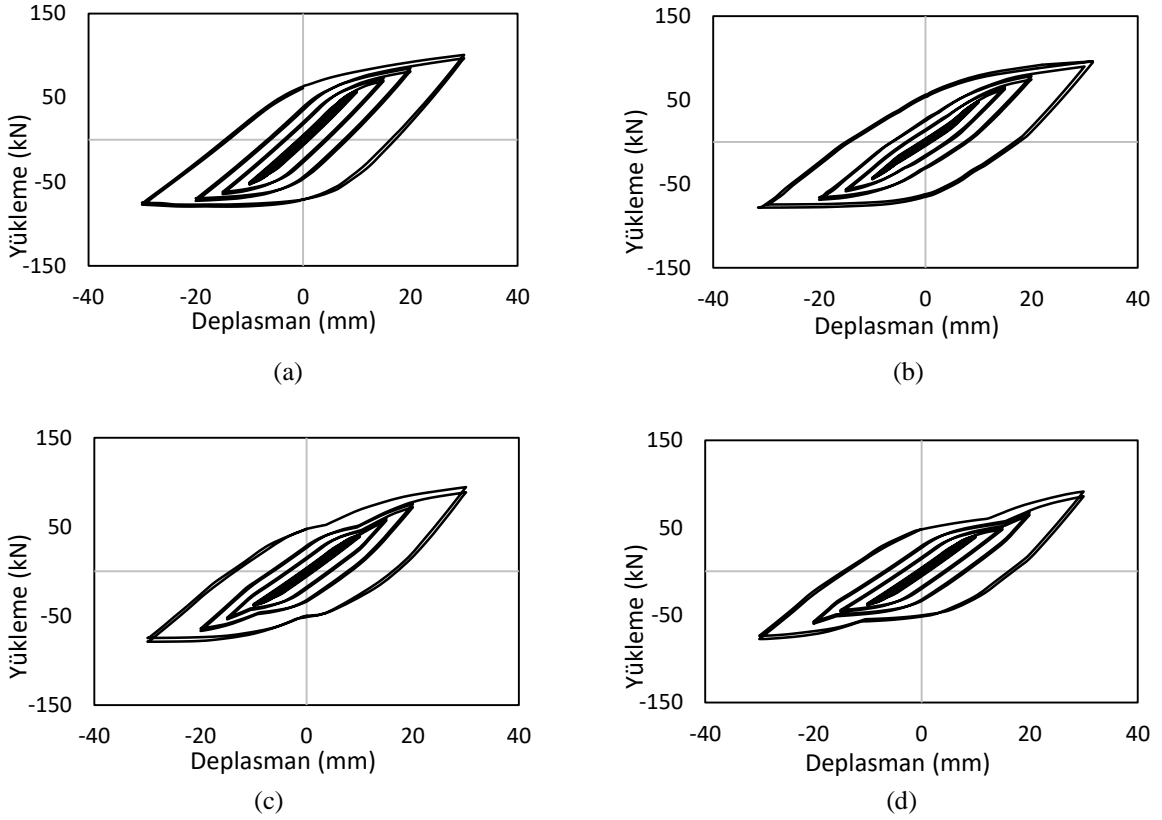
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

4.1 Gerilim dağılımı

Çalışmanın en önemli kısmı gerilim analizidir. Bunun sebebi ise maksimum ve minimum gerilmelerdeki gerilim dağılımının yanı sıra kritik bölümlerdeki gerilme miktarlarının da güvenliğini garanti altına almak gerekmektedir. Bu amaçla, 15 mm boşluğa sahip yapının gerilme konturları Şekil 4'te gösterilmiştir. Herhangi bir bölümden gerilme miktarının malzemenin nihai mukavemetini geçmediği, civataların çevresi veya bağlantıların yakınındaki alanlar gibi özel konumlarda gerilme seviyelerinin yapıyı tehdit etmediği de gözlemlenmektedir.

4.2 Yüklemeye-Deplasman Cevabı

Kinetik enerjiyi absorbe etmekten sorumlu olan deplasman kontrollü yüklemeye modeli ile başlatılan Histerezis etkisi, yapıların yüklemeye-deplasman cevabı ile incelenebilir. Bu amaçla, dört modelin yüklemeye-deplasman tepkileri çıkarılmış ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekillerde gösterildiği gibi, diyagramlar, boşluk boyutu küçültülerek dikey olarak genişletilmiştir, böylece emilen enerji miktarı artırılmıştır. Bunun nedeni, emilen enerji miktarının eğriler veya Histerezis döngüleri içindeki alana eşit olmasıdır.



Şekil 5. Farklı boşluk boyutlarına sahip yapıların Yüklemeye-Deplasman eğrileri; a) 0 , b) 5, c) 10 and d) 15 mm.

4.3 Plastik Olarak Emilen Enerji

Çalışmanın en önemli kısmı; emilen toplam yayılma enerjinin miktarı, boşluk büyüklüğünün bir fonksiyonu olarak değişmesidir. Bu bağlamda, dört sayısal model incelenmiştir ve ardından bu sayısal modelleri karşılaştırmak amacıyla plastik yayılan enerjinin eğrisi ABAQUS'ten elde edilmiştir. Şekil 6, emilen enerji miktarlarındaki tutarsızlığı ortaya koymaktadır. Boşluk boyutunun küçültülmesi ile emilen enerji miktarının ölçülebilir şekilde iyileştiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, boşluk boyutunun küçültülmesi sistemlerin birbirine geçmesinin daha erken gerçekleşmesine ve böylece enerjinin hem iç hem de dış tüp tarafından emilmesine sebep olur.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, boşluk büyüklüğünün sismik sönümleyicinin enerji yutma kapasitesi üzerindeki etkisini ortaya çıkarmak için aynı boyutta ancak dört farklı boşluk boyutuna sahip dört yapının sonlu eleman simülasyonları deneysel olarak doğrulanmış, sayısal analizlerle incelenmiştir. Boşluk boyutunun, tüplerin plastik deformasyonları ile emilen enerji miktarı üzerinde ölçülebilir bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Genel olarak, boşluk büyüklüğündeki

artış eğilimi, emilen enerji iyileştirme eğiliminin tersidir - başka bir deyişle, boşluk boyutu azaldığında, emilen enerji miktarı ölçülebilir şekilde artar.

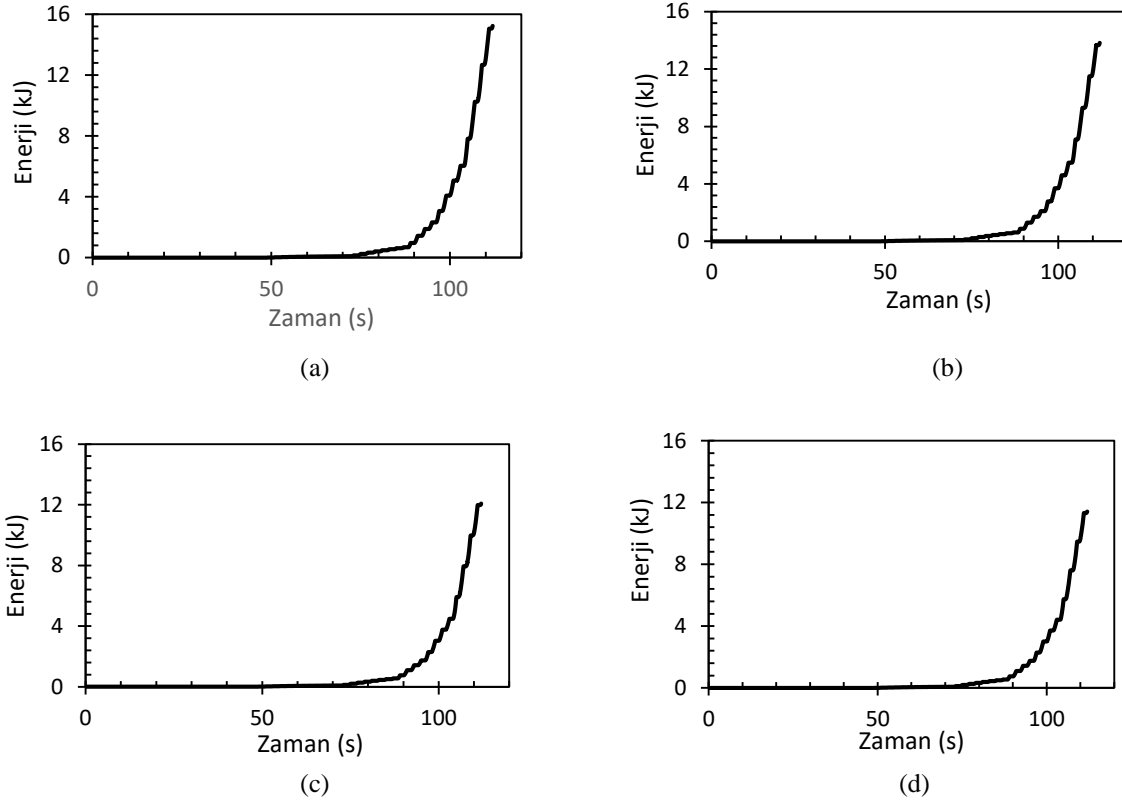
EFFECTS of HYBRID SEISMIC DAMPER ON ENERGY ABSORPTION CAPACITY

In this article, the hybrid seismic damper is introduced, and its efficiency is investigated according to the size of the gap between two energy absorption systems (internal system and external system). These systems, which are connected to each other with the aid of an arm, have different diameter and thicknesses. At the same time, the function of the arm is to involve the internal system for the situations with high displacement. The main purpose of this study is to deform the rings and increase the energy absorption capacity by using a secondary mechanism called the internal system, while covering the same area within the support system of the structures. For this purpose, numerical simulation was performed in ABAQUS / Explicit, a commercial finite element package. The models examined in the study have the same size in all parts of the damper, except for the gap size of the arm. To investigate the effects of this parameter on the load-displacement curves and then the amount of energy absorbed, four different gap sizes were considered in

the models, including 0, 5, 10 and 15 mm. It has been observed that this parameter is really effective in absorbing energy because the cavity size controls the activation time of the internal system and then the inner tube also starts to dissipate energy. This can increase the controllability of the proposed systems as a key factor in the design procedure. By reducing the

gap size from 15 mm to 0 mm, it was observed that the amount of energy absorbed increased by 34% with the fully activated system.

Keywords: Earthquake, energy absorption, hybrid structure, dimensional investigation.



Şekil 6. Farklı boşluk boyutlu yapılarda plastik olarak emilen enerji; a) 0 , b) 5, c) 10 and d) 15 mm.

KAYNAKÇA

1. A. Cheraghi, S.M. Zahrai, Innovative multi-level control with concentric pipes along brace to reduce seismic response of steel frames, *Journal of Constructional Steel Research*, **127**, 120-135 (2016)
2. B. Hosseini Hashemi, E. Moaddab, Experimental study of a hybrid structural damper for multiseismic levels, (2017)
3. B. Paygozar, S.A. Dizaji, Investigating Energy Absorption Accessible by Plastic Deformation of a Seismic Damper Using Artificial Neural Network, *Procedia Structural Integrity*, **21**, 138–145 (2019)
4. B. Paygozar, M.A. Saeimi Sadigh, Improved Energy Absorption Mechanism: Expansion of Circular Tubes by Rigid Tubes During the Axial Crushing, *Journal of Failure Analysis and Prevention*, **18**(1), 174-182 (2018)
5. C.-H. Lee, J. Kim, D.-H. Kim, J. Ryu, Y.K. Ju, Numerical and experimental analysis of combined behavior of shear-type friction damper and non-uniform strip damper for multi-level seismic protection, *Engineering Structures*, **114**, 75-92 (2016)
6. J.P. Judd, I. Marinovic, M.R. Eatherton, C. Hyder, A.R. Phillips, A. Tola Tola, F.A. Charney, Cyclic tests of all-steel web-restrained buckling-restrained brace subassemblages, *Journal of Constructional Steel Research*, **125**, 164-172 (2016)
7. J. Yan, S. Yao, P. Xu, Y. Peng, H. Shao, S. Zhao, Theoretical prediction and numerical studies of expanding circular tubes as energy absorbers, *International Journal of Mechanical Sciences*, **105**, 206-214 (2016)

8. M. Boostani, O. Rezaifar, M. Gholhaki, Introduction and seismic performance investigation of the proposed lateral bracing system called "OGrid", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, **18**(4), 1024-1041 (2018)
9. M.D. Symans, F.A. Charney, A.S. Whittaker, M.C. Constantinou, C.A. Kircher, M.W. Johnson, R.J. McNamara, Energy Dissipation Systems for Seismic Applications: Current Practice and Recent Developments, *Journal of Structural Engineering*, **134**(1), 3-21 (2008)
10. M.J. Haji Rajabi, M.S. Karimi, M.A. Kafi, A new model for beam rigid connection to double I shaped column's web, *Journal of Constructional Steel Research*, **127**, 204-220 (2016)
11. M. Rezai, H.G.L. Prion, P. Timler, Pilot Testing of Fuse Details for HSS Bracing Members, *Dept. of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, Canada*, (1999)
12. S. Maleki, S. Mahjoubi, Dual-pipe damper, *Journal of Constructional Steel Research*, **85**, 81-91 (2013)
13. T. Balendra, M.T. Sam, C.Y. Liaw, Design of earthquake-resistant steel frames with knee bracing, *Journal of Constructional Steel Research*, **18**(3), 193-208 (1991)
14. T.T. Soong, B.F. Spencer Jr, Supplemental energy dissipation: state-of-the-art and state-of-the practice, *Engineering Structure* **24**, 243-259 (2002)