



Araştırma Makalesi

Journal of Marine and Engineering Technology (JOINMET) 2(1), 50-57, 2022

Received: 03-Jun-2022 Accepted: 18-Jun-2022



SAKARYA UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

Binalarda Kullanılan MR Damperli Yarı Aktif Kütle Sönümleyicisinin Performans Analizi

Hüseyin AGGÜMÜŞ¹ 

¹Şırnak Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Şırnak Üniversitesi,
haggumus@sirnak.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, yapısal titreşim kontrolünde kullanılan MR damperli yarı-aktif ayarlı kütle sönümleyicisinin (YAKS) performansını, çok serbestlik dereceli bir bina modeli üzerinde incelemektir. YAKS'nin sistem cevaplarına etkisi binanın en üst katına ve birinci katına yerleştirilerek test edilmiştir. MR damperler yarı aktif kontrol elemanlarıdır. İletilen gerilime göre, sisteme uyguladıkları kuvvet değişir. Bu sebeple MR dampere iletilen gerilimi belirlemede, gerek basitliği gerekse performansı nedeniyle groundhook kontrol algoritması kullanılmıştır. Sonuçlar, YAKS'nin her iki yerleşiminde de sistem performansının iyileştirdiğini, en iyi performansın binanın en üst katına yerleştirilmesiyle elde edildiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Yapısal titreşim kontrolü, MR damper, Yarı-aktif kütle sönümleyicisi (YAKS), Groundhook control.

Performance Analysis of MR Damper Semi-Active Mass Damper Used in Buildings

ABSTRACT

The aim of this study is to examine the performance of a semi-active tuned mass damper (STMD) using an MR damper, which is preferred in structural vibration control, on a multi-degree-of-freedom building model. The effect of STMD on system responses was tested by placing it on the top floor and first floor of the building. MR dampers are semi-active control elements. According to the transmitted voltage, the force applied to the system changes. For this reason, groundhook control algorithm has been used in determining the voltage transmitted to the MR damper due to its simplicity and performance. The results revealed that the system performance improved in both placements of STMD, with the best performance being achieved when placed on the top floor of the building.

Keywords: Structural vibration control, MR damper, Semi-active mass damper (STMD), Groundhook control.

¹ Sorumlu Yazar : haggumus@sirnak.edu.tr

1. Giriş

Yapısal sistemlerin kontrolü, gerek yapının güvenliği, gerekse yapı içindeki yerleşimcilerin güvenlik ve konforu için kritik önem arz etmektedir. Gerek aktif kontrol uygulamaları (Guclu and Yazici, 2009a, 2009b, 2008; Guclu, 2003; Turan and Aggumus, 2021.), gerekse yarı aktif kontrol uygulamaları (Turan and Aggümüş, 2021; Aggumus and Cetin, 2018; Aggumus and Guclu, 2020; Paksoy and Aggümüş, 2022) ile harici bozucular etkisindeki yapıların cevaplarını bastırmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Yapısal titreşim kontrolünde ayarlı kütle sönümleyicileri (AKS) yaygın olarak kullanılır. Genel olarak, pasif kontrol elemanı olan AKS'lere aktif ve yarı aktif kontrol yöntemleri uygulanmıştır. Literatürde AKS'lerin aktif kontrolü ile ilgili lineer (Guclu, 2003; Guclu and Yazici, 2008) ve lineer olmayan (Guclu and Yazici, 2009a, 2009b) bir çok kontrol uygulaması yapılmıştır. Aktif kontrol uygulamaları yapısal titreşimleri bastırmada yüksek performans göstermelerine rağmen, uygulamada kullanılan ekipmanların maliyeti ve doğal bir afet esnasında enerji kesintisinin olması durumunda bu kontrolcünün çalışmaması, kontrol uygulamalarındaki dezavantajlarıdır. AKS'lerin pasif olarak çalıştırıldıklarında performansları kısıtlıdır. AKS'lerdeki yarı-aktif kontrol uygulaması, hem pasif kontrolden daha iyi performans gösterir hem de güvenilirdir.

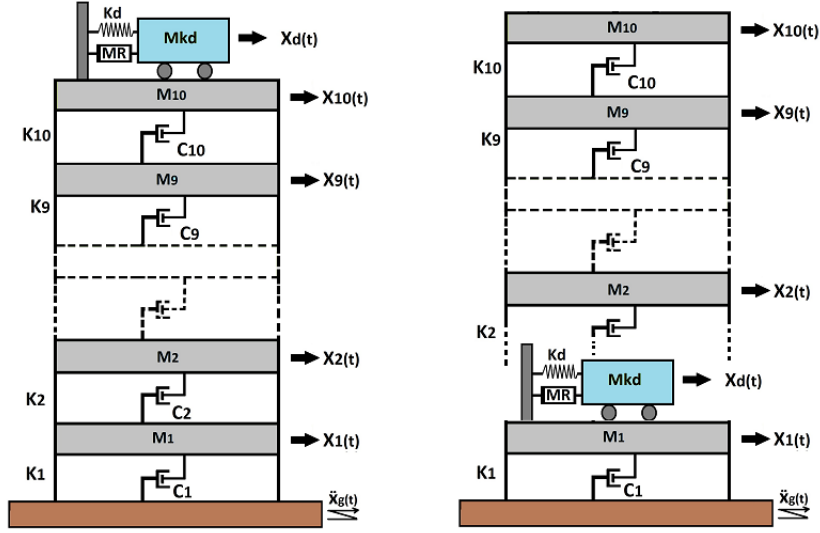
Yarı-aktif kontrol elemanlarından olan MR damperler, büyük kuvvet kapasitesi ve düşük güç tüketimi gibi avantajlarından dolayı yapısal sistemlerde yaygın olarak kullanılır. YAKS'lerde de yarı-aktifliği sağlayan sönüm elemanı olarak tercih edilmektedir. Literatürde, MR damperli YAKS'ler ile ilgili yapılan simülasyon çalışmalarında, Nedensel alt-optimal kontrol şemaları (Aldemir, 2003), Kırpılmış optimal kontrol (Lin et al., 2005), Doğrusal kuadratik regülatör (LQR) (Tse et al., 2007), Optimal bulanık kontrol ile sky-groundhook kontrol (Kim and Kang, 2012), Çok girişli çoklu çıkış (MIMO) bulanık mantık kontrol (FLC) (Kim, 2016), Tip 1 ve 2 bulanık mantık kontrol (Bathaei et al., 2018), Yapışkan olmayan sürtünme kontrol yasası (Lin et al., 2012), Bang-Bang kontrolü (Aly, Aly Mousaad, 2015) gibi bir çok kontrol metodu kullanılmıştır. Sayısal simülasyon çalışmalarının yanı sıra deneysel çalışmalarda, groundhook kontrol (Setareh et al., 2007), LQR kontrol (Lin et al., 2013) gibi farklı kontrol yöntemleri kullanılmıştır. Deneysel ve simülasyon çalışmalarına ek olarak, hibrit simülasyon çalışmaları da gerçekleştirilmiştir (Aggumus and Guclu, 2020). YAKS'lerin performansları araştırılmıştır. İncelenen çalışmalarda kullanılan YAKS'ler yapıların en üst katlarına yerleştirilmiştir.

Bu çalışmada YAKS'lerin farklı iki yerleşiminin harmonik tahrik altındaki bir binanın cevaplarına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla birinci durumda YAKS on katlı bir bina modelinin en üst katına, ikinci durumda ise birinci katına yerleştirilerek sistemin yarı-aktif kontrol performansı araştırılmıştır.

2 Materyal ve Metot

2.1 Bina Modeli Hareket Denklemleri

Bu çalışmada incelenen on katlı binadaki kontrol durumları, Şekil 1'deki gibidir. Tüm kontrol durumları için yapının sadece yanal titreşimleri göz önüne alınmıştır.



Şekil 1. Bina modelinde YAKS'nin yerleşimleri: a) YAKS 10. katta, b) YAKS 1. katta

Yerdeğiştirme vektörü,

$$x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6 \ x_7 \ x_8 \ x_9 \ x_{10} \ x_d]^T \quad (2)$$

sismik giriş vektörü,

$$L = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \quad (3)$$

Kontrolcünün yerini gösteren vektör iki farklı yerleşim olduğu için iki farklı şekilde olmalıdır ve YAKS'nin 10. katta olması durumunda

$$H_s = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ -1]^T \quad (4)$$

şeklinde, YAKS'nin 1. katta olması durumunda ise

$$H_s = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ -1]^T \quad (5)$$

şeklindedir.

Model parametreleri, $m_{1...10} = 72 \text{ t}$, $k_{1...10} = 13 \times 10^7 \text{ N/m}$, $c_{1...10} = 1.24 \times 10^6 \text{ Ns/m}$. YAKS'nin kütle oranı 0.03 seçilerek kütlesi $m_d = 2.16 \text{ t}$ rijitlik değeri ise $k_d = 7.8618 \times 10^5$ hesaplanmıştır (Leung and Zhang, 2009). Bozucu giriş olarak; 20 s süresine sahip, bina modelinin kritik doğal frekansına eşit frekanslı (1.0108 Hz) ve $0.002xg \text{ m/s}^2$ genlik değerine sahip harmonik tahrik kullanılmıştır. Burada g , yerçekim ivmesidir.

2.2 MR damper Modeli

Hem basit hem de oldukça hassas bir şekilde MR sönümleyicinin dinamiğini tahmin edebilen LuGre sürtünme modeline göre, MR sönümleyici tarafından üretilen kuvvetin denklemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Terasawa et al., 2004).

$$f = \sigma_a z + \sigma_0 z v + \sigma_1 \dot{z} + \sigma_2 \dot{x}_1 + \sigma_b \dot{x}_1 v \quad (6)$$

$$\dot{z} = \dot{x}_1 - a_0 |\dot{x}_1| z \quad (7)$$

z değişkeni MR akışındaki değişimi temsil eden iç dinamik değişkenini, v ise aynı zamanda kontrol girişi de olan, gerilimi ifade etmektedir. σ_0 , $v(t)$ ile değişen $z(t)$ nin rijitliği [N/m.V], σ_1 , $z(t)$ ' nin sönüm katsayısı [N.s/m], σ_2 , viskoz sönüm katsayısı [N.s/m], σ_a , $z(t)$ ' nin rijitliği [N/m], σ_b , $v(t)$ ile değişen viskoz sönüm katsayısı [N.s/(m.V)] ve a_0 ise sabit katsayı [V/N] olarak ifade edilmektedir (Sakai et al., 2003).

2.3 Groundhook kontrol

Bu çalışmada MR dampere gönderilen gerilimi belirlemek için yer değiştirme groundhook kontrol algoritması kullanılmıştır. Şekil 2'de gösterilen groundhook konfigürasyonları pratikte gerçekleştirilemez. Çünkü damper gökyüzüne veya hareketsiz bir atalet çerçevesine sabitlenemediğinden dolayı groundhook kontrolde amaç, yapı ile toprak arasındaki pasif bir sönümleyicinin ideal yapısal konfigürasyonunu taklit etmektir (Kim and Kang, 2012; Koo et al., 2004).

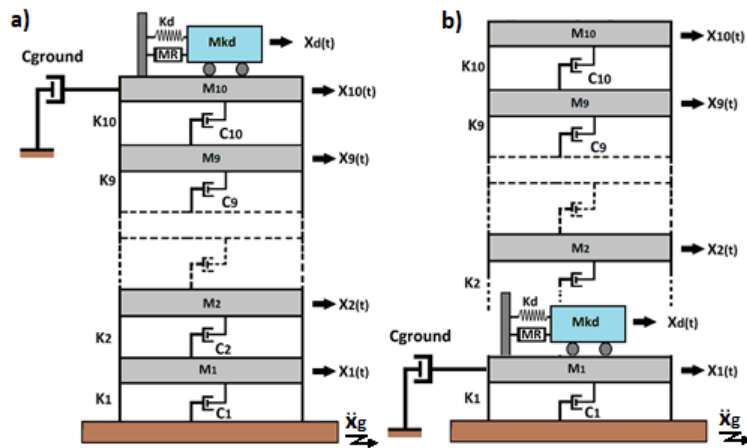
Şekil 2'de rölatif hız, YAKS'nin hızının yapının hızından çıkarılmasıyla tanımlanır. Yer değiştirmeye dayalı groundhook kontrol, rölatif hız ve YAKS'nin x_{kd} yer değiştirmesi kullanılarak tanımlanır. Groundhook kontrol algoritmasında, komut gerilimi minimum ve maksimum seviye arasında değiştirilir ve YAKS'nin 1. katta olması durumunda aşağıdaki koşullara göre gerçekleştirilir:

$$V = \begin{cases} V_{max} & \text{eğer } x_1(dx_1 - dx_{kd}) \geq 0 \\ V_{min} & \text{eğer } x_1(dx_1 - dx_{kd}) < 0 \end{cases} \quad (8)$$

YAKS'nin 10. Katta olması durumunda da aşağıdaki koşullara göre gerçekleştirilir:

$$V = \begin{cases} V_{max} & \text{eğer } x_{10}(dx_{10} - dx_{kd}) \geq 0 \\ V_{min} & \text{eğer } x_{10}(dx_{10} - dx_{kd}) < 0 \end{cases} \quad (9)$$

V_{min} minimum voltaj, V_{max} maksimum voltajdır. MR dampere iletilecek maksimum ve minimum gerilimler, $V_{max} = 10v$ ve $V_{min} = 0$ olarak belirlenmiştir. Eşitlik 8 ve Eşitlik 9'da görüldüğü gibi groundhook kontrolüne dayanan komut, MR dampere gönderilen gerilimi çok basit bir hesaplama ile belirler (Kim and Kang, 2012).



Şekil. 2 Groundhook kontrol konfigürasyonu a) YAKS 10. katta, b) YAKS 1. Katta

2.4 Yapısal titreşim performans değerlendirmeleri

Yapısal sistem performansını değerlendirmede diğer bir adım, Ohtori vd. (Ohtori et al., 2004) tarafından oluşturulan ve aşağıdaki gibi verilen performans indekslerini incelemektir (Aggumus and Cetin, 2018).

$$J_1 = \max \left\{ \frac{\max_{t,i} |d_i(t)|}{\delta^{\max}}, \frac{\max_{t,i} |\ddot{x}_{ai}(t)|}{\ddot{x}_a^{\max}} \right\} \quad (10)$$

$$\delta^{\max} = \frac{|d_i(t)|}{h_i} \quad (11)$$

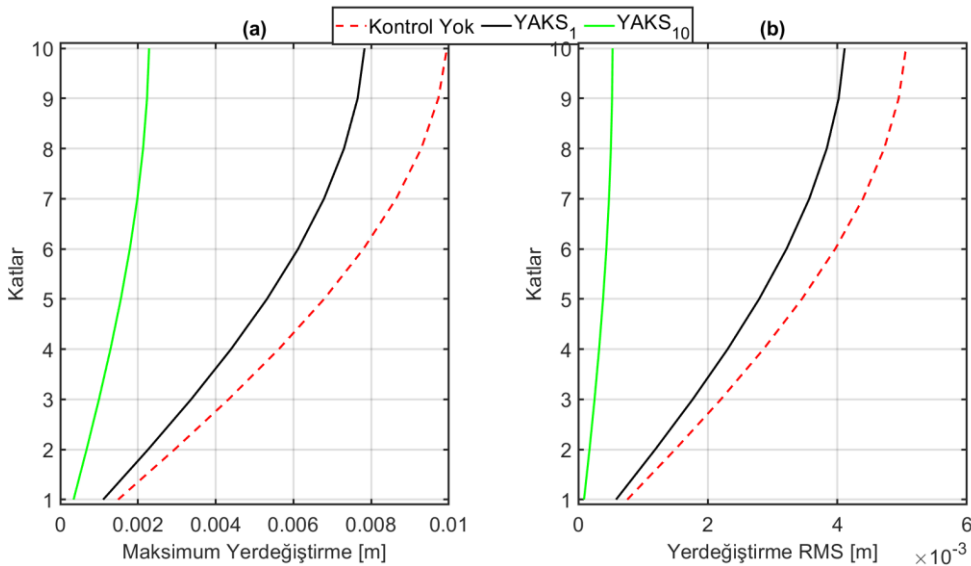
Burada, δ^{\max} kontrolcüsüz durumdaki maksimum katlar arası yer değiştirme oranını, h_i katlar arası mesafeyi, d_i katlar arası yer değiştirmeyi, \ddot{x}_a^{\max} kontrolcüsüz durumdaki maksimum mutlak ivme olarak ifade edilmektedir. Katlar arası mesafeler eşit olduğunda, h_i ihmal edilebilir (Cetin et al., 2011). Birinci performans indeksi (J_1) katlar arasındaki genliklerdeki maksimum değerleri, ikinci performans indeksi (J_2) ise ivmenin maksimum değerini esas almaktadır.

3 Araştırma ve Bulgular

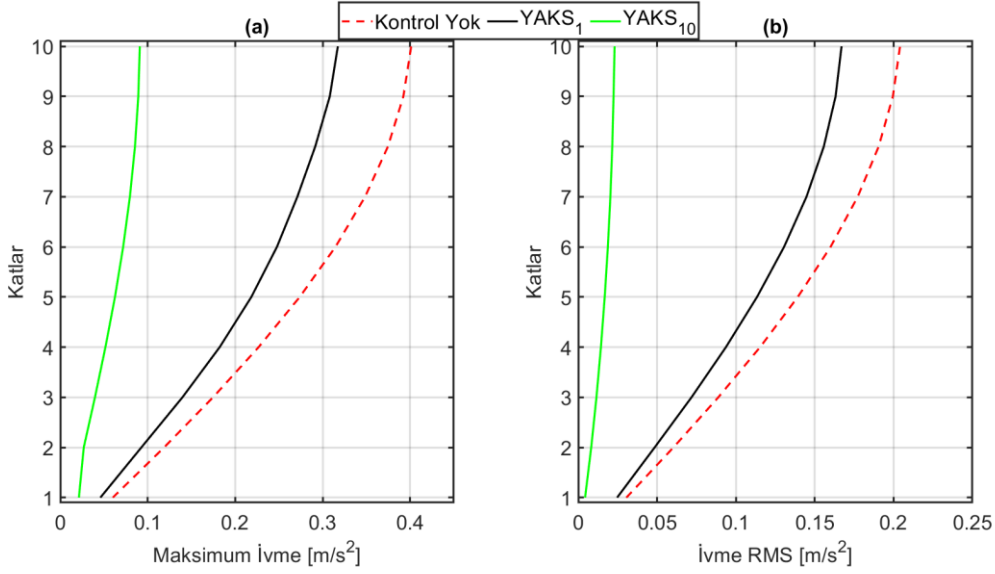
YAKS'nin bina modeli üzerindeki performansını incelemek için sistemin zaman cevapları incelenmiştir. YAKS'nin binanın 10. katında olduğu durum (YAKS₁₀) ve YAKS'nin binanın 1.katında olduğu durum (YAKS₁) karşılaştırılmıştır. Tüm katların maksimum yer değiştirme ve maksimum ivme cevapları ile yer değiştirme RMS ve ivme RMS değerleri incelenmiştir. Şekil 3'te yerdeğiştirme cevapları, Şekil 4'te ivme cevapları görülmektedir.

Şekil 3 (a)'da maksimum yerdeğiştirmeler, Şekil 3 (b)'de ise yerdeğiştirme RMS değerleri görülmektedir. Sistemin yerdeğiştirme cevaplarında ait YAKS performansları, her iki kontrol etkisinde de sistem cevaplarında iyileşmeler göstermiş olup, YAKS₁₀ kontrol durumunun YAKS₁ kontrol durumundan belirgin bir şekilde daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

Şekil 4 (a)'da maksimum ivmeler, Şekil 3 (b)'de ise ivme RMS değerleri görülmektedir. Sistemin ivme cevaplarına ait YAKS performanslarında da, yerdeğiştirme cevaplarına benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3. YAKS kontrol durumlarına ait maksimum cevaplar: a) Maksimum yerdeğiştirme b) Yerdeğiştirme RMS



Şekil 4. YAKS kontrol durumlarına ait maksimum cevaplar: a) Maksimum ivme b) İvme RMS

Tablo 1’de yapısal sistem performans indeksleri gösterilmektedir. Performans indekslerinde kontrolün olmadığı durum ile YAKS10 ve YAKS1 durumları oranlanmaktadır. Bütün kontrol durumlarında, performans ölçütlerinin 1’den küçük olması, sistem performanslarının iyileşmesi anlamına gelir. YAKS10 kontrol durumunda j_1 ve j_2 değerlerinin 1’den düşük olması sistem cevaplarının başarılı bir şekilde bastırıldığını gösterir. YAKS1 kontrol uygulaması ise j_1 ’de beklenen performansı göstermiş, j_2 ’de ise sistem cevabında bir iyileşme söz konusu değildir. Fakat, birinci hedef yerdeştirmelerdeki iyileştirmeler olduğunda j_2 ’nin yaklaşık olarak 1 olması kabul edilebilir bir durumdur.

Tablo 1. Performans indeksleri

Kontrol Durumları	J_1	J_2
YAKS ₁	0.7791	1.0155
YAKS ₁₀	0.2306	0.7529

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, MR damperli YAKS’yi on katlı bir bina modelinin 1. ve 10. katlarına ayrı ayrı yerleştirilerek performans analizi gerçekleştirilmiştir. Bina modelinin kritik frekansına eşit frekanslı bir harmonik tahrik sisteme etki ettirilmiştir. YAKS’deki yarı aktifliği sağlayan kontrol elemanı olan MR dampere iletilen gerilimi belirlemek için, yerdeğiştirme tabanlı groundhook kontrol algoritması kullanılmıştır. YAKS yerleşimlerinin sistem cevaplarına etkisi, kontrolün olmadığı durum ile YAKS’nin 1. katta ve 10. katta olduğu durum karşılaştırılarak elde edilmiştir. Sonuçlar, her iki YAKS yerleşiminin de sistemin zaman cevaplarını bastırıldığını göstermiştir. Ayrıca gerek zaman cevaplarındaki eğriler gerekse performans indekslerindeki değerler de açıkça göstermektedir ki YAKS’nin binanın 10. katına yerleştirilmesinin sistem cevaplarını daha etkili bir şekilde bastırmıştır.

5 Beyanname

5.1 Rakip Çıkarlar

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

5.2 Yazarların Katkıları

Çalışmanın tamamı Sorumlu Yazar Hüseyin AGGÜMÜŞ tarafından gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Aggumus, H., Cetin, S., 2018. Experimental investigation of semiactive robust control for structures with magnetorheological dampers. *J. Low Freq. Noise Vib. Act. Control* 37, 216–234. <https://doi.org/10.1177/0263092317711985>
- Aggumus, H., Guclu, R., 2020. Robust H_∞ Control of STMDs Used in Structural Systems by Hardware in the Loop Simulation Method. *Actuators* 9, 55. <https://doi.org/10.3390/act9030055>
- Aldemir, U., 2003. Optimal control of structures with semiactive-tuned mass dampers. *J. Sound Vib.* 266, 847–874. [https://doi.org/10.1016/S0022-460X\(03\)00191-3](https://doi.org/10.1016/S0022-460X(03)00191-3)
- Aly, Aly Mousaad, 2015. Control of wind-induced motion in high-rise buildings with hybrid TM/MR dampers. *Wind Struct.* 21, 565–595. <https://doi.org/10.12989/WAS.2015.21.5.565>
- Bathaei, A., Zahrai, S.M., Ramezani, M., 2018. Semi-active seismic control of an 11-DOF building model with TMD+MR damper using type-1 and -2 fuzzy algorithms. *J. Vib. Control* 24, 2938–2953. <https://doi.org/10.1177/1077546317696369>
- Cetin, S., Zergeroglu, E., Sivrioglu, S., Yuksek, I., 2011. A new semiactive nonlinear adaptive controller for structures using MR damper: design and experimental validation. *Nonlinear Dyn.* 66, 731–743.
- Guclu, R., 2003. Fuzzy logic control of vibrations of analytical multi-degree-of-freedom structural systems. *Turk. J. Eng. Environ. Sci.* 27, 157–168.
- Guclu, R., Yazici, H., 2009a. Seismic-vibration mitigation of a nonlinear structural system with an ATMD through a fuzzy PID controller. *Nonlinear Dyn.* 58, 553–564. <https://doi.org/10.1007/s11071-009-9500-5>
- Guclu, R., Yazici, H., 2009b. Self-tuning fuzzy logic control of a non-linear structural system with ATMD against earthquake. *Nonlinear Dyn.* 56, 199–211. <https://doi.org/10.1007/s11071-008-9392-9>
- Guclu, R., Yazici, H., 2008. Vibration control of a structure with ATMD against earthquake using fuzzy logic controllers. *J. Sound Vib.* 318, 36–49. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2008.03.058>
- Kim, H.-S., 2016. Seismic response control of adjacent buildings coupled by semi-active shared TMD. *Int. J. Steel Struct.* 16, 647–656. <https://doi.org/10.1007/s13296-016-6030-0>
- Kim, H.-S., Kang, J.-W., 2012. Semi-active fuzzy control of a wind-excited tall building using multi-objective genetic algorithm. *Eng. Struct.* 41, 242–257. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.03.038>
- Koo, J.-H., Ahmadian, M., Setareh, M., Murray, T., 2004. In Search of Suitable Control Methods for Semi-Active Tuned Vibration Absorbers: *J. Vib. Control*. <https://doi.org/10.1177/1077546304032020>
- Leung, A.Y.T., Zhang, H., 2009. Particle swarm optimization of tuned mass dampers. *Eng. Struct.* 31, 715–728. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.11.017>
- Lin, G.-L., Lin, C.-C., Lu, L.-Y., Ho, Y.-B., 2012. Experimental verification of seismic vibration control using a semi-active friction tuned mass damper: SEISMIC VIBRATION CONTROL USING A SEMI-ACTIVE FRICTION TUNED MASS DAMPER. *Earthq. Eng. Struct. Dyn.* 41, 813–830. <https://doi.org/10.1002/eqe.1162>

- Lin, P.Y., Chung, L.L., Loh, C.H., 2005. Semiactive Control of Building Structures with Semiactive Tuned Mass Damper. *Comput.-Aided Civ. Infrastruct. Eng.* 20, 35–51. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2005.00375.x>
- Lin, P.-Y., Lin, T.-K., Hwang, J.-S., 2013. A semi-active mass damping system for low- and mid-rise buildings. *Earthq. Struct.* 4, 63–84. <https://doi.org/10.12989/EAS.2013.4.1.063>
- Ohtori, Y., Christenson, R.E., Spencer Jr, B.F., Dyke, S.J., 2004. Benchmark control problems for seismically excited nonlinear buildings. *J. Eng. Mech.* 130, 366–385.
- Paksoy, M., Aggümüş, H., 2022. MR Sönümleyicili Yarı Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyicisinin Uyarlamalı Kontrolü. *Avrupa Bilim Ve Teknol. Derg.* 68–73. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1020498>
- Sakai, C., Ohmori, H., Sano, A., 2003. Modeling of MR damper with hysteresis for adaptive vibration control, in: 42nd IEEE International Conference on Decision and Control (IEEE Cat. No.03CH37475). pp. 3840–3845 vol.4. <https://doi.org/10.1109/CDC.2003.1271748>
- Setareh, M., Ritchey, J.K., Murray, T.M., Koo, J.-H., Ahmadian, M., 2007. Semiactive Tuned Mass Damper for Floor Vibration Control. *J. Struct. Eng.* 133, 242–250. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2007\)133:2\(242\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2007)133:2(242))
- Terasawa, T., Sakai, C., Ohmori, H., Sano, A., 2004. Adaptive identification of MR damper for vibration control, in: 2004 43rd IEEE Conference on Decision and Control (CDC) (IEEE Cat. No.04CH37601). pp. 2297-2303 Vol.3. <https://doi.org/10.1109/CDC.2004.1428732>
- Tse, K.T., Kwok, K.C.S., Hitchcock, P.A., Samali, B., Huang, M.F., 2007. Vibration control of a wind-excited benchmark tall building with complex lateral-torsional modes of vibration. *Adv. Struct. Eng.* 10, 283–304.
- Turan A., Aggümüş H., 2021. Mr Damperli Yarı Aktif Yapısal Sistem İçin Optimal PID Kontrolcü Tasarımı, : Mühendislik Alanında Uluslararası Araştırmalar II. pp. 101-110.
- Turan A., Aggumus H., 2021. Implementation of Advanced PID Control Algorithm for SDOF System. *Journal of Soft Computing and Artificial Intelligence.* 2(2): 98-107.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).