



Research Article

Journal of Marine and Engineering Technology (JOINMET) 3(2), 90-98, 2023

Received: 08-Dec-2023 Accepted: 24-Dec-2023

homepage: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/joinmet>

<https://doi.org/10.58771/joinmet.1402079>



SAKARYA UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

Ayarlı kütle sönümleyicilerinde yerleşim ve parametre değişiminin yapısal sistem performansına etkisi

Hüseyin AGGÜMÜŞ 

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

ÖZ

Bu çalışmada Ayarlı Kütle Sönümleyicilerinin (AKS) yapısal sistem üzerinde etkileri, parametre değişimi ve yerleşimleri dikkate alınarak incelenmiştir. Çok serbestlik dereceli çelik konstrüksiyon bir bina modeli için tasarlanan AKS, bu bina modelinin her bir katına ayrı ayrı eklenerek sistem cevapları incelenmiştir. Her bir kat için ayrı bir simülasyon yapılmıştır. Ayrıca, kat yerleşimlerinin yanında parametre değişiminin etkilerini incelemek amacıyla, AKS'nin farklı kütle, rijitlik ve sönüm parametreleri kullanılmıştır. AKS parametrelerinin belirlenmesinde farklı yaklaşımlardan faydalanılmıştır. Sistem cevapları farklı depremler etkisinde analiz edilmiştir. Sonuçlar, AKS'nin yerleşimi ile parametre değişimlerinin sistem performansını etkilediği, ve üst katlara doğru AKS yerleşimi ile yüksek kütle oranındaki artışın, sistem cevaplarını daha etkili bir şekilde bastırıldığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapısal titreşimler, Pasif kontrol, AKS yerleşimleri, AKS parametreleri,

The effect of location and parameter exchange of tuned mass damper on the structural system performance

ABSTRACT

This study investigates the effects of Tuned Mass Dampers (TMDs) on the structural system by considering parameter variation and placement. A multi-degree-of-freedom steel construction building model is designed by considering the parameters of the building model, and the system responses are investigated by adding the TMD to each floor of this building model separately. A separate simulation was performed for each floor. In addition, different values of the TMD's mass, stiffness, and damping parameters were used to investigate the effects of different parameters besides the story placements. Different approaches were utilized to determine the TMD parameters. System responses were analyzed under the influence of different earthquakes. The results show that the parameter variations with the placement of the TMD affect the system performance. The parameters obtained at higher mass ratios in the parameter ranges determined by the placement of the TMD towards the upper floors suppress the system responses more effectively.

Keywords: Structural vibration, passive control, TMD parameters, TMD locations, earthquake effects.

1 Giriş

Depremler gibi doğal afetler nedeniyle yapılarda meydana gelen titreşimleri önlemek veya azaltmak, gerek yapı içerisinde yaşayanların, gerekse yapının güvenliği için önemli bir konudur. Yapısal sistem titreşimlerini bastırmak için bir çok kontrol uygulaması vardır (Aggumus & Cetin, 2018; Aggumus & Guclu, 2020; Cetin et al., 2011; Guclu & Yazici, 2007; Leung & Zhang, 2009; Warburton, 1982). Bu kontrol uygulamaları arasında kullanılan Ayarlı Kütle Sönümleyicileri (AKS), sisteme kolayca entegre edilebilen, basit, düşük maliyetli ve güvenilir kontrol cihazlarıdır. Yapının kritik frekansına yakın parametrelerle seçilen AKS'ler, kütle, yay ve sönüm elemanlarından oluşan pasif kontrol cihazlarıdır (Bekdaş & Nigdeli, 2011; Leung & Zhang, 2009; Mashaly et al., 2005; Warburton, 1982). AKS'ler yapıya etki eden bir tahrik esnasında, hareket ederek yapıyı titreşimlerden korur. AKS'lerin yapısal sistemlerin cevaplarını bastırmada etkili olabilmesi için parametrelerinin, yerleşim yerlerinin, sayılarının belirlenmesi gereklidir.

AKS performansında önemli bir faktör parametrelerin belirlenmesidir. Bunun için optimizasyon metotları ve geleneksel formüller kullanılmaktadır. Optimizasyon metotlarında parametreler isabetli bir şekilde belirlenebilir (Bekdaş & Nigdeli, 2011; Leung & Zhang, 2009; Li et al., 2010; Miguel et al., 2015). Fakat farklı kütle, sönüm ve rijitlik değerlerini belirlemek için bu algoritmaların yeniden kullanılması gerekir ve bu zorlu bir süreçtir. Geleneksel parametre belirleme metotlarında ise formül kullanıldığı için bu parametreleri belirlemek daha kolaydır. Bu kolaylık, farklı AKS kütlelerinin değerlendirilmesine de daha basit bir şekilde olanak sağlar. Literatürde birçok parametre belirleme metodu vardır (Den Hartog & Ormondroyd, 1928; Leung & Zhang, 2009; Mashaly et al., 2005; Warburton, 1982). Bu metotlarla AKS parametreleri isabetli bir şekilde belirlenebilir ve kütle oranı değiştirilerek elde edilen farklı parametrelerin etkileri kolaylıkla test edilebilir. AKS'nin performansını etkileyen bir diğer faktör ise AKS'nin yapıya yerleştirildiği yerdir. AKS'ler yapının katlarına farklı şekillerde yerleştirilebilir (Wang, Jer-Fu & Lin, Chi-Chang, 2015). Birinci kattan son kata kadar yerleştirilmesi, uygulanabilirlik ve performans gibi nedenlerde bağlıdır. Çoklu AKS'lerin kullanılması da yapılan çalışmalarda performans artışına etki etmesi bakımında tercih edilmektedir (Fadel Miguel et al., 2016).

Bu çalışmada, AKS'lerin bir binanın katlarına göre nasıl performans gösterdiği ve parametre değişiminin bu performansa etkileri araştırılmıştır. Sayısal simülasyon modeli olarak 6 katlı çelik konstrüksiyon bir bina kullanılmıştır. AKS'in her bir kata ayrı ayrı yerleştirilmesiyle simülasyonlar oluşturulmuştur. Sistem cevapları deprem tahrikleri etkisinde incelenmiştir.

2 Materyal ve Metot

Bina Modeli ve AKS Yerleşimleri için Hareket Denklemleri

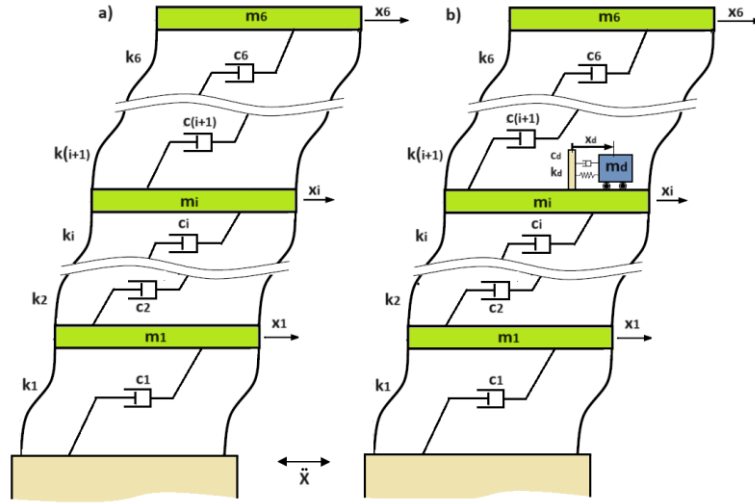
Bu çalışmada incelenen alt katlı bina modeli Şekil 1a'da ve bu binaya ait AKS yerleşimleri Şekil 1b'deki gibidir. Tüm durumlar için yapının sadece yanal titreşimleri değerlendirilmiştir. Şekil 1'deki modellere ait en genel haldeki hareket denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$M_s \ddot{x}(t) + C_s \dot{x}(t) + K_s x(t) = -M_s L \ddot{x}_g \quad (1)$$

Yer değiştirme vektörü x Eşitlik 1'de, sismik giriş vektörü L ise Eşitlik 2'de verilmiştir.

$$x = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4 \quad x_5 \quad x_6 \quad x_d]^T \quad (2)$$

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



Şekil 1: a) AKS'nin olmadığı durum, b) AKS'li durum

Eşitlik 1'de ifade edilen M_s , C_s ve K_s ile ifade edilen bir matrisler aşağıdaki gibidir (Wang, Jer-Fu & Lin, Chi-Chang, 2015).

$$M_s = \text{diag}[m_1 \dots m_i \dots m_6 \ m_d] \quad (4)$$

$$C_s = \begin{bmatrix} c_1+c_2 & c_2 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ -c_2 & c_2+c_3 & -c_3 & 0 & \dots & \dots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & 0 & -c_i & -c_i + c_{i+1} + c_d & -c_{i+1} & 0 & -c_d \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 & -c_6 & c_6 & 0 \\ 0 & \dots & \dots & -c_d & \dots & 0 & c_d \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$K_s = \begin{bmatrix} k_1+k_2 & k_2 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 & \dots & \dots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & 0 & -k_i & -k_i + k_{i+1} + k_d & -k_{i+1} & 0 & -k_d \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 & -k_6 & k_6 & 0 \\ 0 & \dots & \dots & -k_d & \dots & 0 & k_d \end{bmatrix} \quad (6)$$

Parametreler, $m_{1..5} = 862.85 \text{ kg}$, $m_6 = 803.98 \text{ kg}$, $k_1 = 1.26 \times 10^6 \text{ N/m}$, $k_{2..6} = 1.23 \times 10^6 \text{ N/m}$, $c_{1..6} = 36.7052 \times 10^6 \text{ N/m}$. $k_d = 7.8618 \times 10^5$ (Loh et al., 2008). Bina modelinde gerçekleştirilen simülasyonlarda incelenen kontrol durumları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: AKS yerleşimleri

AKS'nin yerleştiği katlar	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat	5. kat	6. kat
Kısaltmalar	AKS ₁	AKS ₂	AKS ₃	AKS ₄	AKS ₅	AKS ₆

AKS parametreleri Eşitlik 7,8 ve 9'daki gibi bulunur.

$$m_d = \mu M_{\text{top}} \quad (7)$$

$$k_d = m_d (f_{\text{opt}} W_n)^2 \quad (8)$$

$$c_d = 2 \xi_{\text{opt}} (f_{\text{opt}} W_n) m_d \quad (9)$$

Burada μ , AKS'nin kütesinin yapının toplam kütesine oranı olan kütle oranını, M_{top} yapının toplam kütesini, ω_n , m_d , k_d ve c_d sırasıyla AKS'nin doğal frekans, kütle, rijitlik ve sönüm değerlerini göstermektedir. f_{opt} ve ξ_{opt} ise sırasıyla frekans oranı ve sönüm oranını ifade eder ve Tablo 2'deki

parametre belirleme yöntemleriyle bulunur (Connor, 2003; Den Hartog, 1947; Leung & Zhang, 2009; Sadek et al., 1997; Warburton, 1982). Tablodaki μ_c yapının 1. modunun kütlesi ile toplam kütlesi oranını ifade eder.

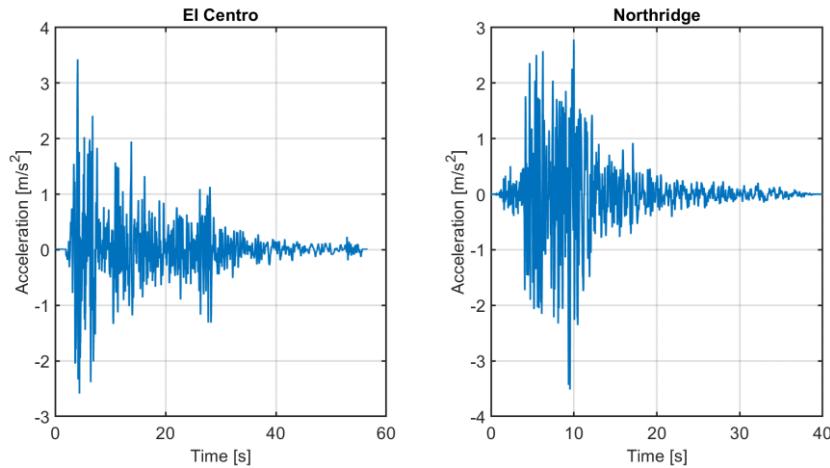
Tablo 2: AKS parametre belirleme metotları

Yöntem	Frekans oranı (f_{opt})	Sönüm oranı (ξ_{opt})
1. Yöntem (Connor, 2003)	$\frac{\sqrt{1-0.5\mu_c}}{(1+\mu_c)}$	$\sqrt{\frac{\mu_c(3-\sqrt{0.5\mu_c})}{8(1+\mu_c)(1-0.5\mu_c)}}$
2. Yöntem (Den Hartog, 1947)	$1/(1+\mu)$	$\sqrt{\frac{3\mu}{8(1+\mu)}}$
3. Yöntem (Warburton, 1982)	$\frac{\sqrt{1-\mu/2}}{(1+\mu)}$	$\sqrt{\frac{\mu(1-\mu/4)}{4(1+\mu)(1-\mu/2)}}$
4. Yöntem (Sadek et al., 1997)	$\frac{1}{1+\mu} \left[1 - \xi \sqrt{\frac{\mu}{1+\mu}} \right]$	$\frac{\xi}{1+\mu} + \sqrt{\frac{\mu}{1+\mu}}$
5. Yöntem (Leung & Zhang, 2009)	$\frac{\sqrt{1-(\mu/2)}}{1+\mu} + (-4.9453 + 20.2319\sqrt{\mu} - 37.9419\mu)\sqrt{\mu}\xi + (-4.8287 + 25.0000\sqrt{\mu})\sqrt{\mu}\xi^2$	$\sqrt{\frac{\mu(1-\mu/4)}{4(1+\mu)(1-\mu/2)}} - 5.3024\xi^2\mu$

Mevcut sistem için en iyi parametre belirleme metodunun belirlenmesinde yer değiştirme ile ilgili yapısal sistem performans ölçütü aşağıdaki gibi uygulanır (Aggümüş, 2022; Aggumus & Cetin, 2018; Ohtori et al., 2004).

$$J_1 = \max \left\{ \frac{\max_{t,i} \left\{ \frac{|d_i(t)|}{h_i} \right\}}{\delta^{max}} \right\} \quad (10)$$

Sisteme etki eden tahrik olarak Şekil 2’de görülen El Centro ve Northridge depremleri uygulanmıştır.



Şekil 2: El Centro ve Northridge depremleri ivme zaman eğrileri

3 Araştırma ve Bulgular

Bu çalışmada AKS’nin farklı parametreleriyle birlikte yapı üzerindeki yerleşimlerinin bir bina modeli üzerindeki etkisi incelenmiştir. 6 katlı çelik konstrüksiyon bina modeli üzerinde yapılan simülasyonlarda AKS, 1. kattan başlayarak 6. kata kadar tek tek yerleştirilerek simülasyonlar

gerçekleştirilmiştir. AKS için uygun parametrelerin hesaplanması için Tablo 2'deki yöntemler uygulanmıştır. Eşitlik 10'daki performans ölçütü dikkate alınarak Tablo 3 ve Tablo 4 oluşturulmuş ve en uygun parametre belirleme metodu seçilmiştir. El Centro ve Northridge depremleri etkisindeki sistemin performans değerlendirmelerinde yer değiştirme performans indeksi incelenmiştir. Burada en düşük değer aranmıştır. Bu değer AKS₆ yerleşimi ve yöntem 4 ile elde edilmiştir.

Tablo 3: El Centro depremi etkisindeki sistemin performans indeksi

Yerleşimler	Yöntemler				
	1	2	3	4	5
AKS ₁	0.6259	0.5754	0.5377	0.6561	0.5405
AKS ₂	0.3652	0.3323	0.3263	0.3996	0.3271
AKS ₃	0.3028	0.2907	0.2886	0.2962	0.2887
AKS ₄	0.2747	0.2697	0.2667	0.2788	0.2669
AKS ₅	0.2596	0.2540	0.2550	0.2641	0.2550
AKS ₆	0.2540	0.2528	0.2541	0.2555	0.2541

Tablo 4: Northridge depremi etkisindeki sistemin performans indeksi

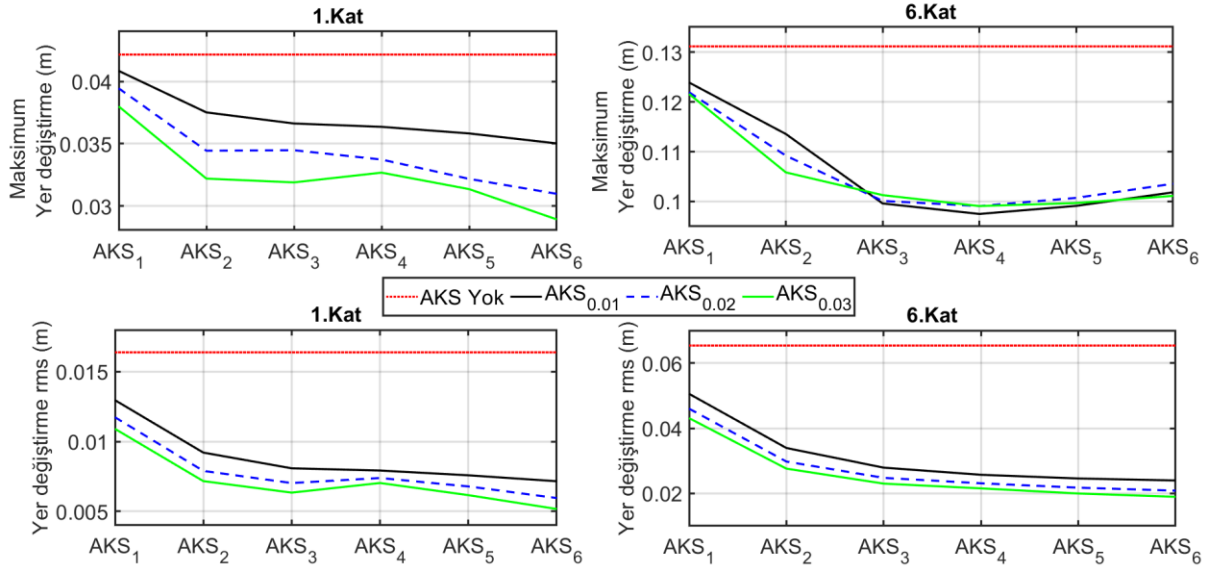
Yerleşimler	Yöntemler				
	1	2	3	4	5
AKS ₁	0.9087	0.9107	0.9158	0.9013	0.9154
AKS ₂	0.7894	0.8204	0.8412	0.7637	0.8398
AKS ₃	0.7599	0.7742	0.7740	0.7565	0.7728
AKS ₄	0.7743	0.7974	0.7975	0.7751	0.7972
AKS ₅	0.7450	0.7684	0.7715	0.7437	0.7711
AKS ₆	0.6961	0.7240	0.7351	0.6860	0.7343

AKS parametreleri için 4. yöntem kullanılmıştır (Sadek et al., 1997). Kütle oranı 0.01, 0.02 ve 0.03 için elde edilen parametreler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: AKS parametreleri

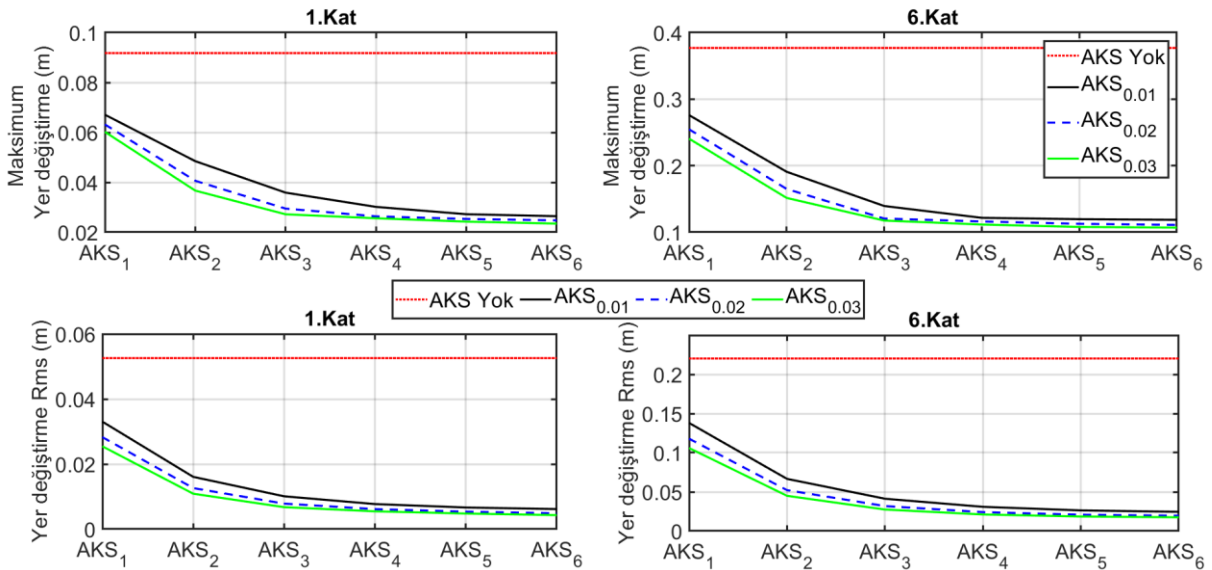
Kütle oranı (μ)	Kütle (m_d) kg	Rijitlik (k_d) N/m	Sönüm (c_d) Ns/m
0.01	51.1823	4275.1867	93.2175
0.02	102.3646	8383.4479	259.6849
0.03	153.5469	12332.0757	470.0546

Şekil 3 ve Şekil 4'te maksimum yer değiştirme ve yer değiştirme rms (kök ortalama kare) cevapları, Şekil 5 ve Şekil 6'da maksimum ivme ve ivme rms cevapları görülmektedir.



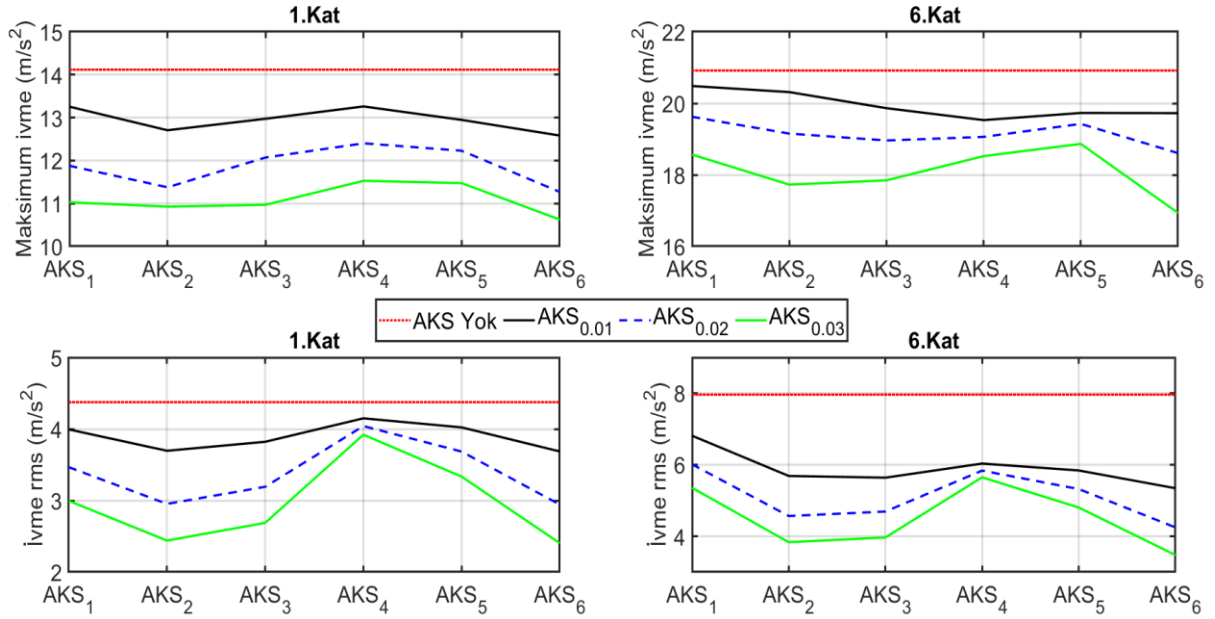
Şekil 3: Northridge depremi etkisindeki sistemin yer değiştirme ve yer değiştirme rms cevapları

Northridge ve El Centro depremleri etkisindeki sistemin 1. kat ve 6. katının maksimum yer değiştirme ve yer değiştirme rms değerlerine ait eğriler Şekil 3 ve Şekil 4'te görülmektedir. 0.1, 0.2 ve 0.3 kütle oranlarında (AKS_{0.01}, AKS_{0.02} ve AKS_{0.03}) bütün yer değiştirme cevaplarında en iyi performans 0.3 kütle oranında elde edilmiştir. AKS genel olarak yerleşimlerinde ise üst katlara doğru performansın arttığı görülmektedir. Bu durum rms değerlerinde daha net görülmektedir.



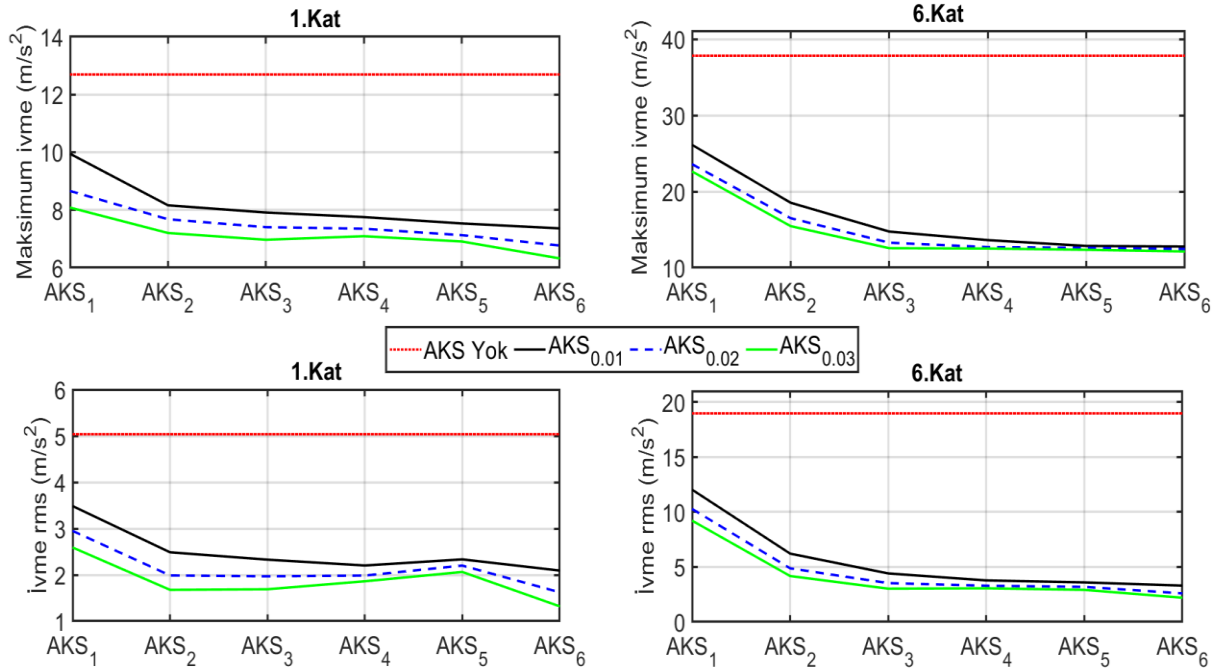
Şekil 4. El Centro depremi etkisindeki sistemin maksimum yer değiştirme ve yer değiştirme rms cevapları

El Centro depremi etkisinde sistem cevaplarının yer değiştirmelerinde kütle oranı etkisi üst katlara çıkıldıkça Northridge depreminden daha az olduğu görülmüştür. Fakat kütle oranları arasındaki performans farklılıkları daha fazladır.



Şekil 5. Northridge depremi etkisindeki sistemin maksimum ivme ve ivme rms cevapları

Sistemin 1. kat ve 6. katının maksimum ivme ve ivme rms değerlerine ait eğriler Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Bütün kütle oranlarındaki ivme cevaplarında en iyi performans yer değiştirme cevaplarında olduğu gibi 0.3 kütle oranında elde edilmiştir. Genel olarak AKS yerleşimlerinde ise ivme cevaplarında, yer değiştirme cevaplarından farklılıklar olduğu görülmektedir. El Centro depreminde ivme ve yer değiştirme eğrileri benzer davranış göstermesine karşın, Northridge depreminde bu durum farklıdır. Yer değiştirme cevaplarında iyileştirmeler dikkate alındığında bu kabul edilebilir bir durumdur.



Şekil 6. El Centro depremi etkisindeki sistemin maksimum ivme ve ivme rms cevapları

4 Sonuçlar

Bu çalışmada AKS'nin bir bina modeli üzerinde yerleşimlerinin ve parametre değişiminin etkileri incelenmiştir. AKS'ler bütün katlara ayrı ayrı yerleştirilerek simülasyonlar oluşturulmuştur. Her bir AKS yerleşimi için 0.1, 0.2 ve 0.3 kütle oranlarına bağlı olarak parametre değişimi etkisinin sistem performansına katkısı incelenmiştir. Sistem cevapları AKS'nin olmadığı durum ile farklı parametrelerdeki bütün AKS yerleşimleri karşılaştırılarak elde edilmiştir. Tahrik olarak El Centro ve Northridge depremleri sisteme etki ettirilmiştir. Sonuçlar AKS'nin yerleşimlerinde üst katlara doğru performansın arttığını göstermiştir. Fakat üst katlara doğru artış miktarı azalarak devam etmiştir. Farklı kütle oranlarında parametre değişimlerine bağlı olarak, kütle oranı arttıkça AKS'nin performansı artmıştır. Uygulanan deprem tahrikleri etkisinde AKS'nin sistem üzerindeki titreşim bastırma yeteneklerinin değiştiği görülmektedir. Bunun nedeni, sistemin kritik frekansına göre tasarlanan AKS, değişken frekanslı tahriklerde performansının düşmesidir. Bu problem aktif ve yarı aktif kontrol uygulamaları ile aşılabilir.

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

- Aggümüş, H. (2022). Binalarda Kullanılan MR Damperli Yarı Aktif Kütle Sönümleyicisinin Performans Analizi. *Journal of Marine and Engineering Technology (JOINMET)*, 2(1), 50-57.
- Aggumus, H., & Cetin, S. (2018). Experimental investigation of semiactive robust control for structures with magnetorheological dampers. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 37(2), 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(3), 55. <https://doi.org/10.3390/act9030055>
- Bekdaş, G., & Nigdeli, S. M. (2011). Estimating optimum parameters of tuned mass dampers using harmony search. *Engineering Structures*, 33(9), 2716–2723. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.05.024>
- Cetin, H., Aydin, E., & Ozturk, B. (2013). Ayarlı Kütle Sönümleyicilerin Üç Katlı Yapi Modelinin Sismik ve Harmonik Davranışına Etkileri.
- 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 Dynamics*, 66(4), 731–743.
- Connor, J. J. (2003). *Structural Motion Control*. Pearson Education, Inc.
- Den Hartog, J. P. (1947). *Mechanical vibrations* (3rd ed). New York, N.Y.: McGraw-Hill. <https://trove.nla.gov.au/version/21341052>
- Den Hartog, J. P., & Ormondroyd, J. (1928). Theory of the dynamic vibration absorber. *ASME J. Appl. Mech*, 50(7), 11–22.

- Fadel Miguel, L. F., Lopez, R. H., Miguel, L. F. F., & Torii, A. J. (2016). A novel approach to the optimum design of MTMDs under seismic excitations: A Novel Approach to the Optimum Design of MTMDs Under Seismic Excitations. *Structural Control and Health Monitoring*, 23(11), 1290–1313. <https://doi.org/10.1002/stc.1845>
- Guclu, R., & Yazici, H. (2007). Fuzzy Logic Control of a Non-linear Structural System against Earthquake Induced Vibration. *Journal of Vibration and Control*, 13(11), 1535–1551. <https://doi.org/10.1177/1077546307077663>
- Leung, A. Y. T., & Zhang, H. (2009). Particle swarm optimization of tuned mass dampers. *Engineering Structures*, 31(3), 715–728. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.11.017>
- Li, L., Song, G., & Ou, J. (2010). A Genetic Algorithm-based Two-phase Design for Optimal Placement of Semi-active Dampers for Nonlinear Benchmark Structure. *Journal of Vibration and Control*, 16(9), 1379–1392. <https://doi.org/10.1177/1077546309103277>
- Loh, C.-H., Agrawal, A. K., Lynch, J. P., & Yang, J. N. (2008). Development of experimental benchmark problems for international collaboration in structural response control. *Saf Manag Heal Monit Inf, Bridg Maint*, 3298–3305.
- Mashaly, E. A., El-katt, M. H., AL-Janabi, A. I. M., & Abubakar, I. M. (2005). A Generalized Translational-Rotational Tuned Mass Damper (T-R TMD) system for passive control of vibrations in structures. *WIT Transactions on The Built Environment*, 81.
- Miguel, L. F. F., Fadel Miguel, L. F., & Lopez, R. H. (2015). A firefly algorithm for the design of force and placement of friction dampers for control of man-induced vibrations in footbridges. *Optimization and Engineering*, 16(3), 633–661. <https://doi.org/10.1007/s11081-014-9269-3>
- Ohtori, Y., Christenson, R. E., Spencer, B. F., & Dyke, S. J. (2004). Benchmark Control Problems for Seismically Excited Nonlinear Buildings. *Journal of Engineering Mechanics*, 130(4), 366–385. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2004\)130:4\(366\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2004)130:4(366))
- Sadek, F., Mohraz, B., Taylor, A. W., & Chung, R. M. (1997). A method of estimating the parameters of tuned mass dampers for seismic applications. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 26(6), 617–635.
- Wang, Jer-Fu, & Lin, Chi-Chang. (2015). Extracting parameters of TMD and primary structure from the combined system responses. *Smart Structures and Systems*, 16(5), 937–960. <https://doi.org/10.12989/SSS.2015.16.5.937>
- Warburton, G. B. (1982). Optimum absorber parameters for various combinations of response and excitation parameters. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 10(3), 381–401.



© 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/>).