DEĞİŞİK PERİYOTLU YAPILAR İÇİN OPTİMUM PASİF KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

G.Bekdaş[1] ve S.M. Nigdeli[2]

[1] *Araştırma Görevlisi Dr., İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul Üniversitesi, Avcılar/İstanbul*
[2] *Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul Üniversitesi, Avcılar/İstanbul*
Email: melihnig@istanbul.edu.tr

ÖZET:

Bu çalışmada, yapı tek serbestlik dereceli olarak davrandığı kabul edilerek çeşitli periyottaki yapılar için optimum pasif kütle sönümleyici özellikleri belirlenmiştir. Optimizasyon yöntemi olarak meta-sezgisel yöntemlerden biri olan armoni araştırma (Harmony Search) yöntemi kullanılmıştır. Optimizasyonda dış tahrik olarak altı adet deprem kaydı kullanılmıştır. Bu deprem kayıtları yakın ve uzak fay yer hareketlerine aittir. Seçilen altı deprem altında yapılan analizler sonunda elde edilen sonuçların sayısal olarak karşılaştırabilir olması için tüm kayıtların ivmeleri 1g değerine göre normalleştirilmiştir. Analizlerde yapılan periyot artırımları 0.5-5 sn periyotlu yapılarda 0.5 sn farklarla tekrarlanmıştır. Kütle sönümleyicisi özellikleri için çeşitli bağıntılar elde edilmiştir. Elde edilen bağıntılar çok serbestlikli yapı sistemlerinde kontrol edilmiştir. Sonuçlara göre, bağıntıların kütle sönümleyicilerinin optimum özelliklerinin belirlenmesinde başarılı olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Pasif kütle sönümleyicileri, armoni araştırması yöntemi, optimizasyon, deprem, yapı periyot değişimi.

1. GİRİŞ

Pasif kütle sönümleyicileri kütle, yay ve sönümleyici gibi mekanik elemanlar yardımıyla, yapıların da içinde bulunduğu mekanik sitemlerin titreşimlerini sönümlenmesine yardımcı olan bir pasif kontrol cihazıdır. Kütle sönümleyicileri birçok yapıya uygulanmıştır. Bunlara örnek olarak Taipei 101, John Hancock Binası, Burj Al Arab gösterilebilir.

Pasif kütle sönümleyicileri ile depremlerden kaynaklanan titreşimlerin sönümlenmesi olasıdır. Deprem karşısında yapıya en iyi faydanın sağlanması için kütle sönümleyicisinin özellikleri optimum olacak şekilde ayarlanmalıdır. Bunun için literatürde birçok çalışma mevcuttur.

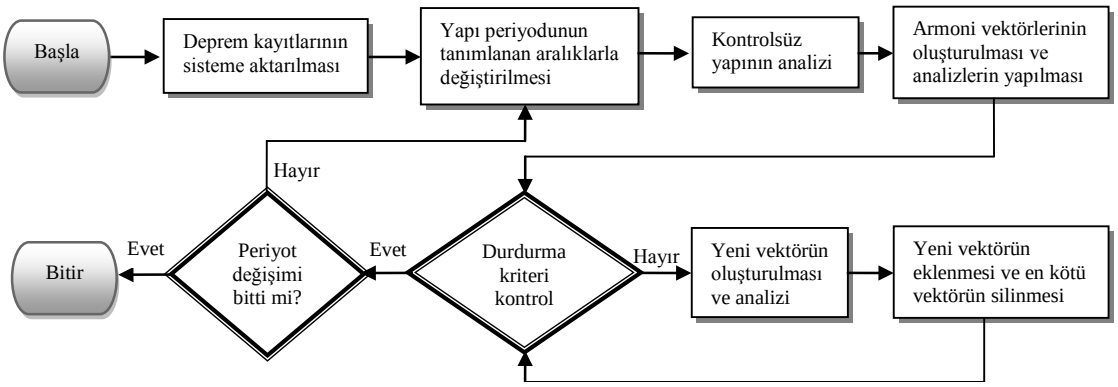
Pasif kütle sönümleyicisin temeli ilk olarak 1909 yılında Frahm tarafından önerilmiştir (Frahm,1911). Önerilen cihazın dahili sönümü olmadığı için cihaz ancak kendi doğal frekansı ile dış tahrikin frekansı yakın olduğunda etkili olmaktadır. Depremlerin frekansı değişken ve önceden tam tahmin edilemediğinden ilk önerilmiş olan sistem deprem titreşimlerinin sönümlenmesinde etkili olamaz.

Den Hartog (1947), kütle sönümleyicilerinin frekans ve sönüm oranları için kapalı formda denklemler elde etmiştir. Bu denklemleri elde ederken esas sistemi tek serbestlik dereceli ve sönümsüz olduğu düşünülmüştür. Warburton (1982), harmonik ve beyaz ses etkileri altında sönümsüz tek serbest dereceli sistemler için kütle sönümleyicisi özelliklerini veren denklemler elde etmiştir. Chang (1999), rüzgâr ve deprem etkileri altında optimum kütle sönümleyicisi özelliklerini veren denklemler çıkarmıştır. Lee vd. (2006), pasif kütle sönümleyicili binaların performans indeks değerini düşürmek için bir nümerik optimizasyon algoritması geliştirmişlerdir. Marano vd. (2010), daha önce yapılmış çalışmalarda ele alınmamış olan kütle oranı optimizasyonunu da yapmışlardır. Ayrıca pasif kütle sönümleyicilerinin optimizasyonu için çeşitli meta-sezgisel metotlar da kullanılmıştır. Genetik algoritma pasif kütle sönümleyicilerinin ayarlanmasında yoğun bir biçimde

kullanılmıştır (Hadi ve Arfiadi, 1998, Singh vd., 2002, Desu vd. 2006). Leung ve Zhang (2009), parçacık sürü optimizasyonu yöntemini kullanarak kütle sönümleyicilerini ayarlamışlardır. Bekdaş ve Nigdeli (2011), armoni araştırma yöntemini kullanarak çok katlı yapıların üstünde bulunan pasif kütle sönümleyicilerinin optimum özelliklerini veren bir çalışma yapmışlardır. Optimizasyon esnasında dış etki olarak sinüs yüklemesi kullanmışlardır.
Bu çalışmada çeşitli frekanslardaki tek serbestlik dereceli yapılar için optimum kütle sönümleyicisi özellikleri belirlenmiştir. Bu optimizasyon işleminde dış etki olarak altı adet deprem kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kütle sönümleyicisi özellikleri için bina periyoduna bağlı olan denklemler elde edilmiştir.

2. ARMONİ ARAŞTIRMA YÖNTEMİ İLE PASİF KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLERİNİN OPTİMİZASYONU

Meta-sezgisel algoritmalar çeşitli doğal olayları taklit ederek çeşitli problemlerin optimum çözümünü sağlayan algoritmalardır. Geem vd. (2001) tarafından geliştirilen armoni araştırma algoritması bir müzisyenin daha iyi durumundaki bir armoniyi aradığı doğal müzik performans sürecine dayanmaktadır.
Bu çalışmada çeşitli periyotlu yapıların dinamik tepkisini analiz etmek için Matlab yazılımı kullanılarak bir program hazırlanmıştır. Bu programın akış şeması Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Programın Akış Şeması

İlk önce programa optimizasyon sürecinde kullanılan deprem kayıtları aktarılmıştır. Kullanılan deprem kayıtları Tablo 1'de verilmiştir. Bu kayıtlar hem yakın fay hem de uzak fay karakterlerini içermektedir. Optimizasyon sürecinde kullanılan deprem kayıtlarının maksimum ivmeleri 1g olacak şekilde ölçeklendirilmiştir.

Tablo 1. Optimizasyonda kullanılan deprem kayıtları

Deprem	Tarih	İstasyon	Bileşen
Imperial Valley	1940	117 El Centro Array #9	I-ELC180
Kern Country	1952	1095 Taft Lincoln School	TAFT111
Tabas	1978	9101 Tabas	TAB-TR
Loma Prieta	1989	16 LGPC	LGP000
Erzincan	1992	95 Erzincan	ERZ-NS
Northridge	1994	24514 Sylmar- Olive View Med FF	SYL360

Deprem kayıtları http://peer.berkeley.edu/nga/ adresinden alınmıştır.

Çalışmada periyodu 0.5s ile 5s arasında olan tek serbestlik dereceli yapılar için optimum kütle sönümleyicisi değerleri aranmıştır. Yapıların sönüm oranının %5 olduğu kabul edilmiştir. Periyot 0.5s aralılarla artırılarak analizler yapılmıştır.

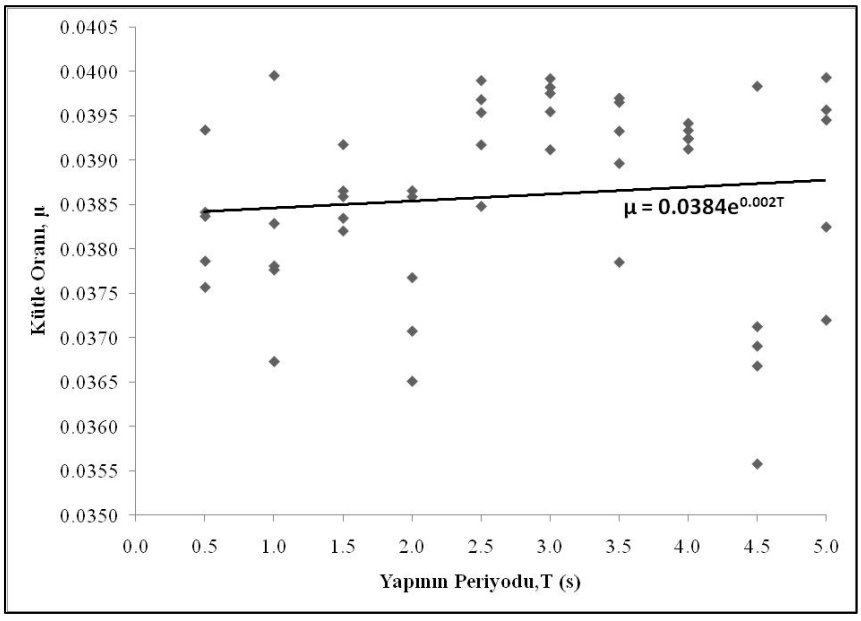
Armoni araştırma metoduna göre ilk önce istenilen sayıda armoni vektörü oluşturulmaktadır. Bu çalışmada beş vektör oluşturulmuştur. Bu vektörlerin içinde pasif kütle sönümleyicisinin kütle oranı, frekansı ve sönüm oranı bulunmaktadır ve optimizasyondaki hedef bu değerlerin en uygun olanının bulunmasıdır. Ekonomik ve uygulanabilirlik koşullarını da dikkate aldığımızda bu değerlerin belirli aralıklarda sınırlandırılması gerekmektedir. Onun için kütle oranı 0.01-0.04 ve sönüm oranı 0.05-0.4 arasında taranmıştır. Frekans ise sınırları ana yapının frekansının ±%20'si olacak şekilde aranmıştır. Çalışmada bu değerler rastgele olarak seçilmiştir. Rastgele sayıların üretilmesinde Matlab fonksiyonları kullanılmıştır. Analizler yapıldıktan sonra sonuçlar durdurma kriterine göre karşılaştırılmıştır. Optimizasyon işleminin durması için armoni vektörleri içersinde yer alan kütle sönümleyicisi özelliklerinin birbirine yakın olması gerekmektedir. Bununla amaçlanan armoni vektörlerinin optimum sonuçlar çevresinde yoğunlaşmasıdır. Buna ek olarak durdurma kriteri olarak deprem kayıtları altında yapının yer değiştirmesinin minimum %15 azalması istenmiştir.

Kriter sağlanmadığı durumda armoni araştırma metodunun kurallarına göre yeni bir vektör oluşturulur. Bu yeni vektör %50 olasılıkla mevcut vektörlerin yakın çevresinde olacak şekilde, %50 olasılıkla ise tüm çözüm alanından türetilmektedir. Eğer vektör mevcut vektörlerden türetilecekse %50 olasılıkla en iyi sonucu olan vektörden oluşturulmaktadır.

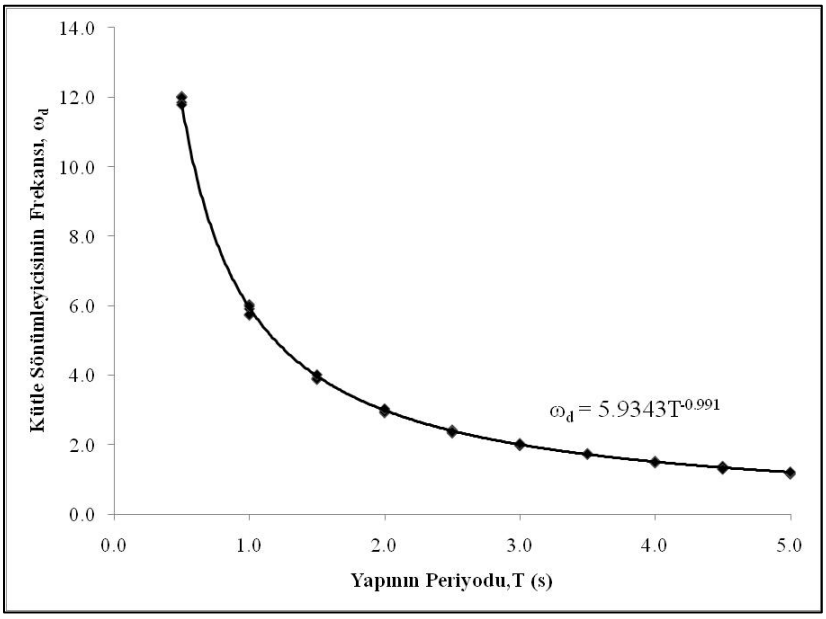
En iyi vektörün seçiminde, yapının yer değiştirme değeri ile yapının ivmesinin transfer fonksiyonu (TF) dikkate alınmıştır. Her yeni vektör ekleme işleminde en kötü sonucu veren vektör silinmiştir. Bu işlemler çeşitli periyotlardaki yapılar için otomatik olarak tekrarlanıp sonuçlara ulaşılmıştır. Zaman tanım alanında yapılan analizlerde 0.001 saniye adım aralığı kullanılmıştır. Analizlerde 4. dereceden Runge-Kutta metodu seçilmiştir.

3. PASİF KÜTLE SÖNÜMLEYİCİSİNİN OPTİMUM DEĞERLERİ

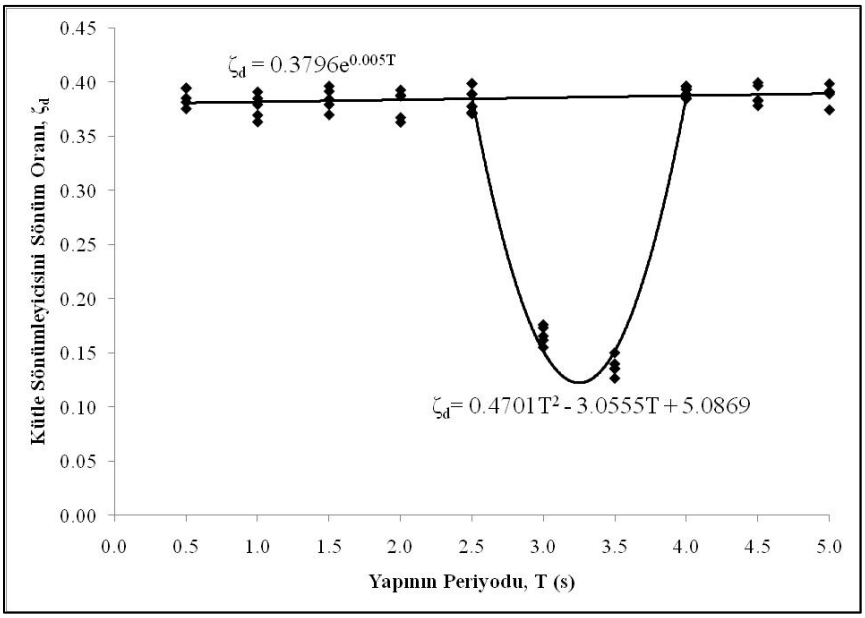
Elde edilen değerlerden en uygun eğriler geçirilerek periyoda bağlı olan çeşitli bağıntılar elde edilmiştir. Kütle oranı (μ), frekans (ω_d) ve sönüm oranı(ζ_d) grafikleri sırasıyla Şekil 2-4'te verilmiştir.



Şekil 2. Kütle oranı-yapı periyodu grafiği



Şekil 3. Kütle sönümleyicisi frekansı-yapı periyodu grafiği



Şekil 4. Kütle sönümleyicisi sönüm oranı-yapı periyodu grafiği

Grafiklerden elde edilen bağıntılar ise Denklem (1-3)'te görülmektedir. Sönüm oranı bağıntısı 2.5s ile 4.0s periyodu arası için farklı bir denklem ile ifade edilmiştir. Tek bir denklem ile ifade edildiğinde denklemin sonuçları bulunan değerlerden uzaklaşmaktadır.

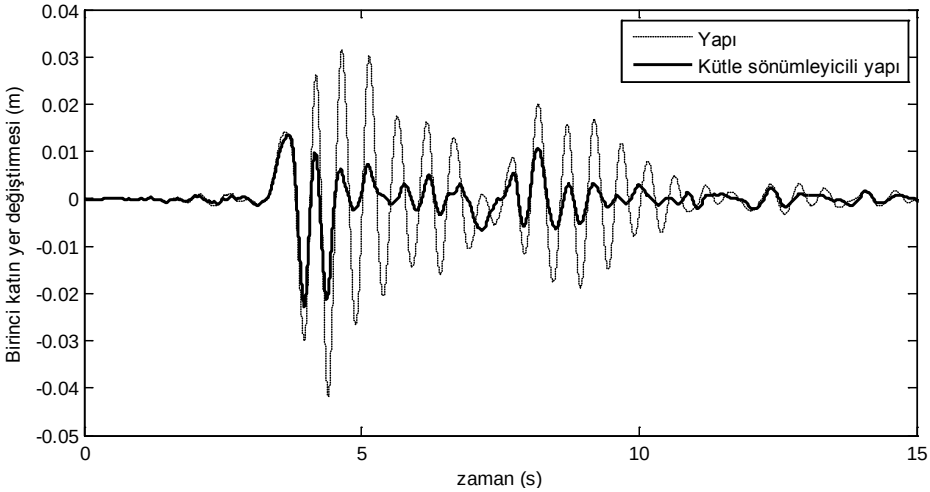
$$\mu = 0.0384e^{0.002T} \quad (1)$$

$$\omega_d = 5.9343T^{-0.991} \quad (2)$$

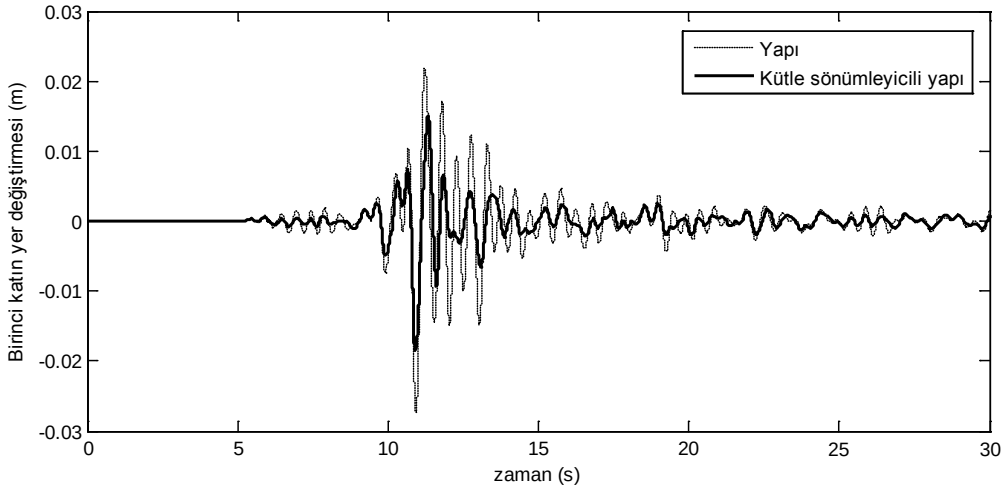
$$\zeta_d = \begin{cases} 0.3796e^{0.005T}, & 0 \le T \le 2.5 \text{ ve } 4 \le T \\ 0.4701T^2 - 3.0555T + 5.0869 & 2.5 < T < 4 \end{cases} \quad (3)$$

4. SAYISAL ÖRNEKLER

Bulunan denklemler 5 ve 10 katlı yapı örnekleri için denenmiştir. Yapıların tek bir katının kütlesi 250 t, rijitliği 500 MN/m, sönüm oranı ise 5 MNs/m'dir. Beş katlı yapının periyodu 0.5s ve on katlı yapının ise 0.94s'dir. Denklemlere göre 5 katlı 0.5s periyotlu yapı için kütle sönümleyicisi özellikleri μ=0.0384, ω_d= 11.79 rad/s ve ζ_d= 0.38 olarak bulunmaktadır. Periyodu 0.94s olan 10 katlı yapı için ise kütle sönümleyicisi özellikleri μ=0.0385, ω_d= 6.31 rad/s ve ζ_d= 0.38 olmaktadır. Northridge depreminin Sylmar kaydı ile Düzce depremi Bolu kaydı etkisi altında 5 katlı yapının 1. kat yer değiştirmesine ait grafikler sırasıyla Şekil 5-6'da görülmektedir. Düzce depreminin Bolu kaydının doğu-batı bileşimi kullanılmıştır. Bu kayıt optimizasyon sürecinde kullanılan kayıtlardan değildir. Kaydın kullanılmasının nedeni optimizasyon işleminden elde edilen kütle sönümleyicisi değerlerinin genelliğinin gösterilmesidir.

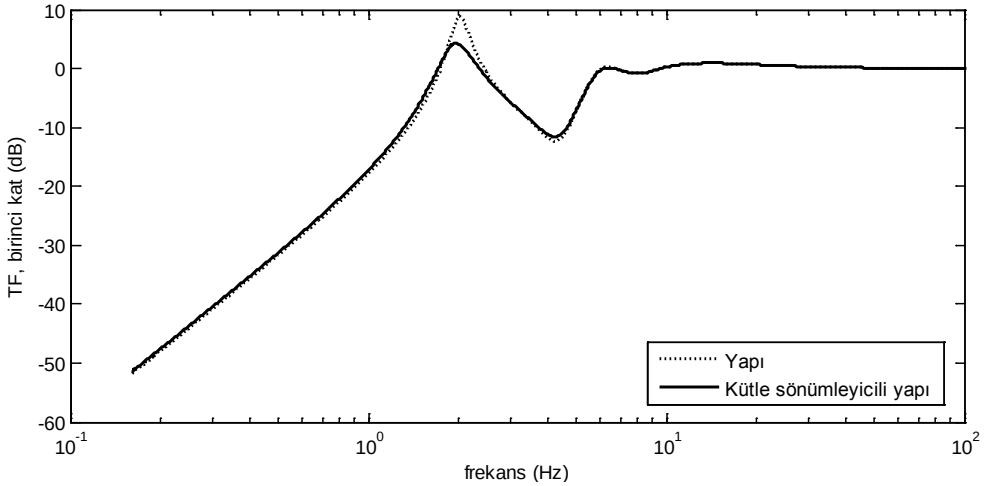


Şekil 5. Northridge depremi Sylmar kaydı etkisinde 5 katlı yapının 1. katının yer değiştirmesi



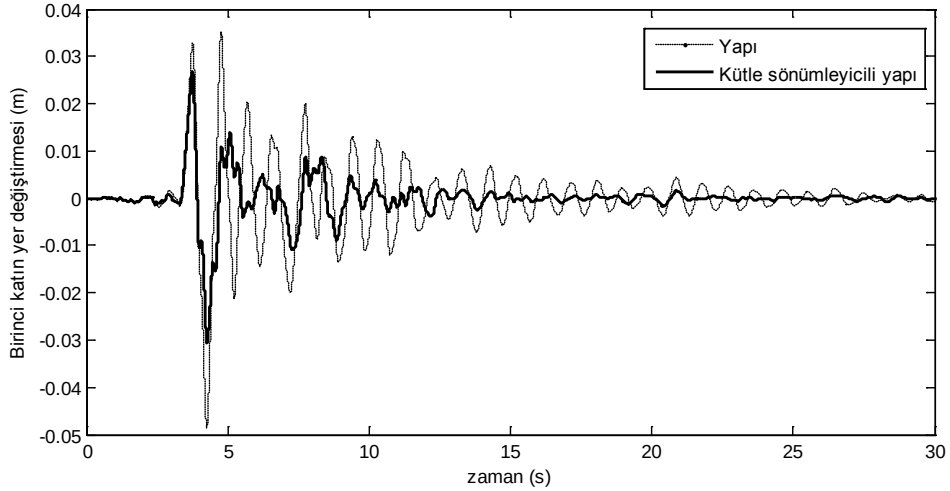
Şekil 6. Düzce depremi Bolu kaydı etkisinde 5 katlı yapının 1. katının yer değiştirmesi

Şekillerden, binanın üzerinde bulunan kütle sönümleyicisinin, yapının 1. katının maksimum yer değiştirme değerini Northridge ve Düzce depremlerinde sırasıyla %45 ve %34 oranında azalttığı görülmektedir.
Şekil 7'de verilen 5 katlı yapının 1. katının ivmesinin transfer fonksiyonunda görüldüğü gibi yapının doğal frekansına karşılık gelen rezonans noktasındaki değer kütle sönümleyicili durumda oldukça düşmüştür.

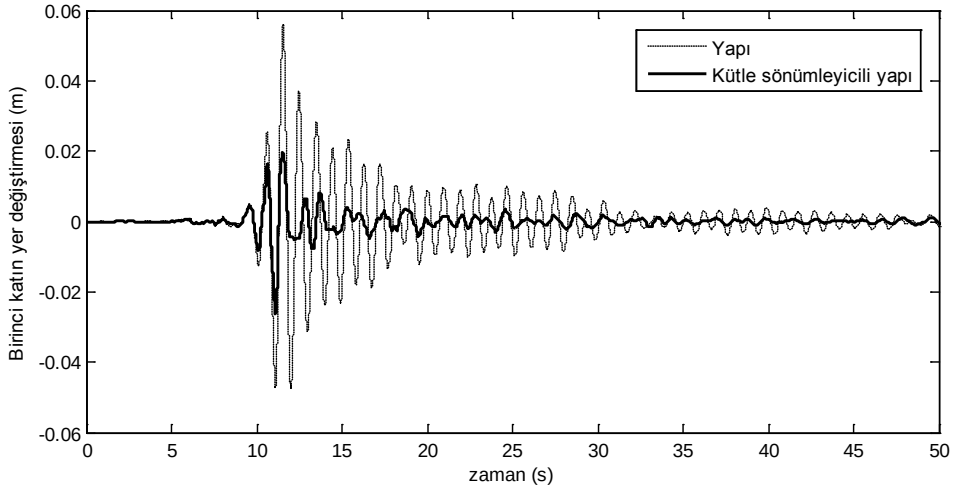


Şekil 7. Beş katlı yapının transfer fonksiyonu grafiği

Benzer şekilde 10 katlı yapının 1. katının maksimum yer değiştirme değerini Northridge ve Düzce depremlerinde sırasıyla %37 ve %54 oranında azalmıştır (Şekil 8-9).

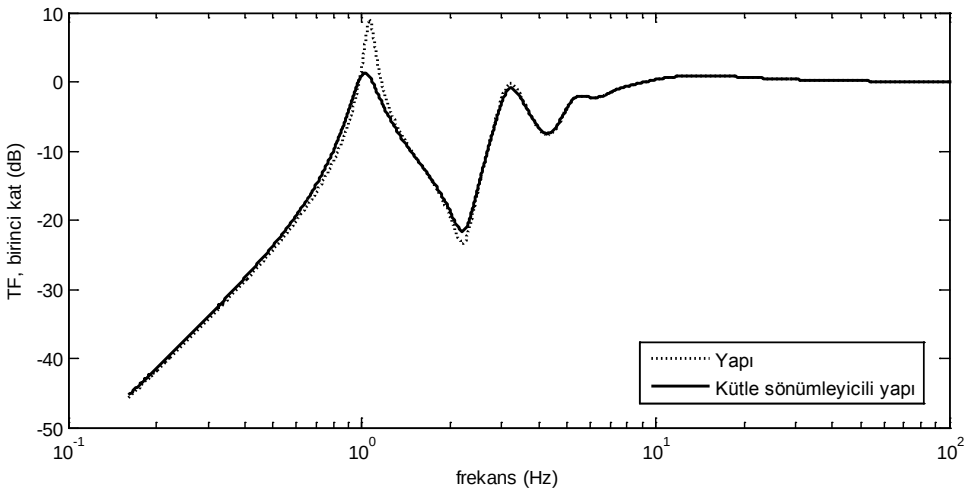


Şekil 8. Northridge depremi Sylmar kaydı etkisinde 10 katlı yapının 1. katının yer değiştirmesi



Şekil 9. Düzce depremi Bolu kaydı etkisinde 10 katlı yapının 1. katının yer değiştirmesi

Şekil 10'de on katlı yapının 1. katının ivmesinin transfer fonksiyonunda görülmektedir. Yapının doğal frekansına karşılık gelen rezonans noktasındaki değer, kütle sönümleyicili durumda oldukça düşmüştür.



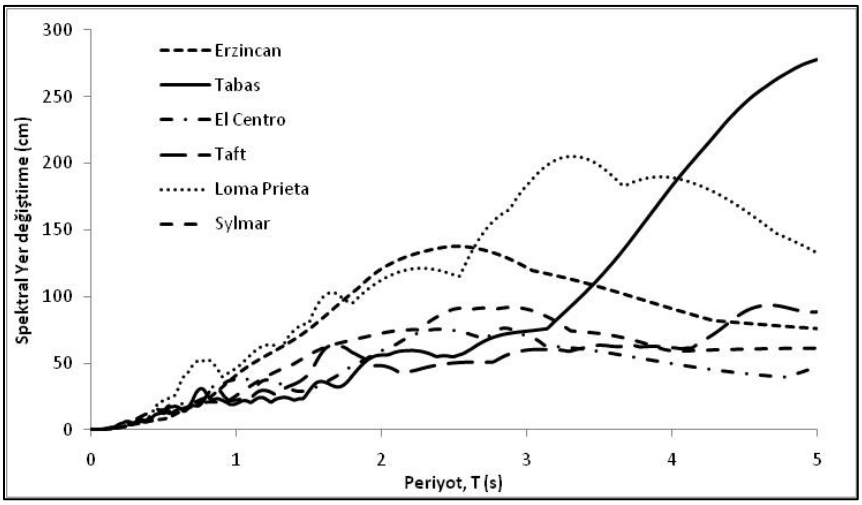
Şekil 10. On katlı yapının transfer fonksiyonu grafiği

5. SONUÇLAR

Çalışmada pasif kütle sönümleyicilerinin özellikleri için kolayca uygulanabilir bağıntılar geliştirilmiştir. Bu bağıntılar elde edilirken yapı tek serbestlik dereceli olarak kabul edilerek analizler yapılmıştır. Fakat elde edilen bağıntılar çok katlı yapılar üzerinde denenmiş ve başarılı sonuçlara ulaşılmıştır. Bu durumdan anlaşılmaktadır ki yapının sadece birinci moduna göre ayarlanmış olan kütle sönümleyicisi değerleri ile çok katlı yapılarda oldukça iyi sonuçlar elde edilebilmektedir.

Sönüm oranı değeri için farklı bölgelerde iki bağıntı kullanılmak zorunda kalınmıştır. Bunun nedeni 3 ve 3.5s periyotlu yapılar için sönüm oranında ani bir düşme olmasıdır. Bu düşmenin nedeni çalışmada çeşitli karakterdeki depremlerin beraber kullanılmasıdır. Yapıda en kritik sonucu veren deprem kaydı değişmektedir.

Optimizasyon sürecinde kullanılan ve ivmeleri 1g değerine göre normalleştirilmiş deprem kayıtları için Şekil 11'de verilen %5 sönümlü spektral yer değiştirme grafiğinde görülmektedir.



Şekil 11. Optimizasyonda kullanılan depremlerin %5 sönümlü spektral yer değiştirme grafiği

KAYNAKLAR

Bekdaş, G., Nigdeli, S.M. (2011). Estimating Optimum Parameters of Tuned Mass Dampers Using Harmony Search. *Engineering Structures* **33**,2716-2723.

Chang, C.C.(1999). Mass dampers and their optimal designs for building vibration control. *Engineering Structures* **21**, 454-463.

Den Hartog J.P. (1947). Mechanical Vibrations. 3rd Edition. New York: McGraw-Hill.

Desu, N.B., Deb, S.K., Dutta, A. (2006). Coupled tuned mass dampers for control of coupled vibrations in asymmetric buildings. *Structural Control and Health Monitoring* **13**, 897–916.

Frahm, H. (1911). Device for damping of bodies. U.S. Patent No: 989,958.

Geem, Z.W., Kim, J.H., Loganathan, G.V. (2001). A new heuristic optimization algorithm: harmony search. Simulation **76**, 60–68.

Hadi, M.N.S., Arfiadi, Y. (1998). Optimum design of absorber for MDOF structures. *Journal of Structural Engineering (ASCE)* **124**,1272–1280.

Lee, C.L., Chen, Y.T., Chung, L.L., Wang, Y.P. (2006). Optimal design theories and applications of tuned mass dampers. *Engineering Structures* **28**,43-53.

Leung, A.Y.T., Zhang, H. (2009). Particle swarm optimization of tuned mass dampers. *Engineering Structures* **31**,715-728.

Marano, G.C., Greco, R., Chiaia, B. (2010). A comparison between different optimization criteria for tuned mass dampers design. *Journal of Sound and Vibration* **329**, 4880-4890.

Singh, M.P., Singh, S., Moreschi, L.M. (2002). Tuned mass dampers for response control of torsional buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* **31**,749–769.

Warburton ,G.B. (1982). Optimum absorber parameters for various combinations of response and excitation parameters. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* **10**, 381–401.