

DALGACIK UYUMU ANALİZİ İLE OPTİMUM VİSKOZ DAMPER KAPASİTESİ HESABIElif Çağda KANDEMİR^{1*}¹ İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir,
ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-8889-5587>

Anahtar Kelimeler	Öz
Dalgacık dönüşümü Doğrusal viskoz damper Optimizasyon Dalgacık uyumu	<i>Bilindiği üzere, bitişik yapılar şiddetli bir deprem esnasında birbirlerine çarparak çekiçleme kuvveti oluşturabilmekte ve bunun sonucunda bu yapılarda hasar ve hatta yıkımlar gözlenebilmektedir. Yapıları enerji sönümleyici elemanlarla donatmak veya birbirine bağlamak, çarpışmayı önleyen yöntemlerden biridir. Bu çalışmada tek serbestlik dereceli (TSD) bir sistemin rijit bir duvara çarpması sonucu oluşan sismik davranış incelenmiş ve çarpışmayı önleyecek viskoz damper kapasitesi optimizasyon çalışmasıyla belirlenmiştir. Çekiçleme kuvvetlerinin oluşmaması için yapının deprem yükü etkisindeki yer değiştirme tepkileri sınırlandırılmalıdır. Çeşitli açıklık değerleri için sismik tepkiler analiz edilerek, çarpışmanın olmadığı ve olduğu durumlarda görülen yer değiştirme tepkilerinin frekans-zaman ilişkileri sürekli dalgacık dönüşümü ile incelenmiştir. Böylece yer değiştirme sinyalinin frekans içeriğindeki değişimler tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak, yer değiştirmeyi sınırlayarak çekiçleme kuvvetini sıfıra indirgeyen minimum doğrusal viskoz damper (DVD) kapasitesi de optimizasyon çalışması ile araştırılmıştır. Bu çalışmada, bir ilk olarak yer değiştirme zaman serilerinin dalgacık uyumu analizleri yapılmıştır. Çarpışmanın olmadığı durum ile çeşitli açıklık değerleri için çarpışmanın olduğu yer değiştirme tepkileri arasında uyum katsayıları hesaplanmıştır. Çekiçleme kuvveti sıfır olana kadar ek sönüm oranları kademeli bir şekilde artırılmış ve uyum katsayılarını 1'e yakınsayan sönüm oranı, yapıya eklenmesi gereken ek sönüm oranı olarak belirlenmiş ve damper kapasitesi hesaplanmıştır. Optimizasyon çalışması ile elde edilen DVD sönüm katsayısı sisteme eklendiğinde, çekiçleme kuvvetinin oluşmadığı gözlenmiştir.</i>

OPTIMIZATION OF VISCOUS DAMPER CAPACITY BY WAVELET COHERENCE

Keywords	Abstract
Wavelet transform Linear viscous damper Optimization Wavelet coherence	<i>It is well known that adjacent structures may collide with each other during severe earthquake leading to pounding force, and as a result, damage and even destruction can be observed in these structures. Implementing or connecting structures with energy dissipaton elements is one of the ways to avoid collisions. In this study, the seismic behavior of a single degree of freedom (TSD) system pounding to a rigid wall was investigated and the viscous damper capacity to prevent the collision was determined by optimization study. The displacement responses of the structure under the earthquake load is required to be limited in order to prevent the occurrence of pounding forces. By analyzing the seismic responses for various gap values, the frequency-time relationship of the displacement responses observed in the absence and presence of collisions were investigated by continuous wavelet transform. Thus, the differences in the frequency content of the displacement signal for variable gap values were determined. In addition to these, the minimum linear viscous damper (LVD) capacity, which vanishes the pounding force was also investigated by the optimization study. In this study, wavelet</i>

* Sorumlu yazar; e-posta : elifcagda.kandemir@idu.edu.tr

Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

coherence analyzes of displacement time series were performed as a first. Coefficients of coherence between the collision-free state and the collision-induced displacement responses for various gap values were obtained. The additional damping ratios were increased gradually until the pounding force became zero. The damping ratio, was determined as the additional damping ratio that should be added to the structure when wavelet coherences converged to 1, and the damper capacity was calculated. When the LVD damping coefficient obtained by the optimization study was added to the system, it was observed that the pounding does not occur.

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 13.10.2021	Submission Date	: 13.10.2021
Kabul Tarihi	: 08.02.2022	Accepted Date	: 08.02.2022

1. Giriş

Farklı dinamik karakteristiklere ve yetersiz deprem derzlerine sahip bitişik yapıların, deprem etkisi altında birbirlerine çarparak hasar ve hatta yıkıma maruz kalması sık karşılaşılan bir durumdur. Yapılarda gözlenen farklı yer değiştirmeler neticesinde, çekiçleme kuvvetleri oluşur. Alınabilecek en basit önlem, yapıları aralarında yeterli boşluk olacak şekilde inşa etmek olsa da hızlı şehirleşmenin etkisiyle, kısıtlı arazi imkânı ve buna bağlı olarak arazi fiyatlarının artması, birbirine yakın yapılar inşa etmeyi gerektirmektedir.

Yıkılmanın ve hasar oluşumunun önüne geçmek amacıyla pek çok yöntem geliştirilmiştir. Boşluk arasına esnek malzeme yerleştirmek, iki yapıyı birbirine bağlamak, bitişik yapılardan birini ya da ikisini sismik enerji sönümleyiciler ile donatmak gibi yöntemler literatürde sıkça uygulanan yöntemlerdir (Miari, Choong ve Jankowski, 2019; Folhento, Barros ve Braz-César, 2021; Kazemi, Miari ve Jankowski, 2021).

Bu çalışmada yapıya doğrusal viskoz damper (DVD) eklenerek, çarpışmanın önlenmesi amaçlanmıştır. Sismik sönümleyici ve izolatörlerde asıl soru, istenen performansı sağlayacak cihazın kapasite seçimini yapmaktır. Üretimler fabrikaların kendilerine göre belirlediği çeşitlilikte yapıldığı için, bir mühendis elindeki projeye uygun cihaz kapasitesini bulmak için önce hesap yapmalı daha sonra uygun üretici seçmelidir. Elbette, cihaz kapasitesi arttıkça, sismik tepkiler daha çok sınırlandırılacak ancak ekonomik olmaktan uzaklaşacaktır. Bu durumda istenen performansı sağlayan minimum cihaz kapasitesi optimizasyon çalışması ile belirlenebilmektedir.

Sunulan çalışmada, deprem esnasında rijit duvara çarpan TSD yapı sisteminin yer değiştirme tepkileri Morlet sürekli dalgacık dönüşümü ile incelenmiştir. Ölçek-zaman bilgilerinden frekans-zaman bilgileri elde edilerek çarpışmanın olmadığı ve olduğu durumlar irdelenmiştir. Çeşitli açıklık miktarlarına göre yer değiştirme tepkilerindeki frekans bileşenleri ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Bunlara ek olarak, çarpışmayı önlemek adına sisteme DVD eklenmiştir. Optimizasyon çalışmasında, amaç fonksiyonu minimum damper kapasitesidir. Çarpışma olan ve olmayan yapının yer

değiştirme sinyalleri arasında dalgacık uyumu analizi gerçekleştirilmiştir. Bu katsayıları maksimum yapan ek sönüm oranı, viskoz damper kapasitesi olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada bütün analizler Matlab programında yapılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

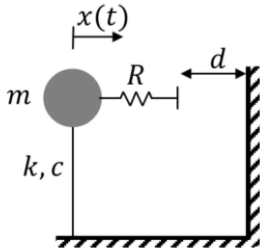
Viskoz damper ile ilgili çalışmalar çoğunlukla damper kapasitesi hesabı ve yerleşimi ile ilgilidir. Akehashi ve Takewaki (2020), kritik deprem etkileri altında çok serbestlik dereceli sistemler için optimum damper yerleşimini transfer fonksiyonu kullanarak yapmıştır. Del Gobbo, Williams ve Blakeborough (2018), çok katlı yapılara damper yerleştirme konfigürasyonlarını, yapıların sismik performansını gözeterek incelemiş ve ele alınan yerleştirme düzenleri ile yapıda hem ivme hem de kesme kuvvetini optimum yapan bir sonuca ulaşamadığını belirtmiştir. Noruzvand, Mohebbi ve Shakeri (2020) yapılardaki yüksek mod etkilerini de dikkate alarak viskoz damper kapasitesi hesaplamıştır.

Dalgacık dönüşümü, sinyalleri ölçek-zaman düzleminde ayrıştırabilmesi açısından oldukça avantajlıdır. Fourier dönüşümü, en bilinen frekans ayrıştırma metodu olsa dahi, son yıllarda frekans bilgisini zaman tanım alanında sunan dalgacık dönüşümü giderek daha yaygın kullanım alanına sahip olmaktadır. Kısa zamanlı Fourier dönüşümde sabit zamanlı pencere fonksiyonu ile frekans içerikleri elde edilirken, dalgacık dönüşümünde dalgacık denilen ve uzayıp kısılabilen, kaydırılabilen bir fonksiyon ile sinyalin frekans içeriklerine ulaşılır. Dalgacık fonksiyonları, sınırlı süreli ve sıfır ortalamaya sahip fonksiyonlardır. Yüksek ölçek değerleri sinyalin uzun zaman aralığındaki düşük frekans bilgisi içerirken, düşük ölçek değerleri de kısa zaman aralığındaki yüksek frekans bilgilerini içermektedir. Dalgacık dönüşümleri sürekli ve ayrık dalgacık dönüşümü olarak ikiye ayrılmakta olup, aralarındaki fark, sürekli dalgacık dönüşümünün her bir veri için ölçek değerlerini hesaplayarak işlem hacmini artırmasından ileri gelmektedir. Sismik verilerin analizinde Morlet dalgacığının uygunluğu literatürde yer almaktadır (Shama, 2012; Zhao ve Zhang, 2021).

Dalgacık uyumu regresyon analizine benzetilebilir. Aynı tür sinyallerin, bağlı oldukları parametreler değiştiğinde aralarındaki benzerliğin durumu dalgacık uyumu metoduyla belirlenebilmektedir. Sismik tepkiler, beyin ve kalp sinyalleri gibi durağan olmayan zaman serilerinin korelasyon ölçütünü elde etmek için dalgacık uyumu analizi yapılabilmektedir (Cui, X., Bryant, D.M. ve Reiss, A.L., 2012; Zhang, Noah, Dravida ve Hirsch, 2020; Singh, Saini ve Sunkaria, 2018; Zhao, Laguna, Zhao, Liu, He, Yianni ve Sarrigiannis, 2018).

3. Yöntem

Çalışmada, TSD bir yapının Düzce depremi altında meydana gelen sismik tepkileri ve komşu rijit duvara çarpma olayı sürekli dalgacık dönüşümü yöntemiyle incelenmiştir. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Yapının kesme tipi yapı olduğu varsayılmıştır. Kütlesi (m) 1×10^5 kg, rijitliği (k) 9.8×10^5 N/m ve sönüm oranı %5 olarak ele alınmıştır. Deprem ivmeleri PEER yer hareketi veri tabanı kullanılarak Bayraklı ilçesi deprem spektrumuna uygun olacak şekilde ölçeklendirilmiştir (<https://ngawest2.berkeley.edu/>). Deprem etkisi altında oluşan yer değiştirmeler farklı açıklık değerleri (1, 5, 10 ve 15 cm) göz önüne alınarak Newmark- β nümerik integrasyon yöntemi ile hesaplanmıştır. Yapı ile rijit duvar arasındaki ilişki ise, doğrusal olmayan Hertz modeli ile modellenmiştir (Jankowski, 2005). Çalışılan sistem Şekil 1.'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Tek serbestlik dereceli model

Bu modelde, açıklık kapandığında aktif hale geldiği kabul edilen elastik bir yay bulunduğu varsayılır. Çekiçleme kuvveti (F_p), bağıl yer değiştirmenin (δ) üssel bir fonksiyonu olup

$$F_p(t) = \begin{cases} R\delta(t)^{3/2}, & \delta(t) \geq 0 \\ 0, & \delta(t) < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\delta(t) = x_1(t) - x_2(t) - d \quad (2)$$

ile hesaplanmaktadır. Yay sabiti, R , Van Mier ve diğ. (1991) tarafından beton yüzeyler üzerinde yapılan deneylerle elde edilmiş olup $40 \text{ kN/mm}^{3/2}$ and $80 \text{ kN/mm}^{3/2}$ olarak hesaplanmıştır. Çalışmamızda bağıl yer değiştirme (δ) hesabında 2. binanın yer değiştirmesi ($x_2(t) = 0$) sıfırdır. d ise yapılar arasındaki

açıklık miktarını göstermektedir. $\delta(t) \geq 0$ iken sistem yer değiştirmesi açıklık miktarından fazladır ve F_p kuvveti oluşmaktadır. $\delta(t) < 0$ olduğu durumda ise sistem yer değiştirmesi açıklık miktarından az olduğundan çarpışma gözlenmemektedir. Dalgacık dönüşümü yöntemi, Fourier yönteminden farklı olarak sinyallerin frekans bilgilerini zaman tanım alanında sunabilmektedir. Dalgacık katsayıları, uygun şekilde ölçeklendirilmiş ve kaydırılmış dalgacıklar ile orijinal sinyalin çarpılması ile bulunur (Misiti, Misiti, Oppenheim ve Poggi, 2004).

$$C(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot \psi(a, b, t) dt \quad (3)$$

$$\psi(a, b, t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) \quad (4)$$

$\psi(a, b, t)$ ana dalgacık olup, a ve b sırasıyla ölçekleme ve kaydırma faktörleridir. Sonuç olarak sinyal ile ölçeklenmiş dalgacığın benzerlik katsayısı ölçek-zaman grafiğine işlenir. Çalışmada, yer değiştirme tepkilerinin Morlet dalgacık dönüşümü ile ölçek-zaman grafikleri incelenmiş, ek olarak frekans-zaman bilgileri de elde edilmiştir. Grafiklerde çekiçleme kuvvetinin meydana geldiği durumlar gözlemlenmiştir. Ayrıca yer değiştirme tepkileri arasında dalgacık uyumu analizi yapılmıştır. Dalgacık uyumunda iki sinyalin arasındaki benzerlik incelenir ve uyum katsayıları (<https://www.mathworks.com>),

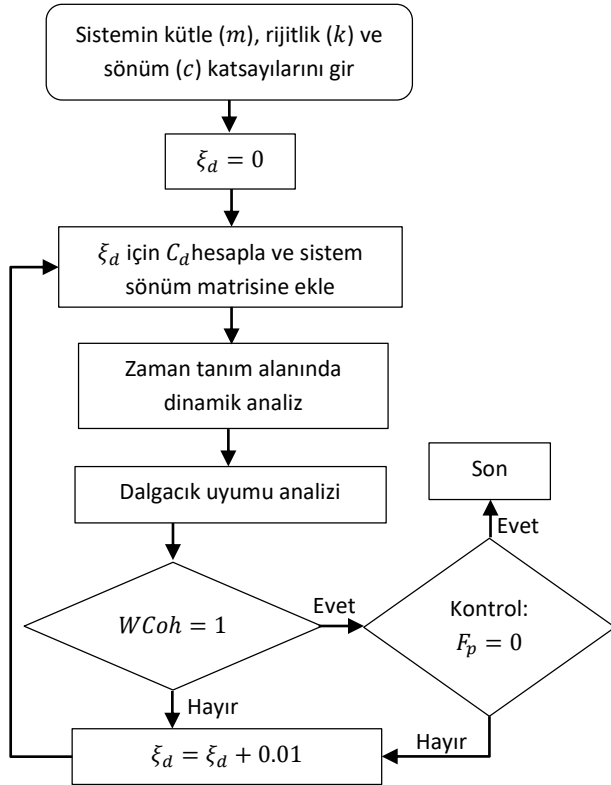
$$WCoh = \frac{|S(C_x^*(a, b)C_y(a, b))|^2}{S(|C_x(a, b)|^2) \cdot S(|C_y(a, b)|^2)} \quad (5)$$

ile hesaplanır. Burada $C_x(a, b)$ ve $C_y(a, b)$, x ve y sinyallerinin a ölçekleri ve b konumlarında sürekli dalgacık dönüşümlerini gösterir. Üst simge * karmaşık eşleniği olup S , zaman ve ölçek parametrelerini düzleştirme operatörüdür. Analiz sonucunda elde edilen uyum katsayıları, frekans-zaman düzleminde işaretlenir. Sunulan grafiklerde varsayılan renklendirme durumuna göre, sarı renkler yüksek uyumu tanımlarken, mavi renkler de uyumun olmadığı durumları tanımlamaktadır. Kesikli çizgiyle belirtilen koni içinde kalan alan da frekans tanımlamasının yapıldığı bölgeyi belirtmektedir. Bu şekilde elde edilen grafikler sonraki adımda optimizasyon çalışmasında incelenmiştir.

Yapı sisteminde çarpışmayı önlemek için, yapıya doğrusal viskoz damper eklenmiştir. Visköz damper sönüm katsayısı (kapasitesi), damperin yatay doğrultuda eklendiği durum için,

$$C_d = \frac{\xi_d 4\pi m \phi^2}{T \phi^2} \quad (6)$$

ile bulunmaktadır (Pekcan, Mander ve Chen, 1999). Burada ilgili formül TSD sistem için yazılmış olup, ξ_d ek sönüm oranı, m kütle, ϕ mod yer değiştirmesi, T doğal periyodu ifade etmektedir. Optimizasyon çalışmasında ξ_d kademeli şekilde artırılarak her bir adım için dalgacık uyumu katsayıları kontrol edilmiştir. Katsayıların 1 veya 1'e yakın olduğu durumlar, uyum katsayıları grafiklerinde sarı dalgalar ile renklendirildiğinden, yoğunlukla sarı renkli grafik elde edildiğinde çalışma sonlandırılarak damper kapasitesi hesaplanmıştır. Algoritmaya ait akış şeması Şekil 2'de gösterilmektedir. İncelenen 4 durum için 4 farklı damper kapasitesi bulunmuştur.



Şekil 2. Akış şeması

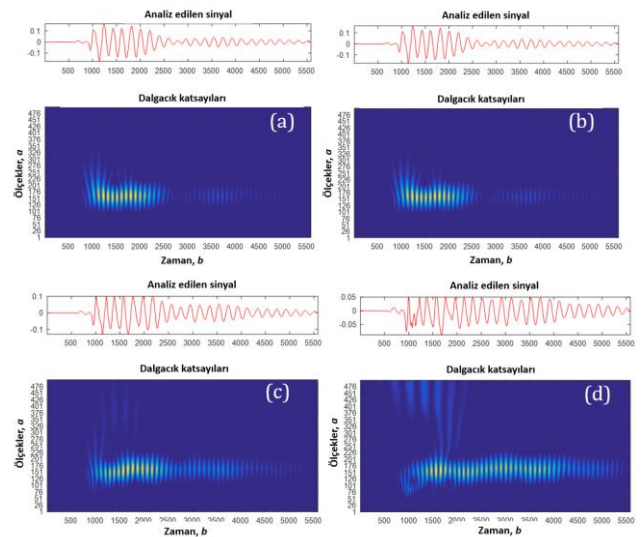
4. Bulgular

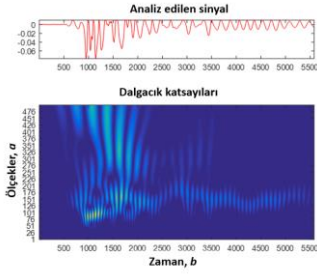
Sürekli dalgacık dönüşümlerinin grafiği, ölçeklendirilmiş (a) ve kaydırılmış (b) Morlet dalgacığı ile sinyalin arasındaki korelasyonu, ölçek-zaman düzleminde göstermektedir. Varsayılan renklendirmeye göre mavi renk düşük korelasyonu, kırmızı renk ise yüksek korelasyonu ifade etmektedir. Ölçek parametresi, frekansın çarpıma göre tersidir. Böylelikle, düşük ölçek değerleri sinyaldeki yüksek frekans içeriklerini, yüksek ölçek değerleri de düşük

frekans içeriklerini göstermektedir. Bunlara ek olarak, sinyaldeki ani değişkenlikler, düşük ölçekli dalgacıkla tespit edilirken, daha yavaş değişkenlikler yüksek ölçekli dalgacıkla tespit edilebilmektedir.

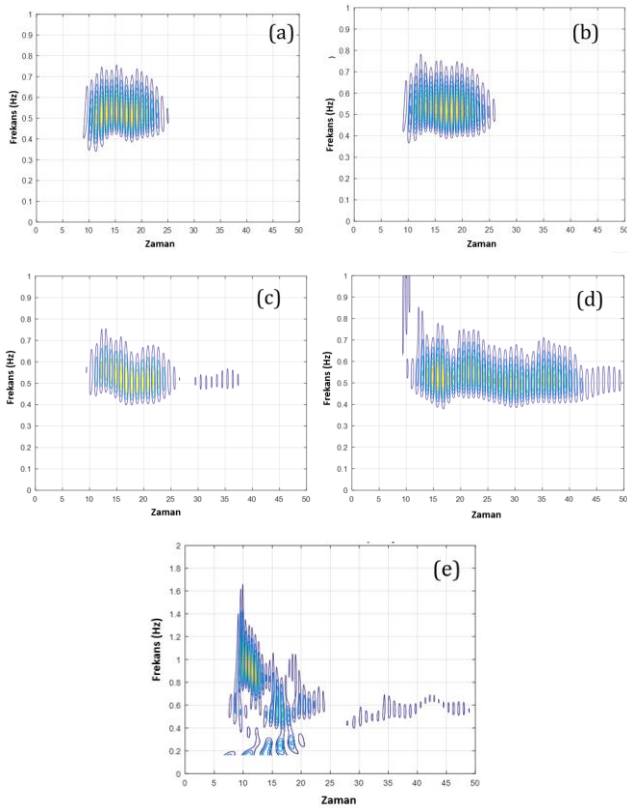
Yer değiştirme tepkilerinin sürekli dalgacık dönüşümleri Şekil 3'te verilmiştir. Ölçek 1:500 olarak alınmış olup, açıklık miktarı azaldıkça, büyük ölçek aralığının daha geniş zamana yayıldığı görülmektedir. Açıklığın en dar olduğu 1 cm durumunda is en büyük ölçeklerin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Grafiklerde göze çarpan farklı dalgalanmalar çekiçleme kuvvetlerinin her durum için değişik şekilde meydana geldiğini ifade etmektedir. Özellikle açıklık miktarı azaldıkça, sinyaldeki düşük frekans içeriklerine ek olarak yüksek frekans içeriklerinin de oluştuğu görülmektedir. Bu da çarpışma sayısının arttığını göstermektedir.

Ölçek-zaman grafiklerine göre daha net ve sınırların belli olduğu bir görüntü sağlayan frekans-zaman grafikleri de Şekil 4'te verilmiştir. Yapı ile duvar arasındaki açıklık miktarı azaldıkça frekans bant aralığının daha geniş zamana yayıldığı tespit edilmiş olup, bu durum çekiçleme kuvvetinin daha sık gözlemlendiğini işaret etmektedir. $d=15$ ve 10 cm olduğu durumlarda, çekiçleme kuvvetinin 10 ile 20 s aralığında ve 0.5 Hz frekans değerinde olduğu söylenebilmektedir. Ancak $d=5$ ve 1 cm iken Şekil 3'ü doğrular nitelikte, daha çok sayıda çarpışmanın meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, grafiklerde sarı renkli kısımlar çarpışmanın şiddeti hakkında bilgi vermekte olup, yine açıklık miktarı azaldıkça çarpışmanın şiddetinin arttığı sonucuna ulaşılabilmektedir.





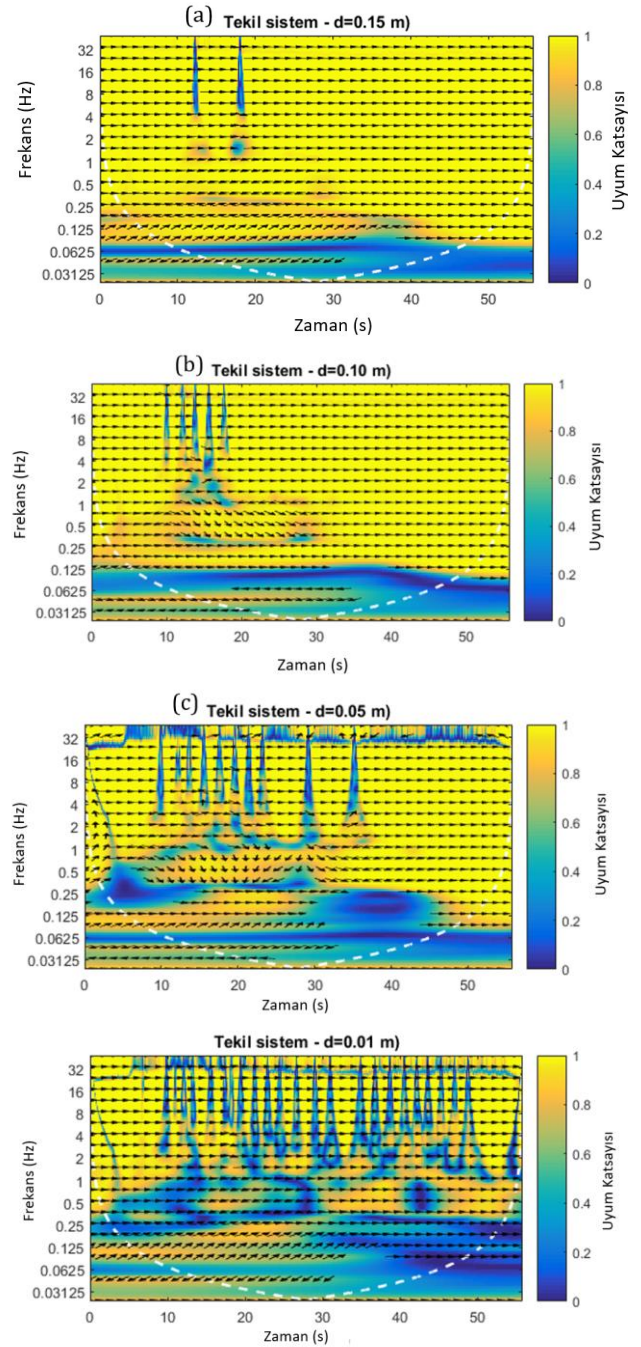
Şekil 3. Sürekli Dalgacık Dönüşümleri Ölçek-Zaman Grafikleri (a) Çarpışma yok (b) $d=15$ cm (c) $d=10$ cm (d) $d=5$ cm (e) $d=1$ cm



Şekil 4. Frekans-Zaman Düzleminde Dalgacık Katsayıları (a) Çarpışma yok (b) $d=15$ cm (c) $d=10$ cm (d) $d=5$ cm (e) $d=1$ cm

Yer değiştirme tepkilerinin sürekli dalgacık dönüşümleri, çekiçleme kuvvetlerinin görülme sıklığı ve şiddeti hakkında bilgi vermektedir. Farklı açıklık değerleri için çarpışmaların görüldüğü frekans ve zaman bilgileri değişkenlik göstermektedir. DVD kapasite hesabı için yürütülecek olan optimizasyon çalışması için dalgacık uyumu yöntemine başvurulmuştur. Dalgacık uyumunu kısaca, sinyaller arasındaki korelasyon ölçütü olarak tanımlayabilmekteyiz. Uyumun 1 olması demek sinyallerin birebir örtüştüğü anlamına gelmektedir. Çalışmada, ele alınan her bir durum için (farklı açıklık miktarları; 1, 5, 10, 15 cm) elde edilen yer değiştirme

tepkileri ile çarpışmanın olmadığı andaki yer değiştirme tepkilerinin dalgacık uyumu analizleri yapılmıştır.



Şekil 5. Dalgacık Uyumu Analizi: TSD sistem yer değiştirme tepkileri ile (a) $d=15$ cm (b) $d=10$ cm (c) $d=5$ cm (d) $d=1$ cm iken yer değiştirme tepkileri

Şekil 5'te, dalgacık uyumu grafikleri verilmiştir. Tekil sistem, rijit duvarın olmadığı sistem anlamına gelmektedir. Burada sarı renkli alanlar benzerliğin yüksek olduğu anlamına gelirken (uyum 1'e eşit veya yakın), mavi alanlar uyumun az olduğu bölgeleri göstermektedir. Açıklık miktarı azaldıkça veriler arası uyumun da azalarak çarpışma sayısının arttığı sonucuna

varılmaktadır.

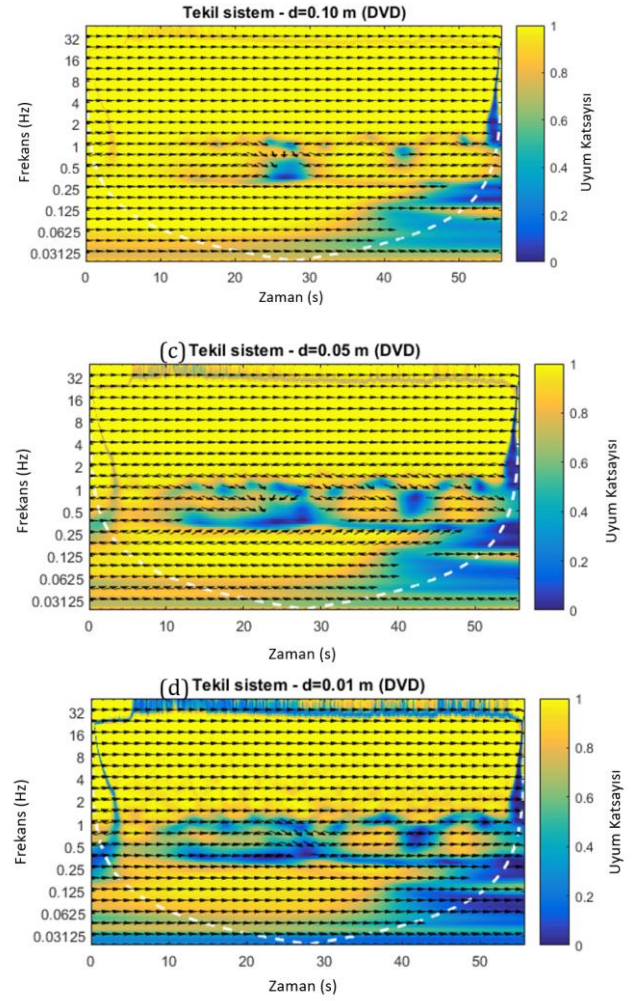
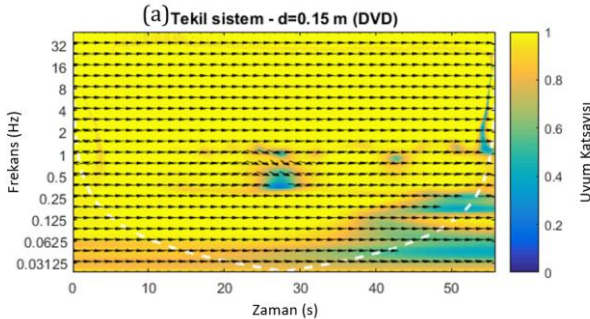
DVD eklenmiş sistemlerin dalgacık uyumu Şekil 6'da görülmektedir. Dalgacık uyumu grafiklerinde oklar çeşitli anlamlar içermektedir. Sağa doğru yönelmiş oklar, iki sinyalin aynı fazda olduğunu, sola doğru oklar iki sinyal arasında 180°lik faz farkı olduğunu, yukarı ve aşağı doğru oklar aralarında 90°lik faz farkı olduğunu belirtir. Tüm durumlar için uyum katsayıları 0.5 Hz frekans bileşeni hariç yüksektir. Dolayısıyla, damper yüklendikten sonraki bu davranışın, faz farklılığından ileri geldiği ifade edilebilir. Çekiçleme kuvveti oluşmaması için gerekli olan ek sönüm oranı, dalgacık uyum katsayılarının çoğunlukla 1 olduğunu gösteren sarı rengin yoğun olduğu grafik olduğu andaki değer kabul edilir. Minimum damper kapasitesinin belirlenmesi aşamasında, ek sönüm oranları kademeli bir şekilde arttırılarak maksimum uyumu meydana getirecek sönüm oranı belirlenmiştir.

Dalgacık uyumunu 1'e yakınsayan en küçük lineer viskoz damper kapasiteleri farklı açıklık miktarları için Tablo 1'de verilmiştir. Görüldüğü üzere açıklık miktarı ile damper sönüm oranı (ek sönüm oranı) ve kapasiteleri (sönüm katsayıları) arasında ters orantı bulunmaktadır. Azalan açıklık miktarları için, yer değiştirme tepkileri daha çok kontrol altına alınması gerektiğinden büyük damper kapasitelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Tablo 1

DVD Sönüm Oranı ve Kapasiteleri

Açıklık miktarı (d) (m)	Damper sönüm oranı (%)	Damper kapasitesi (Ns/m)
0.15	5	3.13×10^4
0.10	10	6.26×10^4
0.05	25	3.70×10^5
0.01	75	2.30×10^6



Şekil 6. DVD Eklenmiş Sistemlerin Yer Değiştirme Tepkilerinin Dalgacık Uyumu Analizi: TSD sistem ile (a) $d=15$ cm (b) $d=10$ cm (c) $d=5$ cm (d) $d=1$ cm iken

Çalışmalara ek olarak, farklı periyottaki sistemler için de analizler yapılmıştır. Tablo 2'de, çeşitli periyotlara sahip ve açıklık miktarı 0.10 m olan TSD sistemler için çekiçleme kuvvetini sıfır yapan viskoz damper sönüm oranları ve kapasiteleri verilmiştir. Sistem periyodu azaldıkça DVD sönüm oranı ve kapasite artmaktadır. Bunun sebebi, aynı açıklığa sahip sistemlerde düşük periyotlu yapının daha sık çarpışma olayına maruz kalmasıdır.

Tablo 2

Farklı Periyotlara Sahip TSD Sistemler için DVD Sönüm Oranı ve Kapasiteleri ($d = 0.10$ m)

Periyot (s)	Damper sönüm oranı (%)	Damper kapasitesi (Ns/m)
2.0	10	6.26×10^4
1.5	15	8.37×10^4
1.0	20	24.9×10^4
0.5	30	57.1×10^4

5. Tartışma

Literatürde dalgacık dönüşümleri çoğunlukla yapı sağlığı, deprem sinyalinin ayrıştırılması gibi çalışmalarda kullanılan bir yöntem olup, bu çalışmalarda genellikle veriyi ayrıştırarak indirgeyen ayrık dalgacık dönüşümü kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise, sürekli dalgacık dönüşümleri ile yer değiştirme tepkilerinin analizi yapılarak çarpışma durumu incelenmiştir. Bu analizler sonucunda, TSD sistemin rijit duvara çarptığı durumlar farklı açıklık miktarları altında analiz edilmiş ve çarpışmanın olmadığı durum ile kıyaslamalar yapılmıştır. Sürekli dalgacık dönüşümü grafiklerinde, boşluk miktarının azalması ile çarpışma sıklığının arttığı gözlenmiştir. Viskoz damper kapasitesinin hesabında, yer değiştirmenin en küçüklenmesi, standartlarca verilmiş ya da yapısal sistemlerin gerektirdiği ölçüde yer değiştirme değerini belirleyip, bu değere yakınsatmak ile ilgili olup, literatürde oldukça sıklıkla karşılaşılan bir yöntemdir. Dalgacık uyumu yöntemiyle ise, çeşitli değişkenlerden etkilenmiş iki sinyal arasındaki uyumu ya da uyumsuzluğu tespit etmek mümkün olabilmektedir. Böylece bu çalışmada, iki yer değiştirme sinyalinden, çarpışmanın olduğu sinyali çarpışmanın oluşmadığı sinyale benzetmeye çalışarak, yapıya eklenecek olan viskoz damper kapasitesi elde edildi. Dolayısıyla dalgacık uyumu yöntemi, bu çalışmada kullanıldığı gibi, optimizasyon çalışmasına dahil edildiğinde, bir sinyali istediğimiz bir sinyale benzetebilme esnekliğini sağlamaktadır. Bu çalışma ile ilk kez dalgacık uyumu yöntemi ile yer değiştirme verileri arasındaki benzerlik incelenmiştir. Buradan edinilen bilgiler ışığında, optimizasyon çalışmasında ek sönüm oranı, uyum katsayılarını 1'e yakınsayacak şekilde kademeli olarak arttırılmıştır. Elde edilen sönüm oranlarından da kapasiteler hesaplanmış ve damperler sisteme eklenerek sismik analiz tekrarlanmış ve çekiçleme kuvvetlerinin sıfır olduğu tespit edilmiştir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, deprem etkisi altındaki TSD bir sistemin, rijit duvara çarpmasıyla oluşan sismik davranış sürekli dalgacık yöntemi ile incelenmiştir. Çeşitli açıklık değerlerine sahip sistemlerin yer değiştirme zaman diyagramları kullanılarak elde edilen ölçek-zaman ve frekans-zaman grafiklerinden çekiçleme kuvvetlerinin sıklığı belirlenebilmiştir. Açıklık miktarı azaldıkça çarpışma olayının sayısının arttığı gözlenmiştir. Çarpışmayı engellemek için sisteme eklenmesi gereken minimum doğrusal viskoz damper kapasitesi dalgacık uyumu analizini temel alan optimizasyon çalışması yürütülerek belirlenmiştir. Yapılan parametrik analizler sonucunda açıklık miktarı azaldıkça ve aynı şekilde yapı periyodu küçüldükçe, sistemde çarpışma olmaması için eklenmesi gereken damper kapasitesinin arttığı

gözlemlenmiştir. Son olarak da elde edilen kapasiteler ile dinamik analizler yapılmış ve çekiçleme kuvvetlerinin sıfır olduğu tespit edilmiştir.

Dalgacık dönüşümü yöntemi ile zaman serilerinden elde edilemeyen frekans bilgileri elde edilmekte ve Fourier dönüşümünden üstün olarak da sinyaldeki frekans içeriklerinin zaman bilgileri elde edilebilmektedir. Dalgacık uyumu analizine dayanan optimizasyon yöntemi ile görülmüştür ki, sismik tepkilerin frekans içeriklerini birbirine benzetmek ve bunun sonucunda sismik tepkileri kontrol altında tutmak gerekli viskoz damper kapasitesini bulma bakımında olumlu sonuçlar vermektedir.

Bu çalışmada kullanılan yöntemler, çok katlı yapılar ile sismik izolatör ve diğer enerji sönümleyiciler için de uygulanabilir olduğundan, gelecek çalışmalarda bu konular üzerinde durulması düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Akehashi, H., ve Takewaki, I. (2020). Comparative investigation on optimal viscous damper placement for elastic-plastic MDOF structures: transfer function amplitude or double impulse. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 130, 105987. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105987>
- Cui, X., Bryant, D.M. ve Reiss, A.L. (2012). NIRS-based hyperscanning reveals increased interpersonal coherence in superior frontal cortex during cooperation. *NeuroImage*, 59(3), 2430-2437. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.09.003>
- Del Gobbo, G. M., Williams, M. S. ve Blakeborough, A. (2018). Comparing fluid viscous damper placement methods considering total-building seismic performance. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 47(14): 2864-2886. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105987>
- Folhento, P., Barros, R. ve Braz-César, M. (2021). *Mitigation of Earthquake-Induced Structural Pounding Between Adjoining Buildings – State-of-the-Art. CONTROLO 2020*, Proceedings of the 14th APCA International Conference on Automatic Control and Soft Computing, 752-761. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58653-9_72.

- Jankowski, R. (2005). Non-linear viscoelastic modelling of earthquake-induced structural pounding. *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, 34: 595-611. <https://doi.org/10.1002/eqe.434>
- Kazemi, F., Miari, M. ve Jankowski, R. (2021). Investigating the effects of structural pounding on the seismic performance of adjacent RC and steel MRFs. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19, 317-343. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00985-y>.
- Miari, M., Choong, K.K. ve Jankowski, R. (2019). Seismic pounding between adjacent buildings: Identification of parameters, soil interaction issues and mitigation measures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 121, 135-150, ISSN 0267-7261, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.02.024>.
- Misiti M., Misiti Y., Oppenheim G. Ve Poggi J.-M. 2014. Wavelet Toolbox: The MathWorks. Erişim adresi: http://cda.psych.uiuc.edu/matlab_pdf/wavelet_ug.pdf
- Noruzvand, M., Mohebbi, M., ve Shakeri, K. (2020). Modified direct displacement-based design approach for structures equipped with fluid viscous damper. *Structural Control and Health Monitoring*, 27(1), e2465. <https://doi.org/10.1002/stc.2465>
- Pekcan, G., Mander, J.B. ve Chen, S.S. (1999). Fundamental considerations for the design of non-linear viscous dampers. *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, 28: 1405-1425. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9845\(199911\)28:11<1405::AID-EQE875>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199911)28:11<1405::AID-EQE875>3.0.CO;2-A)
- Shama, A. (2012). *Spectrum Compatible Earthquake Ground Motions by Morlet Wavelet*, 20th Analysis and Computation Specialty Conference. <https://doi.org/10.1061/9780784412374.015>
- Singh, R.S., Saini, B.S. ve Sunkaria R.K. (2018). Times Varying Spectral Coherence Investigation of Cardiovascular Signals Based on Energy Concentration in Healthy Young and Elderly Subjects by the Adaptive Continuous Morlet Wavelet Transform. *IRBM*, 39, Issue 1, 54-68. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2017.12.004>.
- Van Mier, J.G.M., Pruijssers, A.F., Reinhardt, H.W. ve Monnier, T. (1991). Load-time response of colliding concrete bodies. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 117, 354-374. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1991\)117:2\(354\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1991)117:2(354))
- Zhang, X., Noah, J.A., Dravida, S. ve Hirsch, J. (2020). Optimization of wavelet coherence analysis as a measure of neural synchrony during hyperscanning using functional near-infrared spectroscopy. *Neurophoton*, 7(1) <https://doi.org/10.1117/1.NPh.7.1.015010>.
- Zhao, Y., Laguna, R.C., Zhao, Y., Liu, J.J., He, X., Yianni, J. ve Sarrigiannis, P.G. (2018). A Wavelet-Based Correlation Analysis Framework to Study Cerebromuscular Activity in Essential Tremor. *Complexity*, 2018, Article ID 7269494. <https://doi.org/10.1155/2018/7269494>
- Zhao, H. ve Zhang, Y. (2021). CWT-Based Method for Extracting Seismic Velocity Dispersion. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. doi: [10.1109/LGRS.2021.3056610](https://doi.org/10.1109/LGRS.2021.3056610)