



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Sismik Taban İzolatörlü Yapıların Yakın ve Uzak Fay Depremleri Altındaki Davranışlarının Dalgacık Dönüşümü ile İncelenmesi

Elif Çağda KANDEMİR

İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35140, İzmir, Türkiye
Elif Çağda KANDEMİR, ORCID No: 0000-0002-9190-7120
Sorumlu yazar e-posta: elifcagda.kandemir@idu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 12.02.2022
Kabul: 11.05.2022
Online Ağustos 2022
DOI: 10.53433/yyufbed.1072327

Anahtar Kelimeler

Dalgacık dönüşümü,
Sismik taban izolatörü,
Uzak-fay depremi,
Yakın-fay depremi

Öz: Çalışmada sismik taban izolatörlü bir yapının yakın ve uzak fay depremleri etkisindeki sismik davranışları sürekli dalgacık dönüşümü yöntemi ile incelenmiştir. Toplanmış kütle-rijitlik modeli kullanılarak idealize edilmiş bina türü bir yapının, taban seviyesine kauçuk izolatör yerleştirilerek yakın ve uzak fay depremleri etkisi altında sismik tepkileri elde edilmiştir. Yakın ve uzak fay depremlerinin en önemli özelliği frekans içeriklerindeki farklılıktır. Zaman tanım alanında elde edilen yer değiştirme tepkilerine daha detaylı bir bakış açısı geliştirmek amacıyla bu tepkiler Morlet dalgacığı kullanılarak sürekli dalgacık dönüşümü ile ölçek (1/frekans)-zaman düzleminde sunulmuştur. Yer değiştirme-zaman grafiklerinden elde edilemeyen bilgiler dalgacık dönüşümlerinden elde edilmiş ve sismik tepkilerin frekans içeriklerindeki farklılıklar net olarak gözlenmiştir. Yakın-fay depremleri altında, yüksek frekans içeriklerinin daha geniş bir zaman dilimine yayıldığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak dalgacık uyumu yöntemi ile yakın ve uzak fay depremleri etkisi altında elde edilmiş yer değiştirme tepkilerinin korelasyonu ölçülmüş ve yakın ve uzak-fay depremleri altında davranışların korelasyonlarının düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Investigation of Seismic Behaviour of Base Isolated Structures Under Near and Far Fault Earthquakes by Wavelet Transform

Article Info

Received: 12.02.2022
Accepted: 11.05.2022
Online August 2022
DOI: 10.53433/yyufbed.1072327

Keywords

Continuous wavelet transform,
Far-fault earthquake,
Near-fault earthquake,
Seismic base isolator

Abstract: In this study, the seismic behaviour of a structure with seismic base isolators under the near and far fault earthquakes have been investigated by continuous wavelet transform. Seismic responses of the building type structure idealized as a lumped mass-stiffness model with elastomeric isolators which have been placed at the base level have been obtained under near and far fault earthquakes. The most important property of near and far fault earthquakes is the difference in their frequency content. In order to develop a more detailed perspective on the displacement time responses obtained in the time domain, these responses have been presented in the scale (1/frequency)-time plane with the continuous wavelet transform using the Morlet wavelet. The information that could not be obtained from the displacement-time responses has been achieved from the wavelet transform and the differences in the seismic responses in terms of frequency contents have been observed. It has been clarified that during near-fault earthquakes, high frequency contents are spread over a wider time period. In addition, the correlation of displacement responses obtained under the effect of near and far fault earthquakes was measured with the wavelet coherence method and it has been concluded that the behaviours under near- and far-fault earthquakes have low correlation.

1. Giriş

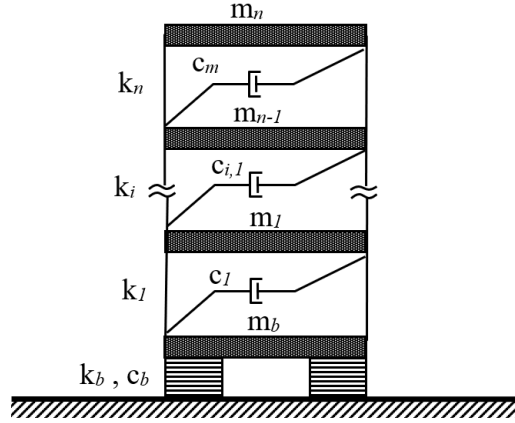
Son yıllara dek sismik taban izolatörleri, ilgili araştırmacılar tarafından sıklıkla çalışılmış ve başarılı uygulamalarından ötürü sahada kullanım alanına sahip olmuştur (Makris, 2019). Sismik taban izolatörleri yapı ile zemin arasındaki bağlantıyı keserek, üst yapıdaki sismik tepkileri azaltırlar. İzolatörlerin düşük yatay rijitliğe sahip olmaları, yapıların taban seviyesindeki esnekliklerini arttırarak deprem yükleri altında düşük frekanslı salınımlar yapmasına neden olmakta iken, üst yapının rijit bir blok gibi davranmasına olanak tanımaktadır. Böylece katlar arası yer değiştirmeler azalmaktadır. Ancak gerek yapının periyodunun artması gerek bunun sonucu olarak taban seviyesindeki yer değiştirmelerin büyümesi nedeniyle sismik taban izolatörlerinin kullanım alanları sınırlanmıştır. Yapının doğal titreşim periyodunu arttıran yumuşak zeminlerde ve yüksek frekans içeriğine sahip deprem üretebilecek yakın-fay bölgelerinde depreme dayanıklı tasarım amacıyla sismik izolatör kullanımı mümkün olmamaktadır. Sismik taban izolatörlerinin yakın-fay bölgelerindeki davranışları ile ilgili pek çok araştırma bulunmaktadır (Sehhati ve ark., 2011; Liu ve ark., 2012; Diaferio & Foti, 2016; Nazarnezhad & Naderpour, 2021). Jangid & Kelly (2001), yakın-fay özellikli yer hareketleri altında değişik taban izolatörü parametrelerine sahip yapıları karşılaştırmıştır. Mazza ve ark. (2018) yakın-fay deprem etkisi altındaki taban izolatörlü yapıda taşıyıcı olan ve olmayan duvarların etkisini incelemiştir. Providakis (2008) yakın-fay etkisindeki yapılarda, izolatör sönümünün sismik performans etkisini incelemiştir. Saha & Mishra (2021), yüksek katlı binalar için arakat izolatör uygulamasını yakın- ve uzak-fay depremleri altında incelemiştir. Yapılan araştırmalar neticesinde, yakın-fay depremlerin, taban seviyesindeki yer değiştirmeyi ve buna bağlı olarak sismik talebi büyük ölçüde arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Sinyallerin frekans içeriklerini ayrıştırmada en etkili yöntem olarak bilinen Fourier dönüşümü, günümüzde yerini frekans bilgilerini zaman alanında tanımlayabilen dalgacık (wavelet) dönüşümüne bırakmıştır. Böylece yalnızca frekans içerikleri hakkında değil, frekansların hangi zaman aralıklarında meydana geldiği de öğrenilebilmektedir (Cohen & Kovacevic, 1996). Deprem mühendisliği alanında dalgacık dönüşümü kullanılmış olan pek çok çalışma mevcuttur (Zhao ve ark., 2015; Pietrosanti ve ark., 2021). Mazza (2018), yakın-fay depremlerini darbe tipi olan ve olmayan olarak sınıflandırmak için sürekli dalgacık dönüşümü kullanmıştır. Pelekis ve ark. (2018), deprem etkisi nedeniyle yapının temelinde veya üst yapıda meydana gelen dönme hareketlerini dalgacık dönüşümü yöntemiyle frekans içerikleri açısından incelemiştir.

Bu çalışmada, sismik taban izolatörlü beş katlı kayma tipi bir yapının, yakın- ve uzak-fay etkilerindeki yer değiştirme davranışı sürekli dalgacık dönüşümü yöntemi ile incelenmiştir. 1999 Chi-Chi, 1999 Düzce ve 1995 Kobe depremlerinin yakın- ve uzak-fay ivme kayıtları olmak üzere toplam 6 adet deprem verisi ele alınmıştır. Öncelikle belirtilen deprem yükleri kullanılarak zaman tanım alanında yer değiştirme tepkileri elde edilmiştir. Daha sonra bu zaman serilerine dalgacık dönüşümü uygulanarak frekans içerikleri elde edilmiştir. Böylece tepkilerin yakın- ve uzak-fay depremleri altındaki farklılıkları gözlenmiştir. Buna ek olarak, sismik tepkilerin zaman serisinden gözlemlenemeyen farklılıkları dalgacık uyumu yöntemi kullanılarak araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada beş katlı kayma tipi yapı ele alınmış olup, toplanmış kütle-rijitlik modeli Matlab ortamında (Matlab, 2020) oluşturulmuştur. Yapıya ait her katın kütlesi $m = 1 \times 10^5$ kg ve rijitliği $k = 6.8 \times 10^7$ N/m olarak belirlenmiş olup (Kandemir-Mazanoglu & Mazanoglu, 2017), sabit tabanlı yapının doğal periyodu 0.85 s'dir. Şekil 1'de m, c, k sırasıyla yapının kütle, sönüm ve rijitlik katsayıları olup, m_b, c_b, k_b izolatörün kütle, sönüm ve rijitlik katsayılarıdır. n kat sayısını ifade etmektedir. İzolatörün üzerindeki kütle (m_b), kat kütlelerinin (m) 1.5 katı alınmıştır (Jangid & Kelly, 2001).



Şekil 1. Taban izolatörlü bina

Kauçuk izolatör için gerekli parametreler aşağıdaki formüller yardımıyla bulunmuştur (Jangid & Kelly, 2001),

$$F_b = c_b \dot{x}_b + k_b x_b \quad (1)$$

$$T_b = 2\pi \sqrt{\frac{M_T}{k_b}} \quad (2)$$

$$\xi_b = \frac{c_b}{2M_T \omega_b} \quad (3)$$

burada, F_b , izolatörün meydana getirdiği kuvvet olup, sönüm ve rijitlik kuvvetlerinin toplamıdır. M_T üst yapının toplam kütlelerini ($\sum_{i=1}^n m_i$), T_b izolatörün periyodunu ve ξ_b izolatörün sönüm oranını ifade etmektedir. Sismik izolatörlerde periyodun 1 ile 3 s arasında olması gerekmektedir (Jangid & Kelly, 2001). Bu çalışmada 2 s olarak kabul edilmiştir. Buradan da $\omega_b = 2\pi/T_b$ ile hesaplanabilmektedir. Sönüm oranı %10 alınmıştır. Önceden belirlenen bu parametreler yerlerine konularak izolatörün modellenmesi için gerekli olan rijitlik (k_b) ve sönüm katsayısı (c_b) parametreleri hesaplanmaktadır. Sonuç olarak kütle matrisi $\mathbf{M} = \mathbf{diag}[m_b, m_1, \dots, m_n]$ ve yer değiştirme vektörü $\mathbf{X} = \{x_b, x_1, x_2, \dots, x_n\}^T$ olmak üzere, taban izolatörlü bir yapının hareket denklemi,

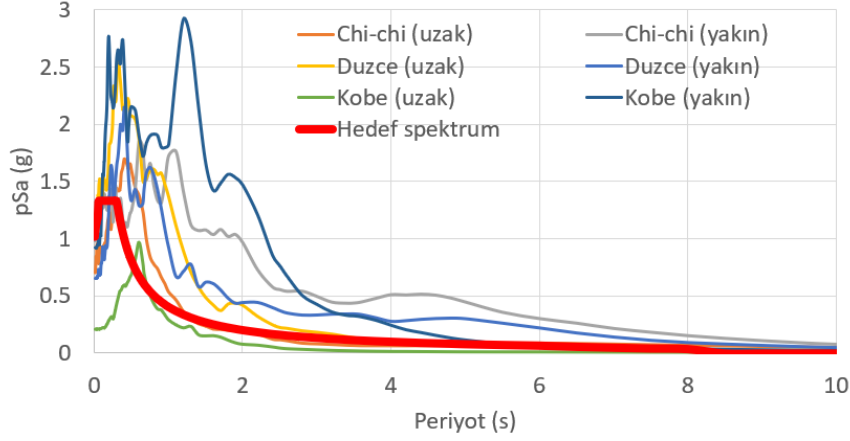
$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{X}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{X}} + \mathbf{K}\mathbf{X} = -\mathbf{M}\mathbf{r}\ddot{x}_g, \quad (4)$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada, \ddot{x}_g , deprem ivmesi, \mathbf{r} , etki vektörü olup; \mathbf{C} ve \mathbf{K} yapısal sönüm ve rijitlik matrisleridir. Yapının sönüm oranı 1. ve 2. modlarda %5 olup, Rayleigh yöntemi kullanılarak sönüm matrisi belirlenmiştir. Taban seviyesine konulan sismik izolatörler, yatay yönde hareket serbestlikleri nedeniyle yapının serbestlik derecesini 1 arttırdığından, bu çalışmada ele alınan 5 katlı yapı 6 serbestlik dereceli hale gelmiştir. Zaman tanım alanında tepkiler sayısal integrasyon metotlarından biri olan Newmark- β metoduyla çözümlenmiştir.

Yapının İzmir ili Bayraklı ilçesinde bulunduğu kabul edilmiştir. Çizelge 1’de ele alınan deprem kayıtlarının özellikleri ve Şekil 2’de deprem elastik tasarım ivme spektrumları gösterilmiştir. Çalışmada ele alınan yakın-fay depremler büyüklüğü $M_w > 6$ ve odak derinliği (d) < 10 km olacak şekilde seçilmiştir. Uzak fay depremler de aynı depremlerin odak derinliği > 10 km olan kayıtlarından seçilmiştir. Sık deprem yer hareketini niteleyen deprem yer hareketi düzeyi DD-3 ve zemin sınıfı ZC kabul edilmiş ve hedef spektrumu, koordinat bilgileri girilerek AFAD İnteraktif Türkiye Deprem Tehlike Haritası’ndan elde edilmiştir. Ölçeklendirme hedef spektruma göre ağırlıklı karesel ortalama hata yöntemi kullanılarak yapılmış olup, ölçek katsayıları (PEER, 2022) ile bulunmuştur.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan uzak- ve yakın-fay depremleri

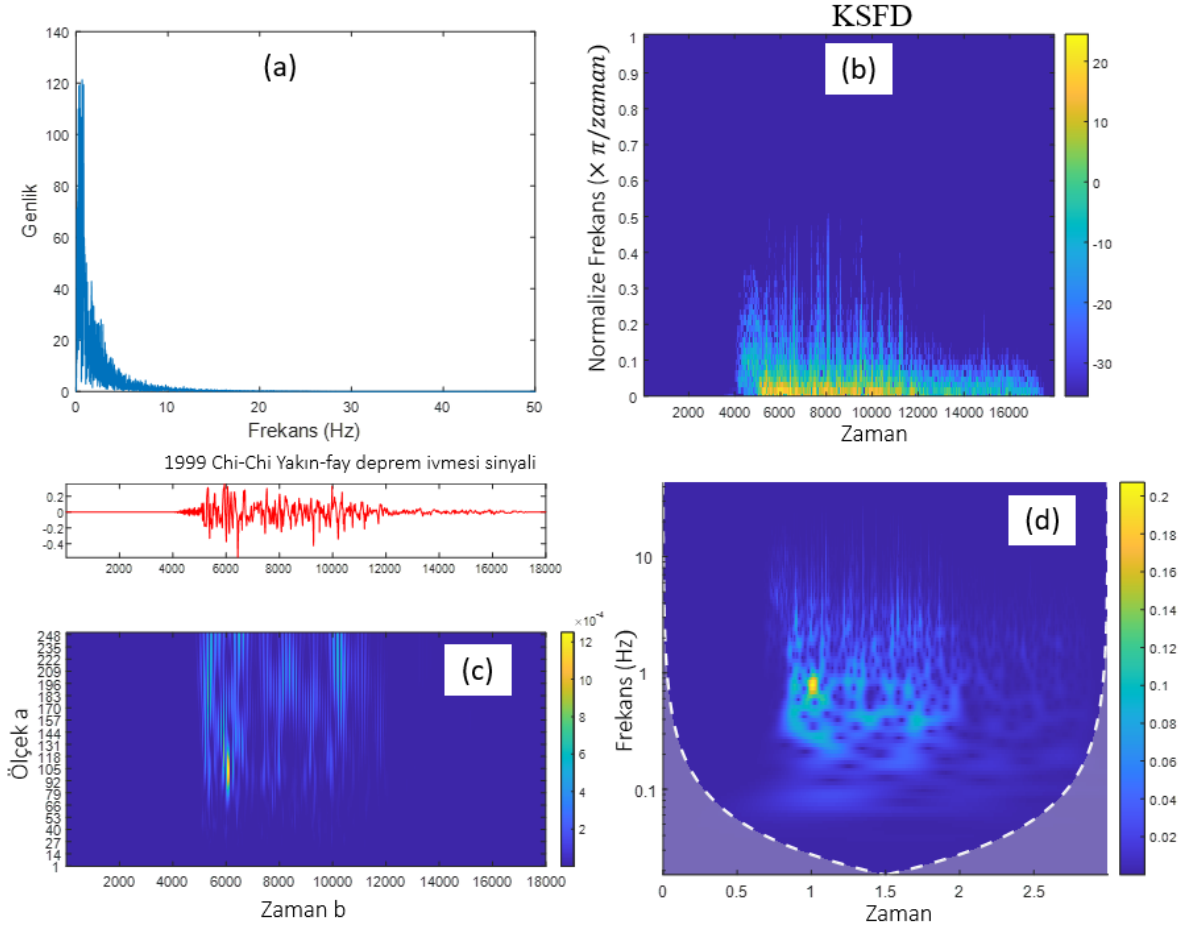
Deprem	İstasyon		Uzak fay		Yakın fay		Büyüklik (M_w)
	Uzak	Yakın	d (km)	Ölçek	d (km)	Ölçek	
1999 Chi-Chi	TCU045	TCU065	26	0.88	0.57	0.40	7.6
1999 Duzce	Bolu000	Duzce	12.04	0.62	6.58	0.73	7.1
1995 Kobe	HIK	Takatori	95.72	3.03	1.47	0.39	6.9



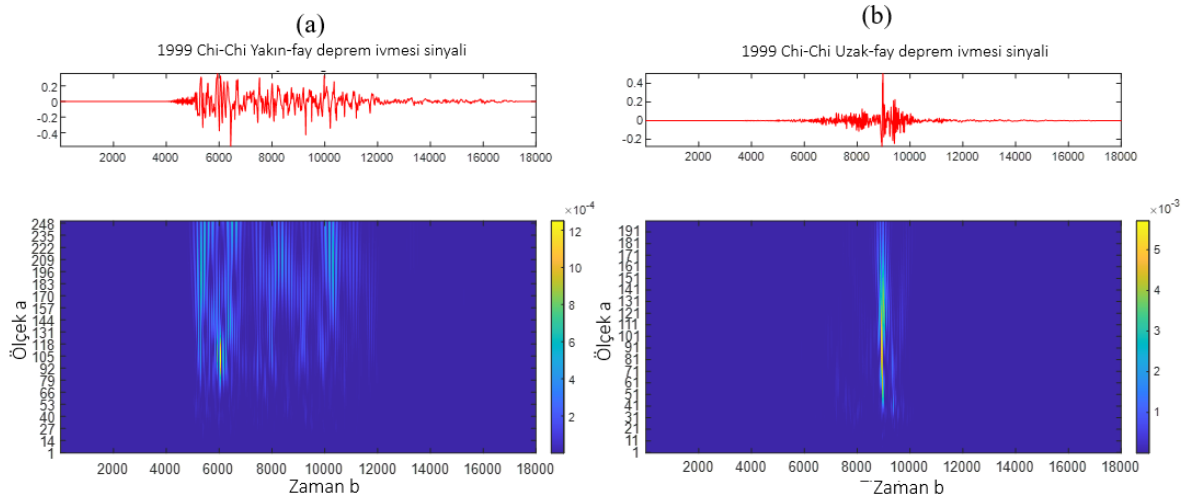
Şekil 2. Hedef spektrum ve kullanılan yakın- ve uzak-fay depremlerin elastik tasarım ivme spektrumları.

Sinyallerin frekans bilgilerine ulaşmak için en çok bilinen ve kullanılan yöntem Fourier dönüşümüdür. Bu yöntemde, sinyal değişik genlik ve frekanslara sahip sinüs dalgalarının toplamı ile ifade edilir. Ancak frekansların zaman bilgisi tanımlanamamaktadır. Frekans-zaman bilgisi elde edilmek istendiğinde sabit pencereleme fonksiyonu ile tanımlanan Kısa Süreli Fourier dönüşümü (KSFD) kullanılabilir. Şekil 3'te 1999 Chi-Chi yakın-fay depremine ait ivme kaydının Fourier ve sürekli dalgacık dönüşümü sonucunda elde edilmiş grafikleri verilmiştir. Şekil 3(a) Fourier dönüşümünü, Şekil 3(b) KSFD'yi, Şekil 3(c) dalgacık dönüşümü sonucunda ölçek-zaman grafiğini, Şekil 3(d) ise frekans=1/ölçek olmak üzere Şekil 3(c)'den hesaplanabilen frekans-zaman grafiğini göstermektedir. Grafiklerden görüldüğü üzere frekans içeriklerinin zaman bilgisine en detaylı biçimde dalgacık dönüşümü ile ulaşılabilir. Şekil 3(a) ile frekansın değerlerine ulaşılabilirken, KSFD ile frekansların zaman bilgisine de ulaşılabilir. Ancak görüldüğü üzere sabit pencereleme fonksiyonu sebebiyle tüm frekansları belirli bir zaman aralığına yaymıştır. Bu nedenle her bir zaman aralığında farklı değerlere sahip olan frekans içeriğinde kayıplar meydana gelmiştir. Maksimum frekans bilgisine ulaşamamaktadır. Sürekli dalgacık dönüşümü grafiklerindeki renklendirmelerde kırmızıya yakın sarı renkler maksimum frekansı ifade etmektedir. KSFD'den farklı olarak ayırt edici şekilde, dalgacık dönüşümü ile frekansın değeri ve gözlemlendiği zaman net olarak verilmektedir.

Yakın ve uzak-fay deprem ivmelerinin frekans içeriklerindeki farklılıkları tespit etmek amacıyla 1999 Chi-Chi depreminin yakın ve uzak-fay kayıtlarına dalgacık dönüşümü uygulanmıştır. Şekil 4'te görüldüğü üzere, yakın-fay deprem ivmelerinin frekans içerikleri daha geniş bir zaman dilimine yayılmıştır.



Şekil 3. 1999 Chi-Chi Yakın-fay deprem ivmesi a) Fourier dönüşümü b) KSFDF c) sürekli dalgacık dönüşümü (ölçek-zaman düzleminde) d) sürekli dalgacık dönüşümü (frekans-zaman düzleminde).

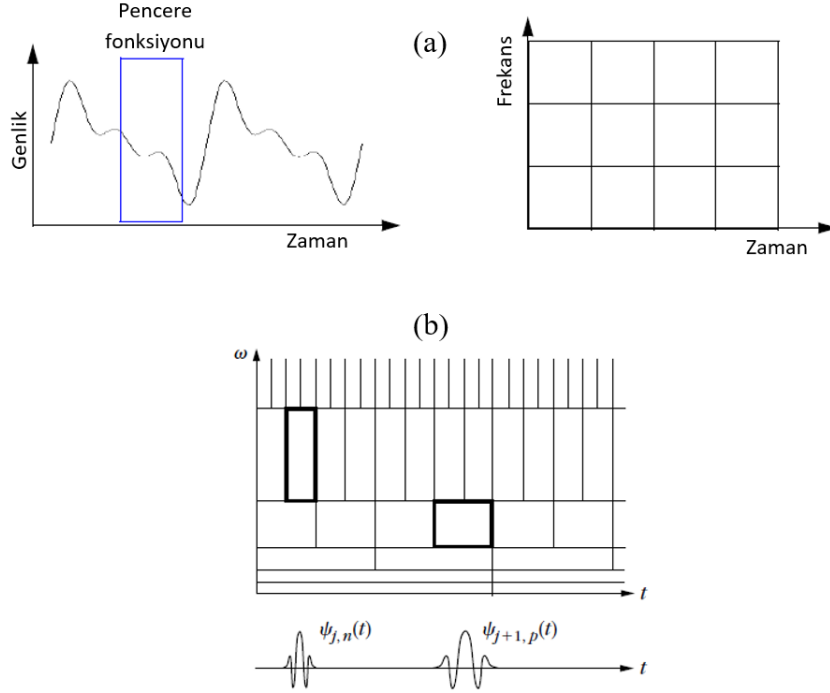


Şekil 4. 1999 Chi-Chi depremi a) yakın-fay deprem ivmesi b) uzak-fay deprem ivmesi.

2.1. Dalgacık dönüşümü

Bir önceki bölümde bahsedildiği üzere Fourier dönüşümü ile frekans içeriklerinin zaman bilgisi elde edilemezken, sabit pencereleme fonksiyonu nedeniyle KSFDF ile de frekans veya zaman bilgilerinde

kayıplar meydana gelmektedir. Şekil 5(a), sabit zaman aralığına sahip, uzatılıp kısaltılmayan pencere fonksiyonu ile sinyali tarayan ve sonuç olarak belli bir zaman ve frekans bandında sinyalin frekans-zaman grafiğini elde eden KSFD'yi göstermektedir (Misiti ve ark., 2004). Bu kısıtların üstesinden gelmek amacıyla, sinyalin frekans bilgilerini ayrıştırmada etkili bir yöntem olarak dalgacık dönüşümü geliştirilmiştir. Dalgacık dönüşümü, Fourier yönteminden farklı olarak sinyallerin frekans bilgilerini zaman tanım alanında sunabilmektedir. Şekil 5(b) ile, ölçeklenebilir ve kaydırılabilir dalgacık fonksiyonuna sahip ana dalgacık dönüşümü ile pek çok zaman aralığı için frekans bilgileri elde edilebilir dalgacık dönüşümü gösterilmektedir (Arı ve ark., 2008). Dar zaman aralıklarında yüksek frekans bilgilerinin, geniş zaman aralıklarında ise düşük frekans bilgilerinin elde edildiği Şekil 3(b)'den görülmektedir.



Şekil 5. a) KSFD pencere fonksiyonu ve frekans-zaman grafiği (Misiti ve ark., 2004) b) dalgacık dönüşümü frekans-zaman grafiği (Arı ve ark., 2008).

Dalgacık dönüşümleri sürekli ve ayrık olmak üzere iki çeşittir. Sürekli dalgacık dönüşümü tüm ölçekler için hesap yaparken, ayrık dalgacık dönüşümünde ölçekleme ve kaydırma parametreleri için bir aralık belirtilir ve o aralık için çözüm yapılır. Dalgacık katsayıları, uygun şekilde ölçeklendirilmiş ve kaydırılmış dalgacıklar ile orijinal sinyalin çarpılması ile bulunur. Denklem (5) ve (6)'da sırayla sürekli dalgacık dönüşümü katsayıları ve ana dalgacık fonksiyonu verilmiştir (Misiti ve ark., 2004).

$$C(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot \psi(a, b, t) dt \quad (5)$$

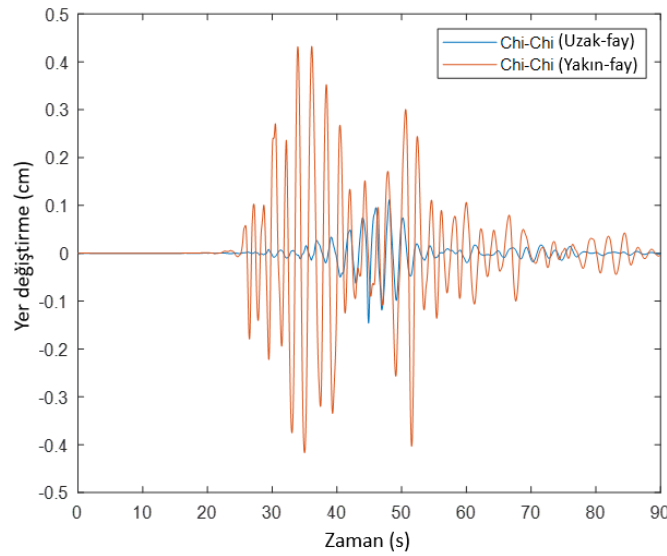
$$\psi(a, b, t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) \quad (6)$$

Burada, $C(a, b)$ dönüşüm katsayısını, $f(t)$ sinyali, $\psi(a, b, t)$ kaydırılmış ve ölçeklendirilmiş dalgacık fonksiyonunu göstermektedir. a ve b sırasıyla ölçekleme ve kaydırma faktörleridir. ψ^* dalgacık fonksiyonunun kompleks eşleniğidir. Bu çalışmada, yer değiştirme tepkilerinin ölçek-zaman grafikleri literatürde deprem ile ilgili araştırmalarda sıklıkla başvurulan Morlet dalgacığı kullanılarak elde edilmiştir (Shama, 2012; Zhao & Zhang, 2021). Sonuç olarak sinyal ile ölçeklenmiş dalgacığın benzerlik katsayısı ölçek-zaman grafiğine işlenir. Ölçek, frekansın çarpmaya göre tersini ifade

etmektedir. Bu durumda, yüksek ölçek değerleri düşük frekans içeriklerini ifade ederken, düşük ölçek değerleri de yüksek frekans içeriklerini belirtmektedir. Ayrıca yüksek ölçek değerleri uzatılmış dalgacık fonksiyonu ve yavaş değişen özellikleri işaret etmektedir. Tam tersi şekilde, düşük ölçek değerleri de sıkıştırılmış dalgacık fonksiyonu olup, hızlı değişen detayları ortaya koymaktadır (Misiti ve ark., 2004).

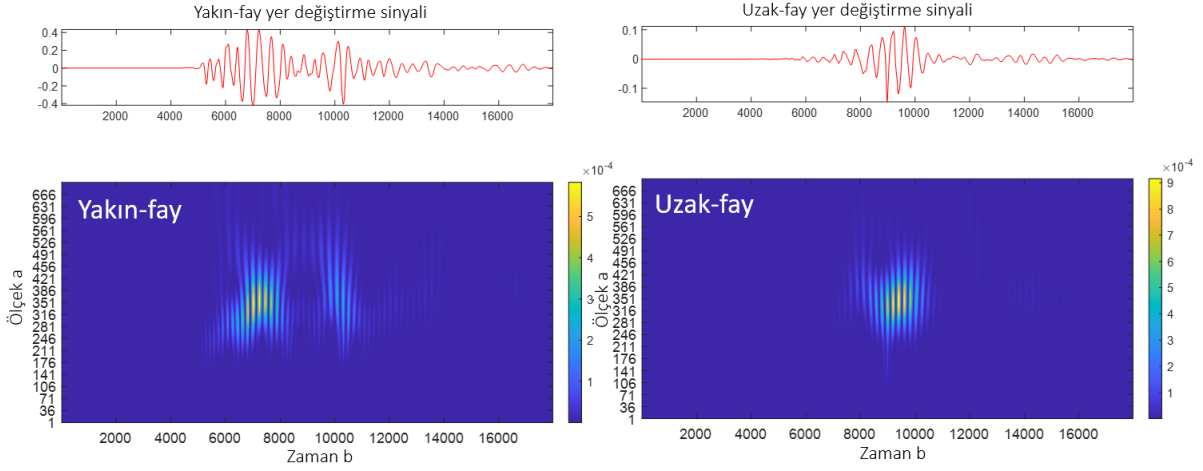
3. Bulgular

Ele alınan deprem yükleri altında yapının en üst katındaki yer değiştirme tepkileri, Newmark- β nümerik integrasyon yöntemiyle zaman tanım alanında hesaplanmıştır. Şekil 6'de, 1999 Chi-Chi depreminin yakın ve uzak fay hareketi altındaki yapının yer değiştirme tepkileri görülmektedir. Yakın fay depremindeki en yüksek yer değiştirme, uzak faydaki yaklaşık 5 katıdır. Yer değiştirme tepkilerinin zaman grafikleri incelendiğinde, tepki değerlerinin hangi zaman aralıklarında meydana geldiği görülebilmektedir. Ancak sinyalin içerdiği frekans ile ilgili herhangi bir bilgi elde etmemiz mümkün değildir.



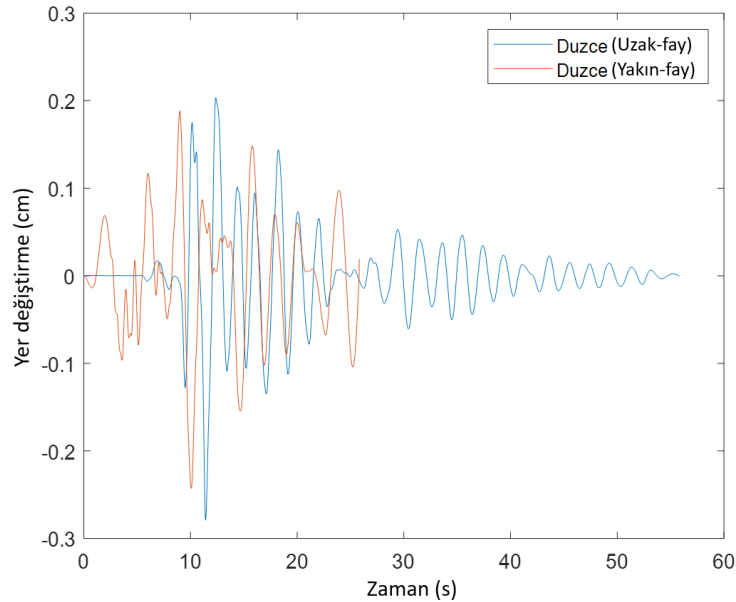
Şekil 6. Uzak ve yakın fay 1999 Chi-Chi depremi altında yer değiştirme tepkileri.

Bu sinyallere sürekli dalgacık dönüşümü uygulandığında Şekil 7'deki grafikler elde edilmiştir. Ölçek parametresi, her üç depremdeki dalganmaları görebilmek adına 1:1:700 olarak belirlenmiştir. Yakın fay ve uzak fay dalgacık dönüşümleri incelendiğinde, yakın fay etkisindeki sinyal ile uzak fay etkisindeki sinyalin aynı ölçek (aynı frekans) değerlerinde oluştuğu görülmektedir. Ancak bahsedilen frekansa sahip sinyaller yakın fay depremi etkisinde 30. s ile 55. s'ler arasında oluşurken, uzak fay etkisinde iken 45. s civarında gözlenmektedir (açık mavi dalgalar). Buradan yola çıkarak yakın-fay depremi etkisi altında, yer değiştirme sinyalinin daha geniş bir zaman aralığında uzak-fay ile aynı frekans içeriğine sahip olduğu söylenebilmektedir. Dalgacık dönüşümü grafiklerinde zaman eksenini (b), yer değiştirme-zaman grafiklerindeki zaman eksenini ile aynı olup, Chi-Chi deprem ivme verisinin 0.005 s aralıklarla kaydedildiği göz önünde tutularak hesaplanmıştır.

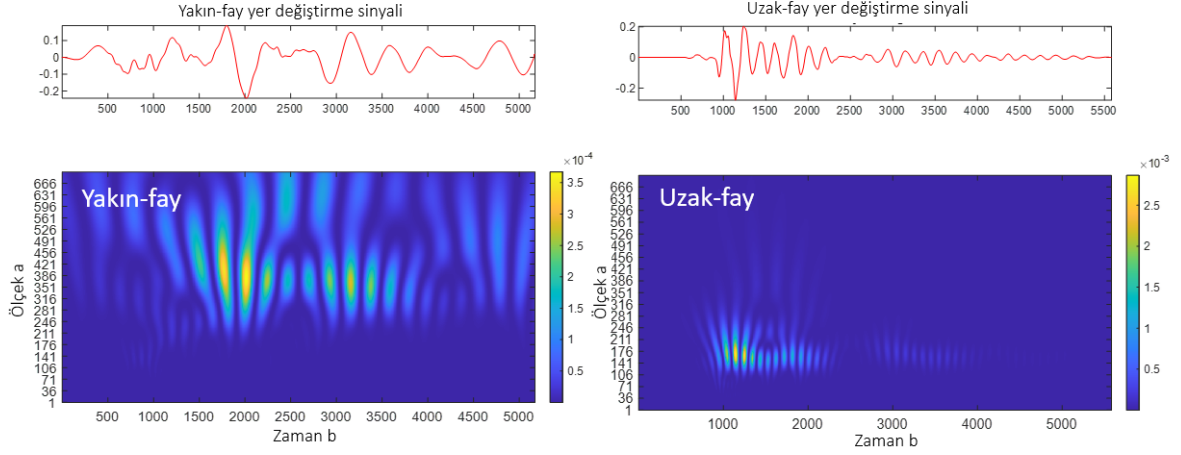


Şekil 7. Yakın ve uzak fay Chi-chi depremi altında yer değiştirme sinyallerinin dalgacık dönüşümü.

Şekil 8’de, Düzce depreminin yakın ve uzak fay hareketi altındaki yapının yer değiştirme tepkileri görülmektedir. Zaman tanım alanındaki sinyallerde büyük farklılıklar gözlenmemiştir ve aslında bu durum çalışmanın amacını daha net bir şekilde ortaya koymaktadır. Şöyle ki, Şekil 9’de görüldüğü üzere, sürekli dalgacık dönüşümü yardımı ile yakın fay altındaki sinyallerinin frekans içeriklerinin, uzak fay altındaki sinyallerin frekans içeriklerinden çok farklı olduğu tespit edilmiştir. Dalgacık dönüşümü grafiklerinde zaman eksenini (b), Düzce deprem ivme verisinin 0.01 s aralıklarla kaydedildiği göz önünde tutularak hesaplanmış olup, yakın fay altındaki yer değiştirme tepkilerinde, yüksek ölçeğe karşılık gelen düşük frekans içeriklerine, 18. s ile 32. s arasında rastlanılmaktadır. Uzak fay etkisindeki tepkilerde ise düşük ölçek değerleri yani yüksek frekans içerikleri 12 s civarında gözlenmiştir. Yakın-fay etkisinde geniş zaman aralığında daha düşük frekans içerikleri gözlenmiş olup, uzak-fay etkisinde nispeten daha geniş zaman aralığında daha yüksek frekans içerikleri tespit edilmiştir.

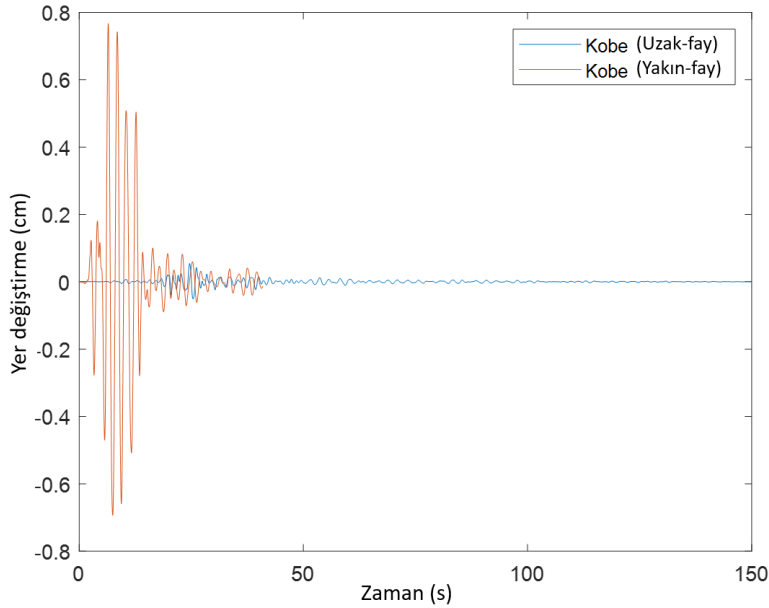


Şekil 8. Uzak ve yakın fay Düzce depremi altında yer değiştirme grafikleri.

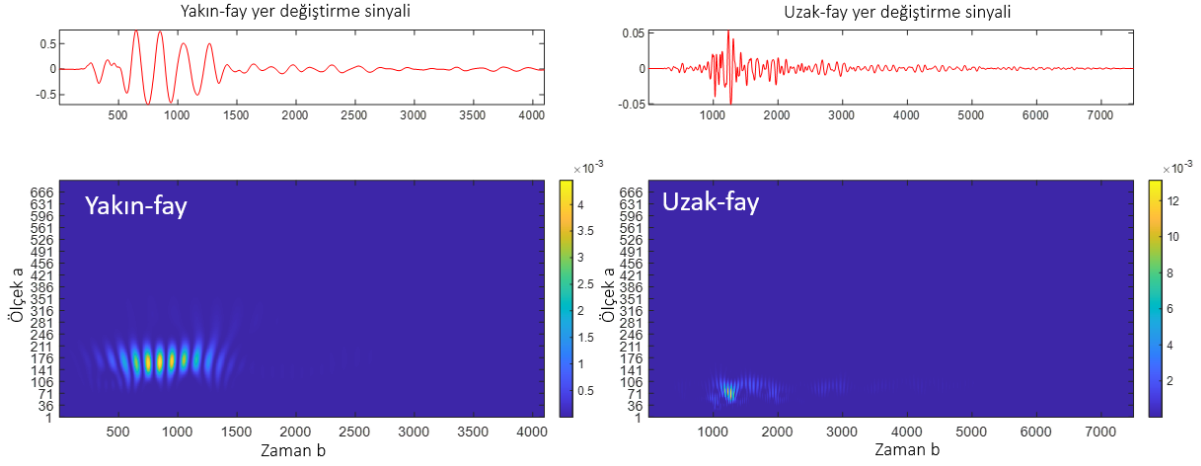


Şekil 9. Yakın ve uzak fay Düzce depremi altında yer değiştirme sinyallerinin dalgacık dönüşümü.

Şekil 10'da ise Kobe depreminin yakın ve uzak fay hareketleri altındaki yapının yer değiştirme tepkileri verilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafiğinden uzak fay tepkilerinin, yakın faya kıyasla oldukça düşük olduğu görülmektedir. Dalgacık dönüşümü grafikleri de Şekil 11 ile verilmiştir. Her iki durum için yüksek frekans içerikleri gözlenmiş olup, yakın fay durumunda 5. ile 13. s arasında devam ederken, uzak fay durumunda 12. s'de gözlenmiştir. Yakın-fay etkisi altında uzun süren yüksek frekans içerikleri gözlenmiştir. Kobe deprem ivme verisinin 0.01 s aralıklarla kaydedildiği göz önünde tutularak hesaplanmıştır.



Şekil 10. Uzak ve yakın fay Kobe depremi altında yer değiştirme grafikleri.



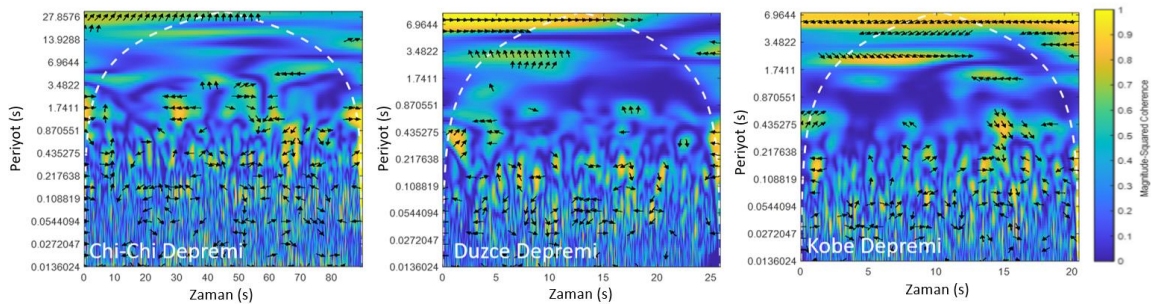
Şekil 11. Yakın ve uzak fay Kobe depremi altında yer değiştirme sinyallerinin dalgacık dönüşümü.

Çalışmada sürekli dalgacık dönüşümüne ek olarak, dalgacık uyumu yöntemi ile uzak ve yakın fay etkileri altındaki yer değiştirme sinyallerinin benzerlikleri elde edilmiş ve Şekil 12’de periyot-zaman düzleminde dalgacık uyumu grafikleri ile verilmiştir. Grafiklerde, varsayılan renklendirmeye göre sarı renkler benzerlik oranının yüksek olduğunu, mavi renkler ise benzerlik oranının düşük olduğunu ifade etmektedir. Uyum katsayıları, dalgacık dönüşüm katsayıları arasında hesaplanmakta olup (Matlab, 2020),

$$WCoh = \frac{|S(C_x^*(a, b)C_y(a, b))|^2}{S(|C_x(a, b)|^2) \cdot S(|C_y(a, b)|^2)} \quad (6)$$

formülü ile elde edilir. Sinyalleri tanımlayan x ve y zaman serilerinin a ve b ölçek ve konumlarındaki dalgacık dönüşüm katsayıları C_x ve C_y olup, $*$ karmaşık eşleniktir. S , zaman ve ölçek parametrelerini düzleştirme operatörüdür. Periyot-zaman düzleminde uyum katsayıları işaretlenir. Kesikli çizgiyle belirtilen koni içinde kalan alan da frekans tanımlamasının yapıldığı bölgeyi belirtmektedir. Dalgacık uyumu grafiklerinde oklar çeşitli anlamları ifade etmekte olup; 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.

Yer değiştirme-zaman grafikleri ile ilgili olarak, farklı parametrelerden etkilenmiş tepkilerin yalnızca sayısal değerlerinin büyüklüğü bakımından yorum yapılabilmektedir. Ancak bilinmelidir ki, yapı sistemlerinin davranışları frekans içeriği bakımından da önem arz etmektedir. Dalgacık uyumu yöntemiyle sinyaller arasındaki korelasyon ölçülmekte olduğundan, farklı parametrelerden etkilenmiş yapıların tepkilerindeki farklılıklar da açıkça gözlemlenebilmektedir. Şekil 12’de görüldüğü üzere mavi renk ağırlıklı olup, bu durum yer değiştirme sinyalleri arasında dalgacık uyum katsayılarının düşük olduğu, diğer bir deyişle benzerliğin olmadığı anlamına gelmektedir. Zaman tanım alanında benzer görünen Düzce depremi altındaki tepkilerin, frekans içerikleri bakımından birbirlerinden çok farklı oldukları dalgacık uyumu grafiklerinde açıkça gözlenmiştir.



Şekil 12. Ele alınan depremler altında elde edilmiş dalgacık uyumu grafikleri.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada, sismik taban izolatörlü bir yapının yakın ve uzak fay depremleri etkisi altındaki davranışları sürekli dalgacık dönüşümü yöntemiyle incelenmiştir. Dalgacık fonksiyonu olarak Morlet dalgacığı kullanılmıştır. Böylece zaman tanım alanında elde edilen tepkilerin frekans içerikleri, frekans-zaman düzleminde incelenmiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Zaman serilerinden elde edilemeyen frekans bilgileri zaman bilgileri ile birlikte, dalgacık dönüşümü yöntemi ile elde edilebilmektedir. Sismik taban izolatörlü yapıların, yüksek darbe ve hızla sahip olan yakın fay etkilerine maruz kalmaları sonucu, uzun süreli frekans içeriklerine sahip oldukları görülmektedir. Ayrıca çalışmanın konusunu oluşturan sismik taban izolatörlü yapıların düşük frekanslı davranışları, yakın fay depremleri gibi yer hareketleri esnasında sismik tepkilerin büyümesi açısından oldukça tehlikeli hale gelmektedir. Sunulan çalışmadaki dalgacık dönüşüm grafiklerinde görülmektedir ki, yakın fay depremlerinde düşük frekans içeriklerinde ve bu frekansların etkili olduğu zaman aralığında artış meydana gelmektedir. Bu durumda sismik tepkilerin artmasına olmaktadır. Bu veriler ışığında, sismik izolatör cihazlarının rijitlik, sönüm katsayısı gibi parametreleri optimizasyon çalışması ile belirlenebilir ve yakın-fay bölgelerinde tasarımı mümkün kılınabilir.

Çalışmada ek olarak, dalgacık uyumu yöntemi kullanılmıştır. Bir tür regresyon analizi olan bu yöntemde, dalgacık dönüşüm katsayıları arasındaki benzerlik hesaplanmakta ve periyot-zaman düzleminde uyum katsayıları işaretlenmektedir. Böylece, çalışmada Düzce depremi sismik tepkilerinde görüldüğü gibi zaman serilerinde benzer görünen davranışların, dalgacık uyumu yöntemiyle frekans içeriklerindeki farklılıklar tespit edilmiştir. Bu yöntem ile yapıların davranışları arasındaki korelasyon ortaya konularak, farklı sismik tepkilere sahip olmasına neden olan parametreler gözlemlenebilmektedir.

Kaynakça

- Cohen, A., & Kovacevic, J. (1996). Wavelets: The mathematical background. *Proceedings of the IEEE*, 84(4), 514-522. doi: 10.1109/5.488697
- Diaferio, M., & Foti, D. (2016). Mechanical behavior of buildings subjected to impulsive motions. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 14(3), 849-862. doi: 10.1007/s10518-015-9848-5
- Jangid, R. S., & Kelly, J. M. (2001). Base isolation for near-fault motions. *Earthquake engineering & Structural Dynamics*, 30(5), 691-707. doi: 10.1002/eqe.31
- Kandemir-Mazanoglu, E. C., & Mazanoglu, K. (2017). An optimization study for viscous dampers between adjacent buildings. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 89, 88-96. doi:10.1016/j.ymssp.2016.06.001
- Liu, T., Luan, Y., & Zhong, W. (2012). Earthquake responses of clusters of building structures caused by a near-field thrust fault. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 42, 56-70. doi: 10.1016/j.soildyn.2012.06.002
- Makris, N. (2019). Seismic isolation: Early history. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 48(2), 269-283. doi: 10.1002/eqe.3124
- Mazza, F. (2018). Seismic demand of base-isolated irregular structures subjected to pulse-type earthquakes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 108, 111-129. doi: 10.1016/j.soildyn.2017.11.030
- Mazza, F., Mazza, M., & Vulcano, A. (2018). Base-isolation systems for the seismic retrofitting of re framed buildings with soft-storey subjected to near-fault earthquakes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 109, 209-221. doi: 10.1016/j.soildyn.2018.02.025
- Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G., & Poggi, J. M. (2004). *Wavelet Toolbox*, The MathWorks.
- Nazarnezhad, T., & Naderpour, H. (2021). Probabilistic damage evaluation of base-isolated reinforced concrete structures under near-fault pulse-like bidirectional seismic excitations. *Structures*, 32, 1156-1170. doi: 10.1016/j.istruc.2021.02.025
- PEER Ground Motion Database. (2022). PEER Ground Motion Database, <https://ngawest2.berkeley.edu/> Erişim tarihi: 01.02.2022.
- Pelekis, I., Madabhushi, G. S., & DeJong, M. J. (2018). Seismic performance of buildings with structural and foundation rocking in centrifuge testing. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 47(12), 2390-2409. doi: 10.1002/eqe.3089

- Pietrosanti, D., De Angelis, M., & Giaralis, A. (2021). Experimental seismic performance assessment and numerical modelling of nonlinear inerter vibration absorber (IVA)-equipped base isolated structures tested on shaking table. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 50(10), 2732-2753. doi: 10.1002/eqe.3469
- Providakis, C. P. (2008). Effect of LRB isolators and supplemental viscous dampers on seismic isolated buildings under near-fault excitations. *Engineering structures*, 30(5), 1187-1198. doi: 10.1016/j.engstruct.2007.07.020
- Saha, A., & Mishra, S. K. (2021). Amplification of seismic demands in inter-storey-isolated buildings subjected to near fault pulse type ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 147, 106771. doi: 10.1016/j.soildyn.2021.106771
- Sehhati, R., Rodriguez-Marek, A., ElGawady, M., & Cofer, W.F. (2011). Effects of near-fault ground motions and equivalent pulses on multi-story structures. *Engineering Structures*, 33, 767-779. doi: 10.1016/j.engstruct.2010.11.032
- Shama, A. (2012, Mart). *Spectrum Compatible Earthquake Ground Motions by Morlet Wavelet*. Structural Congress 2012, Chicago, Illinois, United States.
- The Mathworks Inc., MATLAB: The language of technical computing, Natick, MA, USA, <http://www.mathworks.com/>
- Zhao, L., Du, Y., Wang, H., & Li, W. (2015). Study on nonlinear detection and identification for rubber isolation bearing. *Vibroengineering Procedia*, 5, 399-404.
- Zhao, H. & Zhang, Y. (2022). CWT-based method for extracting seismic velocity dispersion. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 19, 1-5. doi: 10.1109/LGRS.2021.3056610