

Evrişimsel Ağ Kullanımı için Deprem İvmeölçer Kayıtlarının Gösterimi

Representing Earthquake Accelerogram Records for CNN Utilization

Melis Cikis
Dept. of Electrical and Electronics Eng.
Çankaya University
Ankara, Turkey
c1969010@student.cankaya.edu.tr

Salih Tileyoglu
Dept. of Civil Eng.
Kadir Has University
Istanbul, Turkey
salih.tileylioglu@khas.edu.tr

Erdem Akagündüz
Dept. of Electrical and Electronics Eng.
Çankaya University
Ankara, Turkey
akagunduz@cankaya.edu.tr

Özetçe—Bu çalışmada deprem ivmeölçer kayıtlarının spektrogram tabanlı bir sahte renk gösterimi önerilmiş ve bu gösterimin, hem insan incelemesi ve hem de evrişimsel ağlarda uygulanması noktasında kullanılabilirliği tartışılmıştır. Kamuya açık kırk iki binde fazla deprem kaydı kullanılarak, bir merkez üssü kümelemesi yapılmış, ve benzer kümelerdeki depremlerin benzer gösterimler yarattığı gözlenmiştir. Önerilen gösterimin planlanan amacı, bir depremin merkez üssünü tek istasyonda kaydedilmiş ivmeölçer kayıtlarının evrişimsel ağlarda işlenmesiyle tahminini sağlamaktır.

Anahtar Kelimeler—Deprem İvmeölçer Kayıtlar, Merkez Üssü Kümeleme, Evrişimsel Ağlar

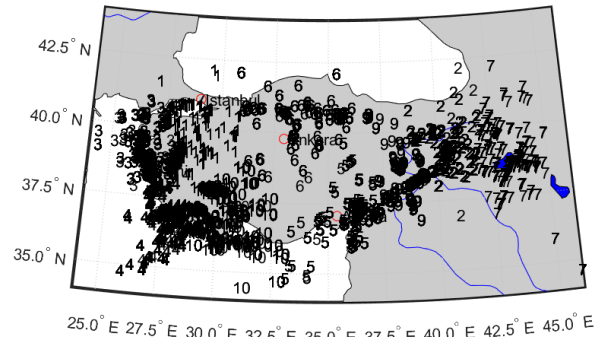
Abstract—In this study, a spectrogram based false color representation of earthquake accelerograms is proposed and its usability for both human investigation and its application in convolutional networks are discussed. By using more than forty two thousand earthquake records open to the public, an epicenter clustering algorithm was employed, and it was observed that earthquakes in similar clusters produce similar representations. The prospective purpose of the proposed representation is to estimate the epicenter of an earthquake by processing the accelerograms recorded in a single station using convolutional networks.

Keywords—Earthquake Accelograms, Epicenter Clustering, Convolutinal Neural Networks

I. GİRİŞ

Depremler, diğer doğal afetler gibi, yapılı çevre ve dolayısıyla da insanlar üzerinde büyük bir tehlike oluşturmaktadır. Bu nedenle, yapıların deprem kaynaklı sarsıntılara ve depremden doğabilecek diğer tehlikelere karşı dayanıklı tasarlanması gerekmektedir. Bunun sağlanabilmesi için olası depremin yapının inşa edileceği sahada ne kadar etkili olacağını hesaplamak gerekir. Geçmiş depremlerden elde edilen deprem kayıtları ve bu depremlerin merkez üssü

978-1-7281-7206-4/20/\$31.00 ©2020 IEEE



Şekil 1: 2015-2018 yılları arasında kaydedilmiş Türkiye deprem olayları merkez üslarına göre, k-medoids yöntemi kullanılarak 10 grupta kümelennmiş ve harita üzerinden gösterilmiştir.

gibi çok değerli bilgiler içermektedir ve sahanın deprem tehlikesi analizine önemli katkılar sağlamaktadır.

Depremler fayların kırılması sonucunda meydana gelir ve fayın ilk kırıldığı noktaya odak veya içmerkez adı verilir. Odak noktası yer yüzeyinin altındadır ve bu noktanın yer yüzeyindeki izdüşümüne dışmerkez veya depremin merkez üssü adı verilir. Depremlerin yol açtığı kuvvetli yer hareketleri bir istasyonda konumlanmış akselerograflar tarafından birbirine dik üç ivmeölçer cihazı vasıtasıyla ölçülmektedir. Depremin başlangıç anından, bitişine kadar farklı kanallarda kaydedilen bu veriler deprem ivmeölçer kayıtları (İng. *Accelerograms*) olarak saklanır. Deprem kayıtları depremin kaydedilen konumdaki en yüksek yer hareketi, frekans içeriği ve hareketin süresi gibi çok değerli parametreler içerir. Deprem istasyon-

ları ve kayıtları depremlerin merkez üssünün belirlenmesinde de büyük rol oynar. Depremlerin merkez üssünün belirlenmesinde genelde en az üç istasyondan elde edilen veriler kullanılmaktadır.

Deprem sinyali, bir başka deyişle ivmeölçer kayıtları matematiksel olarak bir ataletsel sensörden kaydedilen zaman serileridir. Ses, titreşim gibi zaman serilerinin görsellenmesi ve insan incelemesine uygun hale gelmesi için kullanılan yöntemler sensörün doğasına göre farklılık gösterebilir. Bu verilerin üzerinde makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır [1], [2], [3], [4].

Biz bu çalışmada, Türkiye’de farklı yıllarda kaydedilmiş deprem olaylarına ait, merkez üssüne göre kümelediğimiz ivmeölçer kayıtlarını, spektrogram tabanlı üç kanallı sahte renk resimlerine çevirerek, insan incelemesi ve evrimsel ağların kullanımına uygun hale getirdik. Bu şekilde, RGB resmi olarak depremlerin gösterilmesinin iki faydası oldu. Birincisi, standard CNN yapılarına uygun hale geldiler. İkincisi ise, bilgisayarla görü alanında kullanılan evrimsel ağ inceleme yöntemlerinin, deprem verilerine de uygulanabilirliği sağlandı.

Bildirinin geri kalanında, bir sonraki bölüm kullanılan verisetini tanıtmakta, Bölüm 3 sözü geçen merkez üssü kümeleme çalışmasını özetlemekte, Bölüm 4 önerilen gösterimi anlatmakta, Bölüm 5 evrimsel ağlarda yürütülen ön deneylere dair ayrıntılar vermekte ve son bölüm çalışmayı vargılarımızı sunarak sonlandırmaktadır.

II. DEPREM İVMEÖLÇER KAYITLARI

Bir deprem istasyonunda üç eksenli ivmeölçer vasıtasıyla, ikisi yatayda biri düşeyde olmak üzere birbirine dik üç yöndeki hareketi ölçer ve depremin başından bitişine kadar bu hareketler kaydedilir.

Çalışmamızda kullanılan ve Türkiye sınırlarında kaydedilmiş deprem ivmeölçer verilerine, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum (AFAD) Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı websitesinden¹ kamuoyuna açık şekilde ulaşılabilir. Bu kayıtlarda herhangi bir deprem olayına ait, yer, zaman, merkez üssü konumu, derinlik, büyüklük, depremi kaydeden istasyon numarası, o istasyonun konumu, ve her yöndeki kaydedilen en yüksek ivme kayıtları da olmak üzere, deprem oluşumuna dair gerekli bütün bilgilere ulaşmak mümkündür.

Tablo 1’de AFAD websitesinden elde edilen örnek bir depreme ait kayıtlar ve istasyona ait bilgiler verilmiştir. Her kayıta, örneklenmiş üç kanal ivmeölçer verisinin boyutu, söz konusu deprem olayının başlangıç ve bitiş anları arasındaki süreye bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bir sonraki başlıkta, kullanılan veriseti hakkında daha detaylı bilgiler ve analizler verilmektedir.

A. Veriseti

AFAD’ın kamuoyuna açık olarak yayınladığı verisetinde, 1990-2018 yılları arasında gerçekleşmiş 42858 adet, metin formatında kayıt bulunmaktadır. Bu kayıtların 28365 adeti

¹<https://deprem.afad.gov.tr/>

Yer	BURDUR KOZLUCA MUHTARLIK		
Tarih	2015/07/08 22:14:00		
Merkez Üssü Konumu	37.56450N-29.53950E		
Deprem Derinliği (km)	27.88		
Deprem Büyüklüğü	4.2		
İstasyon Numarası	1507		
İstasyon Konumu	37.49420N-30.13360E		
İstasyon Yükseltisi (m)	1119		
Kayıt Türü	GeoSig gmsplus		
Kayıt Seri Numarası	101903		
Kayıt Zamanı	08/07/2015 22:13:59.000000		
Veri Sayısı	9116		
Örnekleme Aralığı (sec)	0.01		
Tepe Yer İvmesi (gal)	(N-S) 1.033011	(E-W) 0.805879	(U-D) 0.67542
İvmeölçer Kayıtları	(N-S) 0.002859	(E-W) 0.001819	(U-D) 0.000520

TABLO I: Örnek Deprem Kaydı

2015 yılından sonrasına aittir. Bu çalışmada, hem tüm kayıtların çoğunluğu olmaları, hem de daha yüksek kalitede kaydedilmeleri sebebiyle, 2015 yılından sonraki kayıtlar kullanılmıştır. 2015-2018 yılları arasındaki istasyon ve merkez üssü konumlarının kümelenmiş şekli Şekil 1’deki haritada gösterilmektedir.

III. MERKEZ ÜSSÜ KÜMELEME

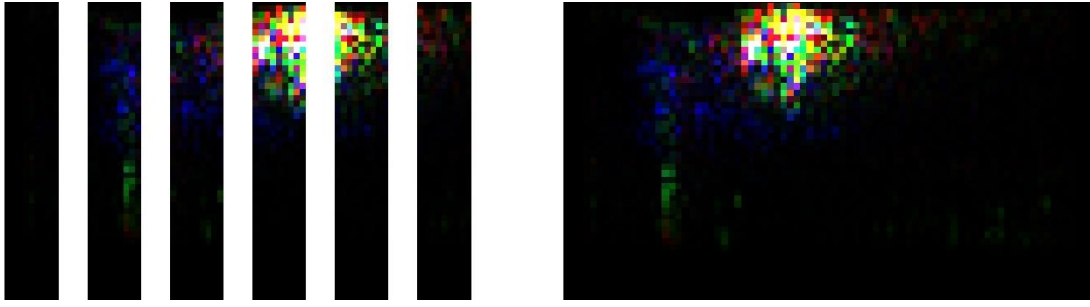
Bu çalışmamızdaki temel amacımız spektrogram tabanlı, evrimsel ağlarda kullanılmaya uygun bir deprem sinyali gösterimi önermektir. Önerilen bu gösterimin, bu çalışmanın devamında, tek istasyondan elde edilen ivmeölçer kayıtları ile merkez üssü tahmininde kullanılması planlanmaktadır. Dolayısıyla, ilk olarak merkez üssü birbirine yakın depremler k-medoids [5] yöntemi ile kümelenmiştir.

İki depremin birbirine yakın mesafede olması, her zaman jeolojik anlamda benzer olduklarını göstermez. Ancak bir istasyonun bir deprem olayı sonucu kaydettiği ivmeölçer verileri, şüphesiz depremin konumuyla fazlasıyla ilişkilidir. Dolayısıyla bu istatistikî kümelemede amaç, önce inceleme yoluyla merkez üssü benzer depremlerin, benzer sinyaller yarattığını gözlemlemek, devamında da bu gösterimin evrimsel ağlar yoluyla, tek istasyondan merkez üssü tahmini yapmasını sağlamaktır.

Kümeleme amacıyla, 2015-2018 yılları arasında gerçekleşen depremlerin merkez üslerinin coğrafi konumları kullanılarak 28365×28365 ’lik bir coğrafi mesafe matrisi yaratılmıştır. Bu mesafe matrisi k-medoids algoritmasına beslenip, sözkonusu depremler 10 farklı kümeye ayrılmıştır. Bu kümeler (rakamlar olarak) Şekil 1’de görülmektedir.

Bir sonraki bölümde bu çalışmada önerilen deprem sinyali gösterim yöntemi anlatılmaktadır. Bu bölümde örnek olarak verilen şekiller, birbirine benzer konumlarda, dolayısıyla, kümeleme sonucunda aynı kümeye düşmüş deprem olaylarına aittir.

Bu kümeleme, bildiride önereceğimiz deprem gösterim yönteminin, merkez üslerine bağlı benzerlik elde ettiğimizi



Şekil 2: Önerilen spektrogram tabanlı sahte renk gösteriminin 5 saniye boyutunda parçalı (solda), ve birleşmiş (sağda) resimleri görülmektedir.

göstermek için paylaşılmıştır. Bu benzerlik ilerleyen bölümlerde ayrıntılı şekilde incelenecektir.

IV. DEPREM SINYALI GÖSTERİMİ

İvmeölçer kayıtları çok boyutlu bir zaman serisi sinyalidir. Dolayısıyla böyle bir verinin gösterimi için literatürdeki [6] zaman sinyali gösterimlerine başvurmak yeterlidir. Bizim bu çalışmada amacımız, 3 kanal ivmeölçer verilerini, iki boyutlu bir zaman/frekans gösterimine taşımak, bu gösterimi görselleştirmektir.

Bir sinyali, örneğin sahte renk (İng. *false color*) gibi bir yöntemle görselleştirmenin insan incelemesinden başka bir faydası olmayacağı düşünülebilir. Zira “sinyal” olarak adlandırdığımız veri, temelde bir öğrenme sistemi için sadece bir girdiden ibarettir. Ancak görselleştirilebilen sinyalin hem insan incelemesinde, hem de bazı derin öğrenme yöntemleri için uygulanabilen öznel analizinde faydası olabileceği görülmüştür [7].

Bu çalışmada önerilen gösterim, çok kanallı ivme ölçer verisinin, spektrogramlar [8] yoluyla 2B hale getirilmesi, farklı kanalların sahte renk ile ifade edilmesi ve sinyalin farklı zaman aralıklarındaki parçaların sabit 2 boyutlu, sahte resim parçaları olarak gösterilmesi şeklinde özetlenebilir. Bu gösterim deprem sinyalinin insan gözüyle incelenmesinde kolaylık sağladığı gibi, sabit boyutta girdi alan basit evrimsel ağlara beslenmesini mümkün kılmaktadır.

Farklı depremlerden elde edilen kayıtlar farklı sürelerle sahiptir. Veriler üzerinde yaptığımız analizde, 2015-2018 yılları arasında gerçekleşen depremlerin süreleri incelendiğinde, 5 saniyeden 300 saniyeye kadar geniş bir aralıkta dağıldıkları gözlenmiştir.

Bu çalışmada, deprem sinyali spektrograma çevirilirken, her deprem sinyali 5'er saniyelik parçalara bölünmüştür. Böylelikle, her spektrogram 5 saniye uzunluğunda ama her deprem kendi ivmeölçer verisinin uzunluğuna göre farklı sayıda 5'er saniye uzunluğundaki spektrogramlardan oluşmuştur. Kısa-zamanlı Fourier dönüşümü uygulanırken 1'er saniyelik pencere boyutu ve %50 örtüşme değerleri parametre olarak kullanılmıştır. Bu yöntem, her depremi eşit uzunlukta parçalara bölüp ayrı ayrı Fourier dönüşümü uygular.

2015 yılından sonra elde edilen verilerin hepsinin örnekleme aralığı 0.01 saniye olduğu için, 1 saniyelik pencereler

100 adet örnek sayısı taşırlar. Dolayısıyla spektrogramların örnekleylebildiği en yüksek frekans değeri 50Hz'lik titreşimlere karşılık gelmiştir.

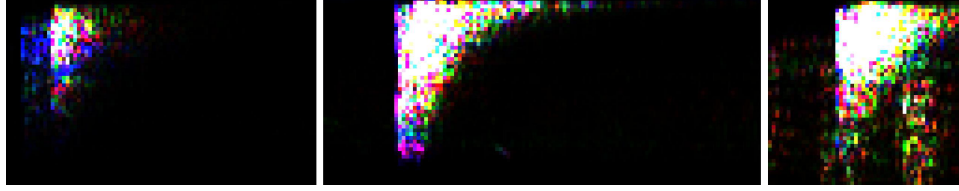
Şekil 2'de önerilen deprem sinyali gösterimi verilmektedir. İlk olarak bu deprem olayı için, dik konumlanmış üç ivmeölçerden alınan kayıtların ayrı ayrı, yukarıdaki parametreler kullanılarak spektrogramları oluşturulmuştur. Daha sonra bu iki boyutlu üç spektrogram kanalı (sırasıyla N-S, E-W, U-D), RGB bir resmin 3 renk kanalına yerleştirilmiş ve Şekil 2'teki gösterim elde edilmiştir. Bu şekildeki deprem olayı 30 saniyeden uzun sürdüğü için, 5 saniyelik 6 adet parçası bulunmaktadır. Bu parçalar birleştirildiğinde, bütün depreme ait sinyal gösterimi elde edilmiş olur.

Şekil 2'deki gösterim, insan incelemesi için kolaylık sağlamakta ve çok değerli ipuçları taşımaktadır. Örneğin ilk göze çarpan, depremin ilk saniyelerinde yer yüzeyine dik açıda (düşey eksen, mavi kanal) 10-20 Hz arası bir hareketlenme olduğudur. Daha sonra depremin bütün yönlerde şiddetlendiğidir. Aslında sahte renk ile yapılan bu anlamlandırma, depremin istasyon konumuna bağlı yönü hakkında bilgi vermekte, dolayısıyla bir makine öğrenmesi sistemi için uygun anlamsal öznelilikleri içermektedir. Bir sonraki bölümde bu inceleme, merkez üssü benzer depremler için yapılmış, devamında bu gösterimin evrimsel ağlarda eğitilebilmesi için uygunluğu tartışılmıştır.

A. Merkez Üssüne Bağlı Spektrogram İncelemesi

Bu bölümde, çalışmamızda önerilen gösterime ışık tutması amacıyla, Şekil 3'te farklı zamanlarda kaydedilmiş, merkez üsleri birbirine çok yakın üç farklı depremin sahte renk spektrogram gösterimleri verilmektedir.

Bu gösterimdeki renkler ve oluşan şekil, deprem olayına sebep olan fayların doğası ve ivmeölçere ulaşana kadar sinyalin aldığı yolda gerçekleşen dönüşümler ile gerçekleşir. Bu örneklerde, üç gösterimin de aynı noktalarda yoğunlaştığı, renklerin ortak olduğu gözlemlenmektedir. Bu üç deprem kaydında aynı olan tek özellik merkez üssü konumlarıdır. Böylece, deprem sinyalini merkez üssü konumuyla ilişkisi açıkça gözlemlenmiştir. Bu ilişkinin insan incelemesinde bir benzerlik olarak ortaya çıkıyor olması, bu problemin bir evrimsel sinir ağı ile eğitilebileceğine dair ipuçları vermektedir.



Şekil 3: Aynı Merkez Üssüne Ait (soldan sağa) 2015, 2016 ve 2017 yıllarında kaydedilmiş farklı depremlere ait gösterimler.

V. EVRİŞİMSEL AĞ ÖN SONUÇLARI

Verisetimizdeki 40 binden fazla deprem olayından elde edilen, 5 saniyelik yüzbinlerce sahte renk spektrogramı kullanılarak bir evrişimsel ağ eğitmek, ve eğitilen bu ağ ile herhangi bir deprem olayına ait, merkez üssü, derinlik gibi bir çok veriyi tahmin etmek mümkündür. Bu dev veriseti üzerinde derin öğrenme çalışmalarımız devam etmektedir. Bu bölümde, söz konusu deneylere dair, kısıtlı bir veri tabanında yapılan ön çalışmaların sonuçları sergilenmektedir.

İlk olarak, Tablo II’de gösterilen yönlendirilmiş çizge yapısına sahip ağ üzerinde deneyler yürütülmüştür. Bu ağ yapısına iki farklı girdi, iki farklı katmandan beslenmiştir. İlk katmanda herhangi bir depreme ait en yüksek enerjiye sahip spektrogram verisi beslenirken, ilk tam bağlantılı katmanda ise istasyon konumu ve yüksekliği beslenmektedir. Çıktı olarak deprem olayına ait merkez üssü konumu ve deprem derinliği bir regresyon katmanı ile öğrenilmiştir.

Deneylerde 2015 yılına ait, her farklı k-medoid kümesi için ayrı ayrı ağlar eğitilmiş ve ön deneylerde her kümeden rastgele seçilen 1000 deprem olayı kullanılmıştır. Her deneyde seçilen veriseti alt kümesinin %70’i öğrenme, %15’i hiperparametre optimizasyonu (validasyon/doğrulama), %15’u ise test amacıyla ayrılmıştır. Yapılan çapraz-doğrulama deneyleri sonucunda merkez üssü konumunun ortalama 80km’ye yakın hata ile, derinliğin ise ortalama 800m civarı hata ile hesaplanabildiği görülmüştür. Bir kümenin Şekil 1’de görüldüğü gibi 400km’yi aşan yarıçaplarda alanlara yayıldığı ve veristesindeki depremlerin 10km’leri aşan derinliklere sahip oldukları göz önüne alındığında bu ön sonuçlar, çalışmamızın geleceği için ümit verici olarak değerlendirilebilir. Bu sonuçların öğrenme kümesi büyüdükçe ve mimari geliştirildikçe kayda değer şekilde gelişmesi beklenmektedir. Derin öğrenme çalışmaları, bildirinin yazıldığı tarihte halen devam etmektedir.

VI. VARGILAR

Bu çalışmada deprem ivmeölçer kayıtlarına dair spektrogram tabanlı bir sahte renk gösterim çalışılmıştır. Önerilen gösterim insan incelemesine kolaylık sağladığı gibi, evrişimsel ağlarda deprem sinyali işlemeye de uygun tasarlanmıştır.

Birbirine yakın merkez üslerinde gerçekleşen ve birbirine yakın istasyonlarda kaydedilen deprem olaylarına ait ivmeölçer verilerinin, bu gösterimde benzer iki boyutlu sahte renk resimleri yarattığı görülmüştür. Bu da aynı kümedeki (bir başka deyişle, birbirine yakın merkez üslerine ait) deprem olaylarının evrişimsel ağa beslenmesi durumunda bu ilişkinin öğrenilebileceğine dair çok kuvvetli bir ipucudur.

Girdi 1: spektrogram (51×9×3)	
Evriş. Katman (7×3)×256 + ReLU	
Evriş. Katman (7×3)×256 + ReLU	
max-pool (3×1 - s:2×1)	
Evriş. Katman (7×3)×256 + ReLU	
Evriş. Katman (4×3 s:3×1)×256 + ReLU	
Tam-bağ. Katman (1024) + ReLU + Eleme(Drop-50%)	Girdi 2: İstas. Konumu & Yükseltisi (3)
Birleştirme (İng. <i>Concatanation.</i>) Katmanı (1024+3)	
Tam-Bağ. Katman (1024) + ReLU + Eleme(Drop-50%)	
Tam-Bağ. Katman (3)	
Çıktı: Regresyon Katmanı (Deprem Merkez Üssü ve Derinliği)	

TABLO II: Kısıtlı veri seti üzerinde yapılan ön deneylerde kullanılan evrişimsel ağ yapısı.

Çalışmamızda ek olarak evrişimsel sinir ağları kullanarak, bir depreme ait merkez üssünü, tek istasyon verisi kullanarak hesaplayabilen bir sistem üzerinde ön deneyler yapılmış, ve hipotezimizi doğrular sonuçlar gözlenmiştir.

Çalışmamızın devamında, bütün verisetini kapsayan derin öğrenme deneyleri yapmayı planlıyoruz. Normalde üç ya da daha çok farklı istasyondan elde edilen verilerle bulunan merkez üssünün konumu ve derinliğinin, önerdiğimiz gösterim yoluyla çok düşük hatalarla öğrenilmesini amaçlıyoruz. Ayrıca devirli (İng. *recurrent*) evrişimsel ağlar kullanarak, sabit spektrogramlar yerine, bütünsel deprem olayı ile çalışan mimariler üzerinde çalışmalarımız devam etmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] A. Alimoradi and J. Beck, “Machine-learning methods for earthquake ground motion analysis and simulation,” *Journal of Engineering Mechanics*, vol. 141, p. 04014147, 04 2015.
- [2] G. Housner and P. Jennings, “Generation of artificial earthquakes,” *Proc. ASCE*, vol. 90, pp. 113–150, 01 1964.
- [3] P. Jennings, G. Housner, and C.-N. Tsai, “Simulated earthquake motions for design purposes,” *Proc. of the Fourth World Conference on Earthquake Engineering*, pp. 145–160, 01 1969.
- [4] G. Saragoni and G. Hart, “Simulation of artificial earthquakes,” *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, vol. 2, pp. 249 – 267, 01 1973.
- [5] X. Jin and J. Han, *K-Medoids Clustering*, 01 2017, pp. 697–700.
- [6] P. Spanos, A. Giaralis, and N. Politis, “Time–frequency representation of earthquake accelerograms and inelastic structural response records using the adaptive chirplet decomposition and empirical mode decomposition,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 27, no. 7, pp. 675 – 689, 2007. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026772610600193X>
- [7] J. Yosinski, J. Clune, A. Nguyen, T. Fuchs, and H. Lipson, “Understanding neural networks through deep visualization,” in *Deep Learning Workshop, 31. International Conference on Machine Learning (ICML)*, 2015.
- [8] S. A. Fulop and K. Fitz, “Algorithms for computing the time-corrected instantaneous frequency (reassigned) spectrogram, with applications,” *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 119, no. 1, pp. 360–371, 2006. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1121/1.2133000>