

30 Ekim 2020 İzmir-Samos Tsunamisi Ölçümlerinin Sıkıştırılabilir Algılama Yöntemiyle Analizi

Ali Rıza ALAN^{1*}, Cihan BAYINDIR²

^{1,2} İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

*¹ alan21@itu.edu.tr, ² cbayindir@itu.edu.tr

(Geliş/Received: 20/03/2024;

Kabul/Accepted: 10/09/2024)

Öz: Diğer doğal afetler kadar sık meydana gelmeseler de tsunamiler kıyıya yakın ekosisteme çok büyük zararlar verebilir. 30 Ekim 2020'de saat 12:51 p.m. UTC'de (2:51 p.m. GMT+03:00) 6,9 Mw büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Depremin merkez üssü, Türkiye'nin İzmir ilinin yaklaşık 23 km güneyinde, Yunanistan'ın Samos adası açıklarında bulunmaktadır. Bu deprem 30 Ekim 2020'de kendisiyle aynı adı taşıyan İzmir-Samos (Ege) tsunamisine neden olmuştur. Bu araştırmada, gözlemsel verilere uygulanan etkili bir algılama tekniği olan Sıkıştırılabilir Algılama (CS) algoritması kullanılarak bu tsunaminin hidrodinamik zaman serilerinin verimli ölçümlerle geri çatılması incelenmiştir. Bu amaçla UNESCO veri portalının Kos Marina ve Bodrum istasyonlarından elde edilen tsunami zaman serisi kayıtlarından faydalanılmıştır. Tsunami su salınım seviyesi zaman serilerinin ve bu serilerin Fourier spektrumlarının CS algoritmasıyla etkili bir şekilde ölçülerek geri çatılmasının potansiyel uygulaması araştırılmıştır. CS kullanılarak su seviyesi salınımı, yatay ve dikey tsunami hızları, tsunami taşkın debisi zaman serileri gibi tsunami parametrelerinin başarıyla ölçülebileceği, analiz edilebileceği ve kayıt altına alınabileceği gösterilmiştir. Ayrıca gelecekteki potansiyel yönelimler, bulgularımızın kullanılabilirliği ve uygulanabilirliği de irdelenmiştir.

Anahtar kelimeler: 30 Ekim 2020 İzmir-Samos (Ege) tsunamisi, sıkıştırılabilir algılama, zaman serisi analizi.

Analysis of the 30 October 2020 İzmir-Samos Tsunami Measurements with Compressive Sensing Method

Abstract: Although they do not occur as frequently as other natural disasters, tsunamis can cause tremendous damage to the near-shore ecosystem. On October 30, 2020, at 12:51 p.m. an earthquake with a magnitude of 6.9 Mw occurred at UTC (2:51 p.m. GMT+03:00). The epicenter of the earthquake is located off the Greek island of Samos, approximately 23 km south of Turkey's İzmir province. This earthquake caused the İzmir-Samos (Aegean) tsunami, which has the same name, on October 30, 2020. In this research, the efficient reconstruction of the hydrodynamic time series of this tsunami with efficient measurements was examined using the Compressive Sensing (CS) algorithm, which is an effective detection technique applied to observational data. For this purpose, tsunami time series records obtained from Kos Marina and Bodrum stations of the UNESCO data portal were used. The potential application of effectively measuring and reconstructing tsunami water surface fluctuation time series and the Fourier spectra of these series with the CS algorithm has been investigated. It has been shown that tsunami parameters such as water surface fluctuations, horizontal and vertical tsunami velocities, and tsunami flood discharge time series can be successfully measured, analyzed, and recorded using CS. In addition, potential future directions and the usefulness and applicability of our findings are also examined.

Key words: 30 October 2020 İzmir-Samos (Aegean) tsunami, compressive sensing, time series analysis.

1. Giriş

Tsunamiler, uzun mesafe katederek kaynaklarından binlerce kilometre uzağa ulaşabilen yüzey dalgaları olarak tanımlanır [1-2]. Enerjileri sığ sudaki grup hızı \sqrt{gh} ile hareket ederler; burada h su derinliğidir [3]. Tsunamiler; depremler, denizaltı veya atmosferik olaylar, volkanik patlamalar vb. nedenlerle su sütununun yer değiştirmesi ile meydana gelebilir [4]. Tarih boyunca kıyı ve iç bölgelerdeki tsunamiler nedeniyle büyük maddi hasarlar ve can kayıpları yaşanmıştır [1]. Tsunamiler de diğer doğal afetler gibi önlenmesi günümüz teknolojisi ile imkânsız olan ancak bazı bilimsel çalışmalarla etkileri azaltılabilen doğa olaylarıdır. Literatürde bu konuyla ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. 2011 yılındaki büyük Doğu Japonya deprem felaketinin arazi kullanımı ve arazi örtüsünde neden olduğu değişiklikleri değerlendirmek için, afet sonrası 2013 ila 2015 yılları için 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip kesin bir arazi kullanımı ve arazi örtüsü haritası oluşturulmuştur [5]. Tsunaminin arazi kullanımı ve arazi örtüsü üzerindeki coğrafi ve zamansal sonuçlarının yanı sıra Tayland'ın Phang Nga eyaletinde ilgili ekosistem hizmetlerinin mevcudiyetinin değerlendirilmesi ve haritalandırılmasına yönelik bir analiz [6]'da

* Sorumlu yazar: alan21@itu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-0243-9493, ² 0000-0002-3654-0469

sunulmaktadır. Japonya'nın Sendai kenti civarındaki kıyı şeridi bölgesinde yaklaşık 4,5 km'lik kıyı normal bölümlünde; erozyon, çökme ve buna bağlı arazi değişikliklerinin 2011'deki Tohoku-oki tsunamisinin bir sonucu olduğu belirlenmiştir [7]. Büyük bir tsunaminin Doğu Japonya'daki alçak bir kıyı bölgesi üzerindeki etkileri, zaman serisi uydu görüntüleri, havadan videolar ve yerden gözlemlerin bir kombinasyonu kullanılarak belirlenmiş ve zırh üniteleri olan bir kıyı şeridi ile olmayan bir kıyı şeridi arasında bir analiz yapılmıştır [8]. Tsunami parametrelerinin, yani su yüzeyindeki dalgalanmanın, hızın ve dalga basınçlarının doğru ölçümü ve modellenmesi için sıkıştırılabilir algılamanın potansiyel kullanımı analiz edilmiştir [9]. Tsunami felaketleri için uydu görüntüleme gibi geleneksel gözlem yöntemleri ile birçok kez inceleme yapılmasına rağmen, eski yöntemlerin yetersizliği ve daha detaylı ve kullanışlı sonuçlara duyulan ihtiyaç nedeniyle daha yeni ve teknolojik yöntemler tercih edilmektedir. Örneğin, uzaktan algılama, uydu görüntüleri kullanılarak tsunamiden zarar görmüş veya zarar görmesi muhtemel bölgelerin haritasını çıkarmayı ve değerlendirmeyi mümkün kılan bir tekniktir [10]. Tsunaminin etki alanlarının büyük olması nedeniyle, uzaktan algılama ve ilgili uygulama teknolojilerindeki son gelişmeler, felaket hasar dağılımını haritalamak ve bir bölgenin riskini belirlemek için uzaktan algılanan görüntü verilerinin kullanılmasını mümkün hale getirmiştir [11]. Yakın zamanda başka bir tsunami olayı 30 Ekim 2020'de saat 12:51 p.m. UTC'de (2:51 p.m. GMT+03:00) 6,9 Mw'lık bir depremden sonra gerçekleşmiştir ve bu olay [12] gibi bazı saha araştırmalarıyla araştırılmıştır. Depremin büyüklüğü ve bunun sonucunda ortaya çıkan 30 Ekim 2020 İzmir-Samos (Ege) tsunami su baskınının özellikleri (tsunaminin yüksekliği ve maksimum tırmanması) yeryüzündeki en yıkıcı olaylar arasında olmasa da felaket sonuçları nedeniyle Türkiye'nin İzmir kıyılarında, özellikle Sığacık kasabasında kıyı toplulukları için kayda değer bir dönüm noktası olmuştur [12]. 30 Ekim 2020 İzmir-Samos (Ege) tsunamisi ve çevredeki çeşitli bölgelere etkisi son yıllarda araştırmaların ilgi odağı olmuş ve literatürde daha birçok saha araştırması ve çalışmaya yer verilmiştir. Örneğin gözlemsel verilere uygulanan LSTM yapay zekâ algoritması kullanılarak bu tsunaminin hidrodinamiği ve tahmini üzerine çalışmalar yapılmıştır [13]. Samos adasında yürütülen bir diğer saha araştırması [14]'te sunulmaktadır. Tsunami olayının tetiklediği göreceli deniz seviyesi değişiklikleri ve morfolojik etkiler [15]'te analiz edilmiştir. Deprem olayı öncesinde alt iyonosferin istatistiksel ve kritiklik analizi [16]'da gerçekleştirilmiştir.

Öte yandan literatürde tsunami veri analizi için bazı yapay zekâ uygulamaları önerilmektedir. Japonya'nın Osaka Körfezi'ndeki tsunami büyüklüklerinin gerçek zamanlı tahmini [17]'de bir yapay sinir ağı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Derin öğrenme sinir ağı kullanılarak yataklardan gelen tsunami özelliklerinin tahminine yönelik ters bir modelleme tekniği [18]'de incelenmiştir. Evrimsel sinir ağları ve diğer bazı makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak tsunami su baskını konusunda erken uyarı gibi bazı çalışmalar da analiz edilmiştir [19-21]. Başka bir çalışmada Tohoku, Japonya için yapay sinir ağını kullanan S-net gözlemlerine dayalı kıyı tsunami tahmini incelenmiştir [22].

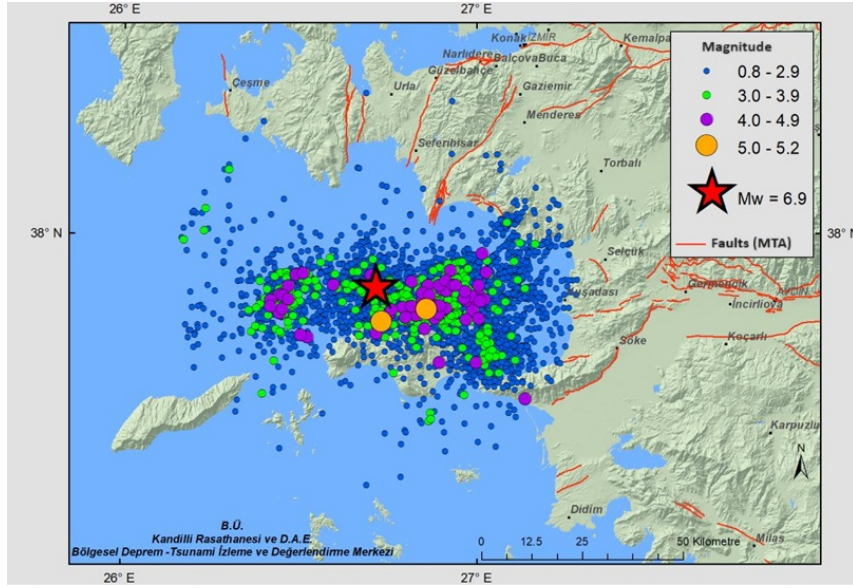
Çok başarılı akıllı algılama yöntemlerinden biri olan CS, ancak çok yakın zamanda tsunami felaketi uygulamalarında ilgi çekmiştir [9, 23]. Bu makale, 30 Ekim 2020 İzmir-Samos tsunamisinin hidrodinamik özelliklerini, yerinde ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak elde edilen verilere uygulanan CS kullanılarak incelemeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla, farklı istasyonlarda akustik yankı cihazı/basınç ölçer ve radar ile elde edilen tsunami su yüzeyi dalgalanma zaman serilerinin geri çatılması incelenmekte ve bunların CS kullanılarak öngörülebilirliği tartışılmaktadır. FFT algoritmaları ile elde edilen verilerin zaman serisi dinamikleri ve spektral özellikleri incelenmektedir. Ayrıca veri setinin toplama türünün hem zamansal hem de spektral alanda tsunami zaman serisi kurtarma performansı üzerindeki etkisi de araştırılmaktadır. Erken uyarıların ve erken uyarı zaman ölçeklerinin olası CS tabanlı algoritmalarla daha verimli olarak ölçülmesi de tartışılmaktadır.

2. Metodoloji

2.1. Çalışma Alanı

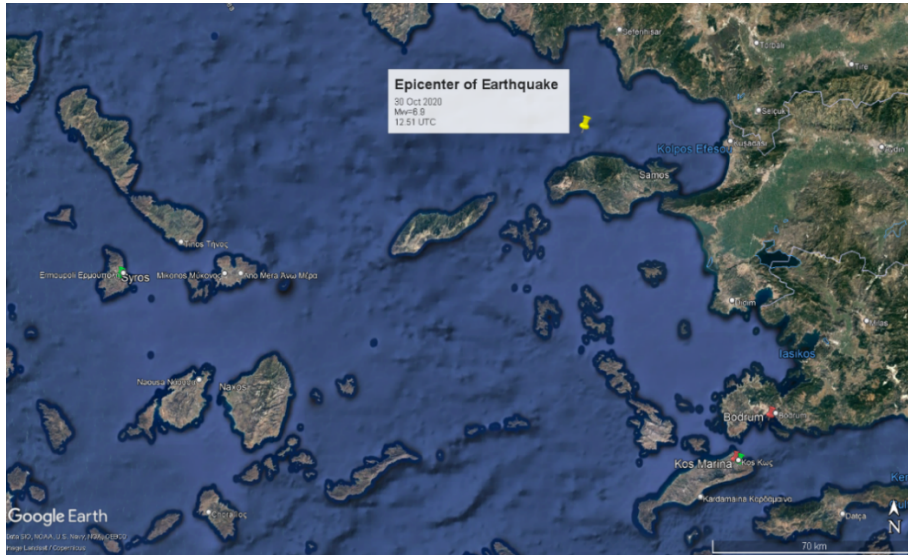
30 Ekim 2020 saat 12:51 p.m. UTC'de merkez üssü İzmir'in yaklaşık 23 km güneyinde, Yunanistan'ın Samos adası açıklarında olan 6,9 Mw moment büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir [24-26]. Depremin kinematik kırılma sürecinden sonra yapılan analiz, iki fay düzleminin hafifçe döndürülmüş doğrultu açılarıyla kademeli olarak kırıldığını ve sırasıyla normal faylanma ve eğik faylanmanın hâkim olduğunu göstermiştir [26]. Deprem özelliklerini analiz etmek için yalnızca sismik ve jeodezik veriler değil, aynı zamanda tsunami verileri de kullanılmıştır [26]. Şekil 1'de gösterilen depremsellik haritası, depremin merkez üssünü ve o gün kaydedilen 5068 artçı sarsıntının yerini göstermektedir [27]. Depremin merkez üssü Samos Adası'na kadar uzanan İzmir-Balıkesir Transfer Bölgesi üzerinde yer almaktadır [26]. 2020 Samos depreminin birincil sismojenik fayının Kaystrios Fayı olduğu düşünülmektedir [26]. Kaystrios Fayı ile yakın çevredeki Ikaria, Fourni ve Pythagorio Fayları karmaşık bir fay sistemi oluşturmaktadır [26]. Bu depremin büyüklüğü ve bunun sonucunda meydana gelen 30 Ekim 2020 İzmir-Samos (Ege) Tsunamisi, Dünya'nın diğer yerlerinde görülen benzerlerine göre çok büyük olmasa da etkili

bir olaydır ve bölge için kritik öneme sahiptir. Depremin tetiklediği tsunami, Türkiye'nin sahil kasabası Sığacık'ta önemli su baskını ve hasara neden olmuştur.



Şekil 1. 30 Ekim 2020 İzmir-Samos Depremi depremsellik haritası [27] (KRDAE ve Prof. Dr. Doğan Kalafat'tan bu şeklin yeniden kullanım izni alınmıştır).

30 Ekim 2020 İzmir-Samos tsunamisinin, deprem merkez üssü ve çevresindeki UNESCO tsunami gözlem istasyonlarıyla birlikte çalışma haritası Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, en yakın UNESCO istasyonları Bodrum, Syros, Kos ve Kos Marina'da bulunmaktadır [28]. Bu çalışmada kullanılan zaman serisi verileri, <https://www.ioc-sealevelmonitoring.org/map.php> adresindeki UNESCO web sitesinden (29 Kasım 2023'te erişilmiştir) indirilmiştir ve genel erişime açıktır.



Şekil 2. 30 Ekim 2020 İzmir-Samos depreminin merkez üssü ve çevresindeki UNESCO tsunami gözlem istasyonları: Bodrum, Syros, Kos ve Kos Marina [28].

30 Ekim 2020 - 00:00 a.m. - 31 Ekim 2020 - 00:00 a.m. UTC arasındaki günlük veriler yukarıda belirtilen 4 istasyonun Kos Marina ve Bodrum istasyonlarından elde edilmiştir. Kos Marina istasyonunda örnekleme süresinin 1 dakika olduğunu, buna karşın Bodrum İstasyonu'nda örnekleme süresinin 0,5 dakika olduğunu belirtmekte fayda

vardır. Kos Marina istasyonundaki kayıtlar radarla alınırken Bodrum istasyonundaki kayıtlar akustik yankı cihazı/basınç ölçer ile alınmaktadır.

Tsunami parametrelerinin ve spektral özelliklerinin akıllı algılama teknikleriyle yeniden oluşturulması bu makalenin konusunu oluşturmaktadır. Daha spesifik olarak belirtmek gerekirse, CS çok başarılı zaman serisi oluşturma ve kurtarma araçlarından biridir ve 30 Ekim 2020 İzmir-Samos tsunami hidrodinamiğinin başarılı olarak algılanması ve kurtarılması için olası bir aday olarak incelenmiştir. Bir sonraki bölümde CS'nin kısa bir incelemesi verilmektedir ve ilerleyen bölümlerde 30 Ekim 2020 İzmir-Samos tsunami verilerinin yeniden oluşturulması CS kullanılarak analiz edilecektir.

2.2 Sıkıştırılabilir Algılama Yöntemi

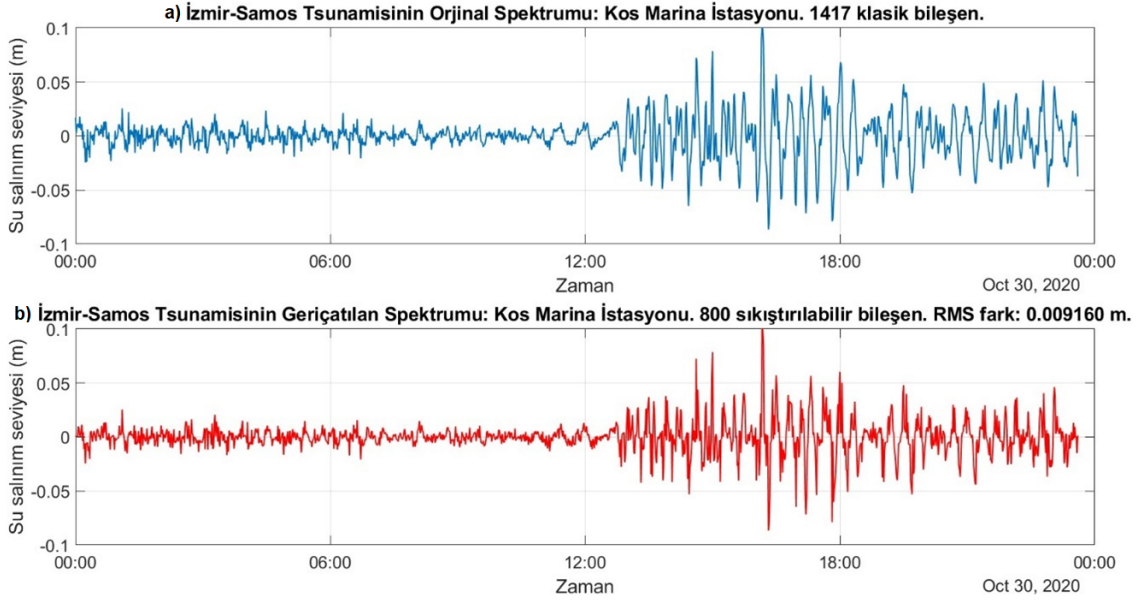
Mühendislikten tıba kadar birçok bilim dalından araştırmacıların ilgisini çeken ve bu araştırmacıların çalışmalarında kullandıkları CS, sinyal işlemede önemli bir atılım gerçekleştirmiştir. CS, N elemanından yalnızca K 'sinin sıfırdan farklı olduğu bir K -seyrek q sinyalinin, Ψ matrisi (ortogonal dönüşüm matrisi) tarafından dik bir alana (yani Fourier) dönüştürülebileceğini ispatlamıştır. Böylece sinyalin temsili $q = \Psi\hat{q}$ olmaktadır. Bu formülde \hat{q} , dönüşümün katsayı vektörünü göstermektedir. Girişlerden sıfırlar çıkarıldıktan sonra, $q_s = \Psi\hat{q}_s$ elde edilebilir; burada q_s , sıfır olmayan bileşenlere sahip sinyal olarak tanımlanmaktadır. N elemanlı bir K -seyrek q sinyali, CS algoritması kullanılarak $M \geq C\mu^2(\Phi, \Psi)K\log(N)$ ölçümüyle kesin olarak geri çatılabilmektedir. Bu formülde C pozitif bir sabittir. Φ ölçüm matrisini, $\mu^2(\Phi, \Psi)$ ise algılama ve dönüşüm temeli arasındaki karşılıklı tutarlılığı simgelemektedir [29-30]. M rastgele örnek kullanılarak rastgele örnekleme yapıldıktan sonra $g = \Phi\Psi\hat{q}$ elde edilir. Böylece CS ile geri çatılma için en iyileme problemi

$$g = \Phi\Psi\hat{q} \text{ şartı altında } \min\|\hat{q}\|_{l_1} \quad (1)$$

olarak özetlenebilir. Burada $\|\hat{q}\|_{l_1} = \sum_i |\hat{q}_i|$ 'dir. Bu optimizasyon probleminin tüm olası çözümleri arasında l_1 çözümü $q_{cs} = \Psi\hat{q}$ olmaktadır. Bu çözümdeki en küçükleme dışında ağırlıklı l_1 en küçükleme, ağırlıklı tarama vb. bazı diğer tekniklerle CS'nin daha kapsamlı bir tartışması için okuyucu [29-30] ve bunun kıyı hidrodinamiğindeki uygulamaları için [31-34] referanslarına yönlendirilmektedir. Bu çalışmada CS algoritmasının tsunami zaman serilerinin ölçüm ve analizlerinde olası efektif kullanımı araştırılmıştır.

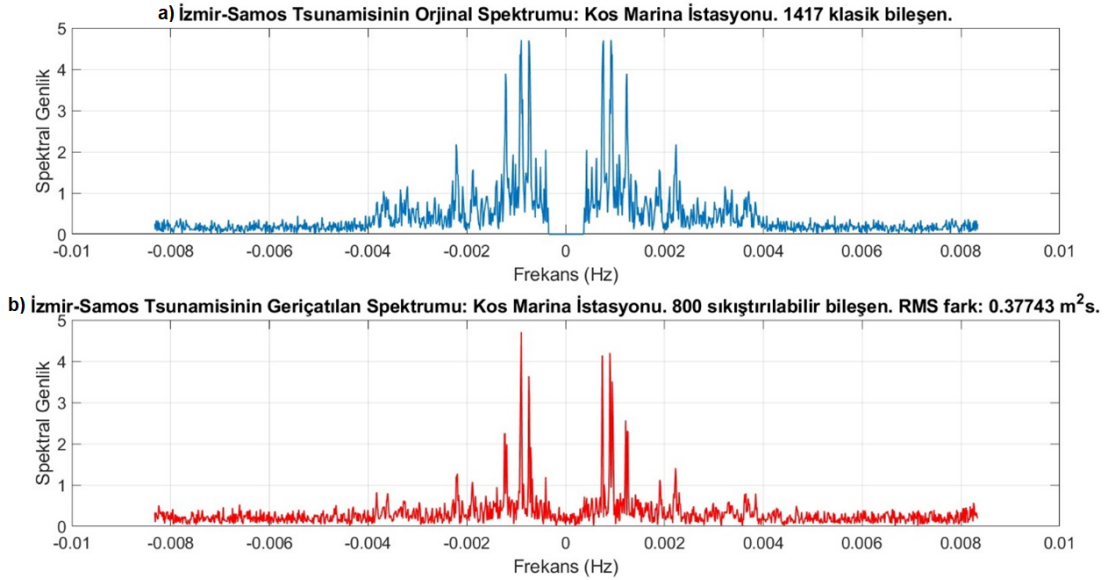
3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada kullanılan veriler yukarıda bahsedilen UNESCO web sitesinden indirilmiştir ve astronomik gelgit etkisini filtrelemek için spektral bir yaklaşım kullanılarak zaman serileri gelgitten arındırılmıştır. Bu amaçla ortalama sıfırlandıktan sonra FFT-IFFT prosedürü kullanılmıştır. Su yüzeyi dalgalanma spektrumları FFT algoritması aracılığıyla elde edilmiş ve merkezi frekans 0 etrafındaki $\pm \%0,1$ frekanslar arasındaki merkezi frekanslara karşılık gelen (yaklaşık olarak $[-3 \times 10^{-5}$ Hz, 3×10^{-5} Hz]) spektral genlikler sıfır dolgulu hale getirilmiştir. Daha sonra, bu filtrelenmiş spektrum, gelgitten arındırılmış tsunami su yüzeyi dalgalanma zaman serisini oluşturmak için bir IFFT algoritması kullanılarak tersine çevrilmiştir. Gelgitten arındırılmış su yüzeyindeki dalgalanma, [enlem: 36,891013, boylam: 27,303632]'da yer alan Kos Marina istasyonunda Şekil 3'te görüldüğü üzere yaklaşık 20 cm mertebesinde bir tsunami dalgası yüksekliğine işaret etmektedir. Yine Şekil 3'te 1417 bileşenden oluşan su yüzeyi dalgalanma zaman serisine sahip Kos Marina istasyonunda sadece 800 bileşen kullanılarak zaman serisinin RMS farkı 0,009160 m (< 1 cm) olacak şekilde elde edilebileceği gösterilmektedir. Tsunami zaman serisinin seyrekliğinin düşük olması sebebiyle klasik sinyalin yaklaşık yarı sayısında sıkıştırılabilir bileşen kullanılarak analize başlanarak buna karşın RMS hata incelenmiş ve 100 lük basamaklarla artırılan bileşenler için orijinal ve geri çatılan zaman serisi arasındaki RMS hatanın 800 sıkıştırılabilir bileşen için 1 cm'nin altına düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 3. 30 Ekim 2020 İzmir-Samos Tsunamisinin zaman serisi: Kos Marina İstasyonu a) Orijinal hâli [28] b) CS ile yeniden elde edilmiş hâli.

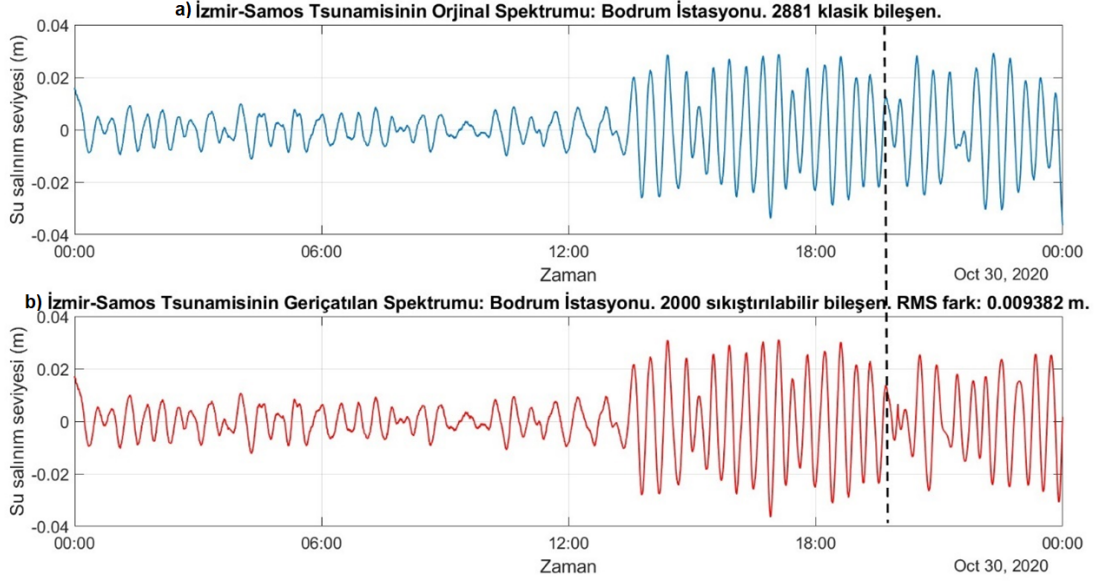
Kos Marina istasyonunda CS kullanılarak elde edilen zaman serisi ile orijinal zaman serisi arasındaki eşleşmeyi daha iyi görselleştirmek için yine spektral bir yaklaşım kullanılmış ve FFT rutinleri aracılığıyla Fourier spektrumu elde edilmiştir. Orijinal durumun ve CS ile elde edilen durumun spektrumu Şekil 4'te gösterilmektedir. İki spektrum arasındaki RMS fark 0,37743 m²s dir.



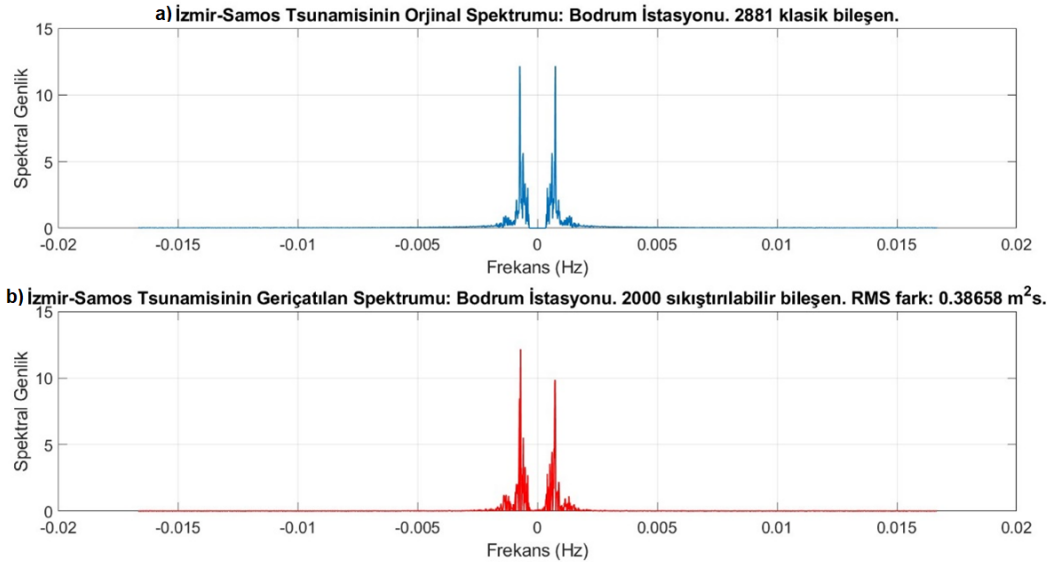
Şekil 4. 30 Ekim 2020 İzmir-Samos Tsunamisinin zaman serisi Fourier spektrumu: Kos Marina İstasyonu. a) Orijinal hâli b) CS ile yeniden elde edilmiş hâli.

Bu grafiklerden görüldüğü üzere, her ne kadar bazı frekanslarda geri çatım genliklerinde bazı küçük farklılıklar olsa da tsunami analizi için daha önemli olan yüksek genlikli frekanslar ve ilintili genlikler CS ile başarıyla geri çatılmıştır. Ayrıca CS, tsunami öncesi ve sonrası farklılıkları da başarıyla geri çatabilmekte ve tsunaminin başlangıç zamanını belirleyebilmektedir.

Bu çalışmada analizi yapılan bir diğer veri seti ise Bodrum istasyonunda kaydedilmiştir. [Enlem: 37,03217, boylam: 27,423453]'da yer alan ve anakara ile adalar tarafından korunmakta olan Bodrum istasyonunda Şekil 5'te görüldüğü üzere yaklaşık 8 cm mertebesinde bir tsunami dalgası yüksekliği görülmektedir. Yine Şekil 5'te 2881 bileşenden oluşan su yüzeyi dalgalanma zaman serisine sahip Bodrum istasyonunda 2000 bileşen kullanılarak aynı zaman serisinin RMS farkı 0,009382 m (< 1 cm) elde edildiği gösterilmektedir. Sıkıştırılabilir bileşen sayısı olan 2000'in belirlenmesinde yine 100 lük bileşen artışlarına karşılık RMS farkın 1 cm'nin altına inmesi ilkesi uygulanmıştır. Ayrıca Şekil 5'teki siyah renkli kesikli çizgiden sonra gelen kısımda faz uyumsuzluğu olduğu tespit edilmiştir, bu da gelecekteki çalışmalarda CS tabanlı dalgacık (wavelet) dönüşümü analizlerinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 5. 30 Ekim 2020 İzmir-Samos Tsunamisinin zaman serisi: Bodrum İstasyonu a) Orijinal hâli [28] b) CS ile yeniden elde edilmiş hâli.



Şekil 6. 30 Ekim 2020 İzmir-Samos Tsunamisinin zaman serisi Fourier spektrumu: Bodrum İstasyonu. a) Orijinal hâli b) CS ile yeniden elde edilmiş hâli.

Önceki istasyonda olduğu gibi CS kullanılarak elde edilen zaman serisi ile orijinal zaman serisi arasındaki eşleşmeyi daha iyi görselleştirmek için FFT rutinleri aracılığıyla elde edilen orijinal spektrum ve CS ile elde edilen spektrum Şekil 6'da gösterilmektedir. İki spektrum arasındaki fark $0,38658 \text{ m}^2\text{s}$ olarak gözlenmiştir.

CS'nin, özellikle Kos Marina istasyonunda radar ile kaydedilen tsunami zaman serilerini elde etmede RMS farkın küçüklüğü ve orijinal veri sayısında görece daha az sayıda sıkıştırılabilir bileşen kullanılması bakımından daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. CS'nin iki farklı istasyondaki faz uyumsuzluğu ve başarı durumu farklı sebeplerden kaynaklanmaktadır. Kos Marina istasyonu zaman serisinin spektral özelliklerinin Bodrum istasyonundaki analizlerden farklılık gösterdiği görülmektedir. Bunun nedenlerinden bazıları, kayıtların akustik yankı/basınç ölçer cihazına göre daha hassas olan radar tarafından yapılmasının yanı sıra, tsunami asimptotiklerinin mesafeye ve çevre batimetrisine göre değişebilmesidir [3]. Yüksek frekanslarda görülen uyumsuzlukları en aza indirmenin olası bir yolu, FFT veya benzer rutinler kullanan bazı frekans bandı filtrelerine sahip bir CS algoritması geliştirmektir. CS'nin tsunami su salınım seviyelerinin yanı sıra uzun dalga teorisi ve yerinde ölçümlerle kolayca elde edilebilecek yatay ve düşey tsunami hızlarının, dinamik basınçları ve tırmanma ve taşkın debileri ve yükseklikleri gibi seyrek zaman serilerinin ölçüm ve analizlerinde de başarılı sonuçlar vereceği kolayca anlaşılabilir. Ölçülen tsunami parametresinin seyreklik özelliklerine göre kesin geri çatılma yapılması da olasıdır.

4. Çıkarımlar

Bu makalede, CS akıllı algılama tekniğinin tsunami hidrodinamiklerine ait verileri yeniden elde etmek için potansiyel uygulaması ele alınmıştır. Bu amaçla çeşitli UNESCO istasyonlarında kaydedilen 30 Ekim 2020 İzmir-Samos tsunamisine ait günlük su yüzeyi dalgalanma zaman serisi verileri analiz edilmiştir. Bu tür zaman serilerinin CS kullanılarak başarılı bir şekilde geri çatılmasının mümkün olduğu gösterilmiştir. Özellikle Kos Marina istasyonu için CS kullanmak daha iyi sonuçlar vermiş olsa da CS'nin daha az bileşenle veri kurtarmada genel olarak başarılı ve tutarlı olduğu gösterilmiştir. Elde edilen verilerin spektral özellikleri de tartışılmış ve yüksek frekanslarda bir miktar uyumsuzluk gözlemlenebilmesine rağmen, CS'nin tsunami zaman serisi spektrumunda oldukça iyi çalıştığı gösterilmiş ve tsunami yükseklik, boy ve oluşum zamanının efektif olarak ölçülmesinde kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Bulgularımız, olayın konumuna ve büyüklüğüne bağlı olarak tsunami erken uyarı sürelerini dakikalardan saatlere kadar artırmak için kullanılabilir. Bu özellikle açık denizdeki bir konumda olay tespit edildiğinde faydalı olacaktır. Olayın kaydedilmesinin ardından açık deniz istasyonlarında ikincil dalgalar ve tsunami asimptotikleri tahmini yapılırken CS ile daha az bileşen kullanılarak tahmin hızı artacak, böylece kıyı bölgeleri için erken uyarı zaman ölçeği artırılabilir ve kıyıdaki su baskını haritaları daha doğru bir şekilde yapılabilecektir. Ayrıca sonuçlarımız, yatay ve sapma hızları ve tırmanma zaman serileri gibi tsunami parametrelerini tahmin etmek için kolayca genişletilebilir. Yakın gelecekte bulguların çeşitli derin öğrenme ağlarına ve doğrusal olmayan süreçlerin zaman serisi tahmin araçlarına genişletilmesi planlanmaktadır [34-35]. Ek olarak, [36-38]'de incelenen gözlemsel veriler veya analitik/sayısal yaklaşımlardan faydalanarak tsunami tırmanması, su baskını özelliklerinin yanı sıra tsunami verileriyle sismik davranışın belirlenmesi, derin öğrenme ve diğer bazı yapay zekâ teknikleri kullanılarak araştırılabilir. Ayrıca bu çalışma CS tabanlı efektif tsunami gözlem alet ve istasyonlarının geliştirilmesi için öncü bir çalışmadır.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA)-Üstün Başarılı Genç Bilim İnsanlarını Ödüllendirme Programı (GEBİP) ve İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ)-Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Fonu tarafından MGA-2022-43528, MDK-2021-42849 proje kodlarıyla desteklenmektedir. Yazar katkıları: C.B., fikir sahibi, A.R.A. ve C.B. konsepti oluşturdu, C.B. kodları yazdı, A.R.A. orijinal taslağı hazırladı, C.B. denetleyip sonuçlandırdı.

Kaynaklar

- [1] Ward SN. 2002. Tsunamis. In: Meyers RA, editor. The Encyclopedia of Physical Science and Technology. Academic Press, 2002. Vol. 17, 175-191.
- [2] Chapman C. The Asian tsunami in Sri Lanka: A personal experience. EOS Trans Am Geophys Union 2005; 86: 13-14.
- [3] Berry MV. Tsunami asymptotics. New J Phys 2005; 7: 129.
- [4] Röbke B, Vött A. The tsunami phenomenon. Prog Oceanogr 2017; 159: 296-322.
- [5] Ishihara M, Tadono T. Land cover changes induced by the great east Japan earthquake in 2011. Sci Rep 2017; 7: 45769.

- [6] Kaiser G, Burkhard B, Römer H, Sangkaew S, Graterol R, Haitook T, Sterr H, Sakuna-Schwartz D. Mapping tsunami impacts on land cover and related ecosystem service supply in Phang Nga, Thailand. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 2013; 13: 3095–3111.
- [7] Richmond B, Szczucinski W, Chagué-Goff C, Goto K, Sugawara D, Witter R, Tappin DR, Jaffe B, et al. Erosion, deposition and landscape change on the Sendai coastal plain, Japan, resulting from the March 11, 2011 Tohoku-oki tsunami. *Sediment Geol* 2012; 282: 27–39.
- [8] Tappin DR, Evans HM, Jordan CJ, Richmond B, Sugawara D, Goto K. Coastal changes in the Sendai area from the impact of the 2011 Tohoku-oki tsunami: Interpretations of time series satellite images, helicopter-borne video footage and field observations. *Sediment Geol* 2012; 282: 151–174.
- [9] Bayındır C. Analysis of tsunami and tsunami-structure interaction parameters by compressive sensing. 2nd International Conference on Applied Mathematics in Engineering (ICAME 2021); 1–3 September 2021, Balıkesir, Turkey. 14-19.
- [10] Sambah AB, Miura F. Remote sensing, GIS, and AHP for assessing physical vulnerability to tsunami hazard. *Int J Environ Ecol Eng* 2013; 7: 671–679.
- [11] Yamazaki F, Matsuoka M. Remote sensing technologies in post disaster damage assessment. *J Earthquake Tsunami* 2007; 1: 193–210.
- [12] Doğan GG, Yalçın AC, Yüksel Y, Ulutaş E, Polat O, Güler I, Sahin C, Tarih A, et al. The 30 October 2020 Aegean Sea Tsunami: Post-Event Field Survey Along Turkish Coast. *Pure Appl Geophys* 2021; 178: 785–812.
- [13] Alan AR, Bayındır C, Ozaydin F, Altintas AA. The predictability of the 30 October 2020 İzmir-Samos Tsunami hydrodynamics and enhancement of its early warning time by LSTM deep learning network. *Water* 2023; 15(23): 4195.
- [14] Triantafyllou I, Gogou M, Mavroulis S, Lekkas E, Papadopoulos GA, Thravalos M. The tsunami caused by the 30 October 2020 Samos (Aegean Sea) Mw7.0 earthquake: Hydrodynamic features, source properties and impact assessment from post-event field survey and video records. *J Mar Sci Eng* 2021; 9: 68.
- [15] Evelpidou N, Karkani A, Kampolis I. Relative sea level changes and morphotectonic implications triggered by the Samos earthquake of 30th October 2020. *J Mar Sci Eng* 2020; 9: 40.
- [16] Politis D, Potirakis S, Contoyiannis Y, Biswas S, Sasmal S, Hayakawa M. Statistical and criticality analysis of the lower ionosphere prior to the 30 October 2020 Samos (Greece) earthquake (M6.9), based on VLF electromagnetic propagation data as recorded by a new VLF/LF receiver installed in Athens (Greece). *Entropy* 2021; 23: 676.
- [17] Mase H, Yasuda T, Mori N. Real-time prediction of tsunami magnitudes in Osaka Bay, Japan, using an artificial neural network. *J Waterw Port Coast Ocean Eng* 2011; 137: 263–268.
- [18] Mitra R, Naruse H, Abe T. Estimation of tsunami characteristics from deposits: Inverse modeling using a deep-learning neural network. *J Geophys Res: Earth Surf* 2020; 125: e2020JF005583.
- [19] Makinoshima F, Oishi Y, Yamazaki T, Furumura T, Imamura F. Early forecasting of tsunami inundation from tsunami and geodetic observation data with convolutional neural networks. *Nat Commun* 2021; 12: 2253.
- [20] Fauzi A, Mizutani N. Machine learning algorithms for real-time tsunami inundation forecasting: A case study in Nankai region. *Pure Appl Geophys* 2020; 177: 1437–1450.
- [21] Mulia IE, Ueda N, Miyoshi T, Gusman AR, Satake K. Machine learning-based tsunami inundation prediction derived from offshore observations. *Nat Commun* 2022; 13: 5489.
- [22] Wang Y, Imai K, Miyashita T, Ariyoshi K, Takahashi N, Satake K. Coastal tsunami prediction in Tohoku region, Japan, based on S-net observations using artificial neural network. *Earth Planets Space* 2023; 75: 154.
- [23] Alan AR, Bayındır C. Analysis of wave runup, overtopping and overwash parameters via compressive sensing. 2nd International Conference on Applied Mathematics in Engineering (ICAME 2021); 1–3 September 2021, Balıkesir, Turkey. 110-115.
- [24] Kiratzi A, Papazachos C, Özacar A, Pinar A, Kkallas C, Sopaci E. Characteristics of the 2020 Samos earthquake (Aegean Sea) using seismic data. *Bull Earthquake Eng* 2022; 20: 7713–7735.
- [25] Sboras S, Lazos I, Bitharis S, Pikridas C, Galanakis D, Fotiou A, Chatzipetros A, Pavlides S. Source modelling and stress transfer scenarios of the October 30, 2020 Samos earthquake: Seismotectonic implications. *Turk J Earth Sci* 2021; 30: 699–717.
- [26] Ren C, Yue H, Cao B, Zhu Y, Wang T, An C, Ge Z, Li Z. Rupture process of the 2020 Mw = 6.9 Samos, Greece earthquake on a segmented fault system constrained from seismic, geodetic, and tsunami observations. *Tectonophysics* 2022; 839: 229497.
- [27] KRDAE. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi Basın Bülteni. 2020. http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wp-content/uploads/2020/10/20201030_izmir_V1.pdf (Erişim tarihi: 10 Ekim 2023).
- [28] UNESCO/IOC. UNESCO Intergovernmental Oceanographic Commission Sea Level Station Monitoring Facility. 2020. <https://www.ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=stationcode> (Erişim tarihi: 10 Ekim 2023).
- [29] Candès EJ, Romberg J, Tao T. Robust uncertainty principles: Exact signal reconstruction from highly incomplete frequency information. *IEEE Transactions on information theory* 2006; 52(2): 489-509.
- [30] Candès EJ. Compressive sampling. *Proceedings of the international congress of mathematicians* 2006; 3: 1433-1452.
- [31] Malara G, Kougioumtzoglou IA, Arena F. Extrapolation of random wave field data via compressive sampling. *Ocean Eng* 2018; 157: 87-95.
- [32] Bayındır C. Early detection of rogue waves using compressive sampling. *TWMS J App Eng Math* 2019; 9(2): 198-205.
- [33] Bayındır C. Compressive spectral method for the simulation of nonlinear gravity waves. *Sci Rep* 2016; 22100.

- [34] Bayındır C, Namlı B. Efficient sensing of the von Karman vortices using compressive sensing. *Comput Fluids* 2021; 104975.
- [35] Bayındır C. Compressive spectral renormalization method. *TWMS J App Eng Math* 2018; 8: 425–437.
- [36] Bueler-Faudree T, Sam D, Dutykh D, Rybkin A, Suleimani A. Fast shallow water-wave solver for plane inclined beaches. *SoftwareX* 2021; 17: 100983.
- [37] Alan AR, Bayındır C. The analytical solutions of long waves over geometries with linear and nonlinear variations in the form of power-law nonlinearities with solid vertical wall. *Ocean Eng* 2024; 295: 117031.
- [38] Alan AR, Bayındır C. The analytical solutions of long waves over geometries with linear and nonlinear variations in the form of power-law nonlinearities with solid inclined wall. *Dyn Atmos Oceans* 2024; 106: 101458.