



Şevli Yüzlü Dalgakıran Topuğunda Dalga Kaynaklı Yerel Oyulmaların Deneysel Araştırması

Experimental Investigation of Wave-Induced Local Scour around the Toe of the Rubble Mound Breakwater

Selcan Kurt^{1*}, Muhammed İkbal Tortumluoğlu², Mustafa Doğan³, Aysegül Özgenç Aksoy⁴

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye

^{2,3,4} Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: muhammedikbal.tortumluoglu@deu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 23.11.2021

Kabul Tarihi / Accepted: 21.01.2022

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2022247127

Atıf şekli/How to cite KURT, S., TORTUMLUOĞLU, M.İ., DOĞAN, M., ÖZGENÇ AKSOY, A. (2022). Şevli Yüzlü Dalgakıran Topuğunda Dalga Kaynaklı Yerel Oyulmaların Deneysel Araştırması. DEUFMD, 24(71), 643-656.

Öz

Dalgaların yıpratıcı etkisinden korumak, deniz taşıtlarının operasyonlarını güvenli olarak yapabilmelerini sağlamak veya doğrudan kıyı koruma yapısı olacak şekilde farklı amaçlarda dalgakıranlar inşa edilmektedir. Farklı malzeme ve teknik kullanılarak inşa edilebilen dalgakıranların tasarımı kıyı mühendisliğinde önemli bir konudur. Şevli yüzlü taş dolgu dalgakıranlar uygulamada sık rastlanan bir dalgakıran türüdür. Şevli yüzlü taş dolgu dalgakıran tasarımında en önemli parametre dalgakıranın stabilitesidir. Stabilitayı doğrudan etkileyecek olan dalgakıran topuğunda oluşacak yerel oyulmaların araştırılması bu bağlamda önemlidir. Çalışma kapsamında, düzenli dalga etkisi altında şevli yüzlü taş dolgu dalgakıranların gövde kesiti topuğunda meydana gelen yerel zemin hareketleri deneysel olarak araştırılmıştır. UVP cihazı ve buna bağlı çalışan algılayıcıları ile zaman bağlı oyulma derinlikleri ölçülmüş ve buradan nihai göreceli oyulma derinlikleri hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar vasıtasıyla taban malzemesi, şev eğimi ve dalga durumunun oyulmayı nasıl etkileyeceği konusu yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şevli yüzlü taş dolgu dalgakıran, Gövde kesiti, Topuk oyulması, Deneysel araştırma

Abstract

Breakwaters are built for different purposes, such as to protect them from the harmful effect of the waves, to ensure that the vessels can perform their operations safely or as a coastal protection structure. The design of breakwaters, which can be constructed using different materials and techniques, is an important issue in coastal engineering. Rubble mound breakwaters are a common type of breakwater in practice. The most important parameter is breakwater stability to design of rubble mound breakwater. Therefore, it is important to investigate the local scours that will occur in the toe of the breakwater, which will directly affect the stability. In this study, the local ground movements was investigated experimentally under regular waves at rubble mound breakwater trunk section toe. Time dependent scour depths were measured with the UVP device and its associated sensors, and the final relative scour depths were calculated. The issue of how the ground material, slope, and wave condition will affect the scour has been interpreted by means of experimental results.

Keywords: Rubble mound breakwater, trunk section, toe scour, experimental investigate

1. Giriş

Ülkemiz bir yarım ada durumunda olup üç tarafı denizlerle çevrili olup, kıyı yapılarının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemizde en çok uygulanan kıyı yapıları dalgakıranlar, mahmuzlar, iskeleler rıhtımlar, deniz duvarları ve mendireklerdir. Dalgakıranlar, limanları açık denizden gelen dalgalara karşı korumak amacıyla inşa edilen yapılardır. Bu sayede liman yapılarının ve limana yanan deniz araçlarının güvenliği sağlanmaktadır. Derinliğin nispeten küçük olduğu kıyı bölgesinde, deniz taban malzemesi dalga etkisiyle hareket etmektedir. Dalgalar oyulmalara, birikmelere, topuk erozyonuna ve çekirdek malzemesinde kayıplara sebebiyet verebilir. Özellikle şevli yüzü taş dolgu dalgakıranlarda stabilite problemlerine yol açacak olan topuk bölgesindeki oyulmaları tespit etmek ve bunlara karşı önlem almak oldukça önemlidir. Oluşacak yerel zemin hareketlerinin miktarı dalga özelliklerine, taban dane geometrisine ve dalgakıran şev eğimine bağlı değişiklik göstermektedir. Şevli yüzü dalgakıranlarla ilgili literatürde yapılmış olan çalışmaların genel bir özeti aşağıda verilmektedir.

Kwang ve Norimi çalışmalarında, yerel oyulmaların kıyılardaki etkilerini incelemiştir. Düşey kıyı yüzü ile geçirimsiz batık dalgakıran arasındaki yerel oyulmalarla ilgili deneyler yapmışlardır. Deney sonuçları şevli yüzü dalgakıranlar için yapılmış deneylerle karşılaştırmışlardır [1].

Sumer ve Fredsoe, taş dolgu dalgakıranın gövde kesitinin önünde oluşan oyulmaları ve birikmeleri iki boyutlu olarak incelemiştir. Deneylerinde 1:1.2 ve 1:1.75 şev eğimleri için hem düzenli hem de düzensiz dalga drumunda oluşacak oyulmalar deneysel olarak araştırılmıştır [2].

Myrhaug ve arkadaşları düşey yüzü dalgakıranların kafa kesiti etrafındaki oyulma derinliği ve koruyucu katman genişliği, oyulma ve birikme derinlikleri ile taş dolgu dalgakıranların kafa kesitlerindeki koruma katman genişliklerinin belirlenmesi için bir yaklaşım sunmaktadırlar. Daha önce yapılmış olan deney verileriyle çalışma bulguları karşılaştırılmıştır [3].

Fredsoe ve Sumer çalışmalarında, dalga etkisi altında, şevli yüzü dalgakıran kafa kesiti (müzvar) etrafındaki oyulmalar hem düzenli

hem de düzensiz dalga etkisi altında deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde, $d_{50}=0.19$ mm olan ince taban malzemesi kullanılmıştır. Kafa kesiti etrafında oluşan oyulma çukurunda, dalgaların dalarak kırılmasının etkili olduğu vurgulanmışlardır [4].

Van Gent ve Van der Werf çalışmasında, taş dolgu dalgakıranlarda kaya topuk stabilitesi üzerine incelemeler yapmıştır. 1:2 koruma tabakası eğimine sahip taş dolgu dalgakıran modelinde deneyler yapmıştır. Topuğun oyulması nedeniyle dalgakıranında oluşan hasarı incelemiştir. Topuk korumasında kaya yerine beton kullanılmasının stabilite açısından daha güvenli olacağını belirtmiştir [5].

Tahersima ve arkadaşları düşey yüzü dalgakıranın önündeki dalgaların üst üste gelmesiyle oluşan oyulma şeklini incelemiştir. Hem sayısal model hemde deneylerdeki hızların birbiriyle tutarlı olduğu tespit etmişlerdir. Dalgaların üst üste gelmesinin hem duran dalgaların dinamiklerini hem de düşey dalgakıranın yakınındaki akış koşullarını değiştirdiği gözlemlenmiştir [6].

Cokgor ve Durmus çalışmalarında, taş dolgu dalgakıran önünde türbülansa bağlı üç boyutlu oyulmanın deneysel analizini yapmışlardır. Taş dolgu dalgakıranın 45° eğimli bölümünde hız alanlarını düzenli dalga durumu için incelemiştir. Oyulma üzerinde etkili olan türbülans kayma gerilmesinin dalgakıran topuğunun hemen üstünde maksimum seviyeye ulaştığını tespit etmişlerdir [7].

2. Materyal ve Metot

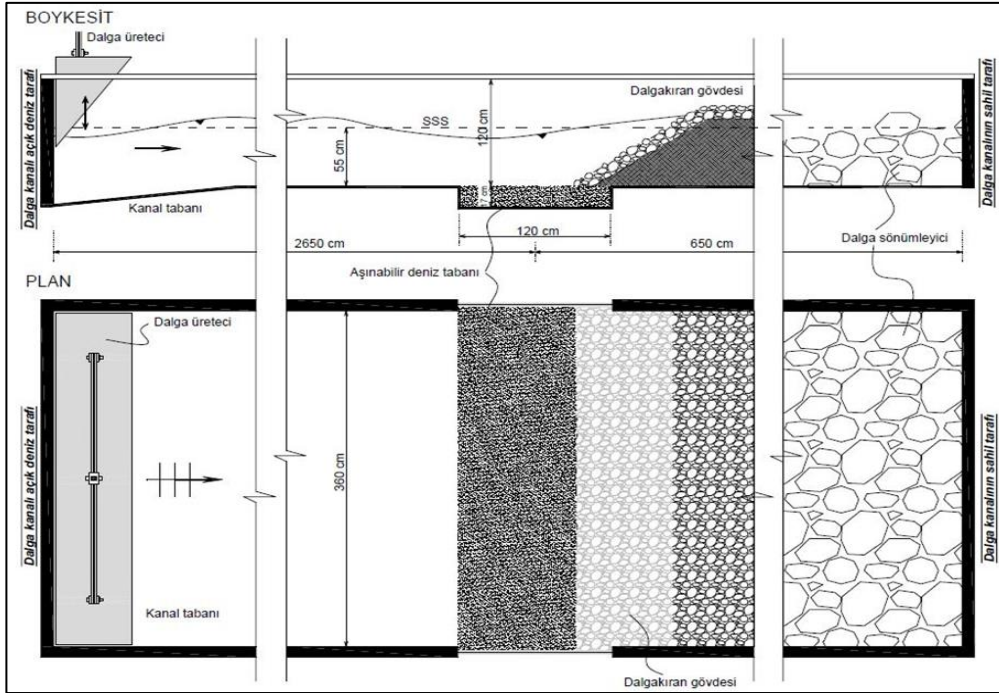
Sunulan çalışmada şevli yüzü dalgakıran topuğunda dalga etkisi sonucu meydana gelen yerel zemin hareketleri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler sırasında taş dolgu dalgakıran modelinde dalga üretici aracılığıyla düzenli dalgalar üretilmiş ve dalgakıran önünde yer alan taban malzemesindeki oyulma değerleri incelenmiştir. Ölçümler UVP ve ULS cihazları aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. UVP (Ultrasonic Velocity Profiler) cihazı kullanılarak hem zamana bağlı yerel zemin hareketi ölçümleri hem de farklı noktalarda zamana bağlı su partikülü hızları elde edilmiştir. ULS cihazı ile zamana bağlı su seviyesi ölçümü gerçekleştirilmiş ve böylece dalga kanalındaki farklı kesitlerde dalga karakteristikleri belirlenmiştir. Deneyler sırasında çeşitli şev eğimi, dane çapı ve dalga tipleri kullanılmış ve bu

sayede farklı deneysel koşullar oluşturulmuştur. Her bir deneysel koşul iki defa gerçekleştirilerek sonuçların teyit edilmesi amaçlanmıştır.

Deneysel olarak kullanılan dalga kanalı ve taş dolgu dalgakıranının genel görünümü ile şematik gösterimi sırası ile Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Deneysel olarak kullanılan dalga kanalı ve taş dolgu dalgakıranının genel görünümü.



Şekil 2. Deneysel düzeneğin şematik gösterimi

ULS cihazıyla deneylerde iki noktada su seviyesi ölçümü yapılmıştır. Su seviyesini ölçmek için

Ultra Level System (ULS) 80D cihazı ve buna bağlı çalışan Ultra Sound Sensor (USS20130) algılayıcıları kullanılmıştır. Cihaz, zamana bağlı

su seviyelerini ölçümlerini ultrasonik yöntemi ile gerçekleştirmektedir. Elde edilen su seviye verileri ile dalga periyodu, dalga yüksekliği ve dalga boyları belirlenmiştir. Şekil 3' te ULS cihazı ve algılayıcıları görülmektedir.



Şekil 3. ULS 80D cihazı ve USS 20130 algılayıcıları

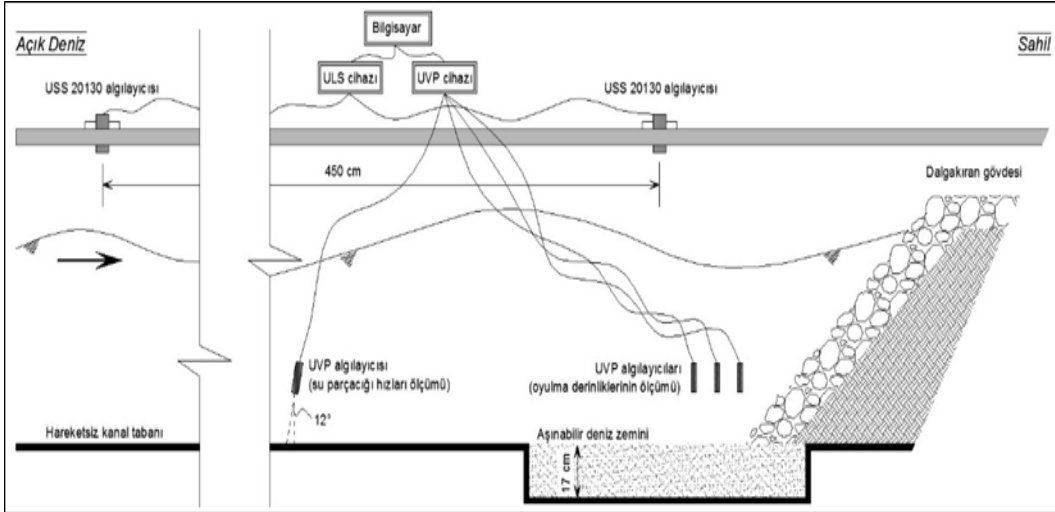
UVP cihazı genel olarak açık kanallarda ve serbest yüzeyle akımlarda hız profillerinin çıkarılması amacıyla kullanılmaktadır. Ancak cihazın farklı bir özelliği kullanılarak algılayıcı ile taban arasındaki uzaklık, zamana bağlı olarak elde edilebilmektedir. Bu sayede taban malzemesinde gerçekleşen oyulma ve birikmeler zaman bağlı olarak belirlenmektedir (Güney ve diğ., 2013). Şekil 4'te UVP Cihazı görülmektedir.



Şekil 4. UVP cihazı

Deneylerde UVP (Ultrasonic Velocity Profiler) cihazı kullanılarak taban malzemesinin yer aldığı bölgede belirli noktalarda gerçekleşen oyulma ve yığılma değerleri zamana bağlı olarak ölçülmüştür.

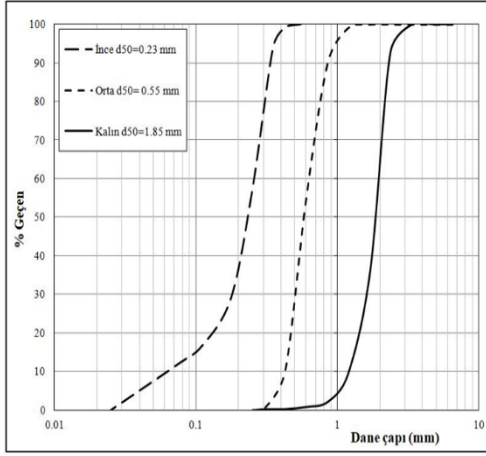
Ölçüm cihazlarının deney düzeneğindeki yerleşimleri Şekil 5'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5. Ölçüm cihazının şematik gösterimi

Dalgakıran önünde yer alan zemin malzemesinin dane çapı, yerel oyulma mekanizması açısından büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple deneylerde kullanılmış olan taban malzemelerinin ortalama dane çapları, elek analizi ile hesaplanmıştır. Şekil 6'da,

üç farklı malzeme için yapılmış olan elek analizi deneylerine ait sonuçlar görülmektedir.



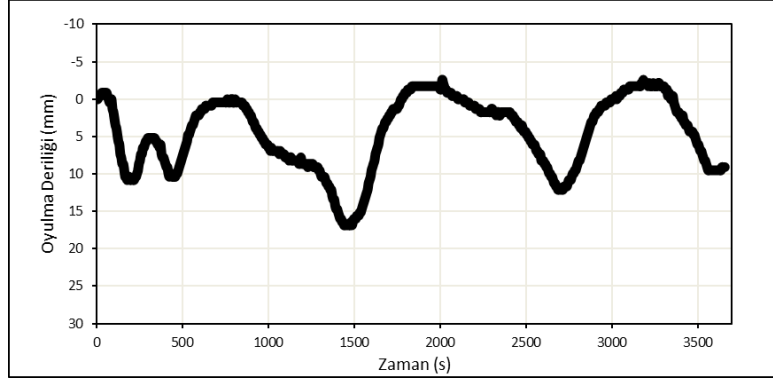
Şekil 6. Elek analizi sonuçları

3.Bulgular

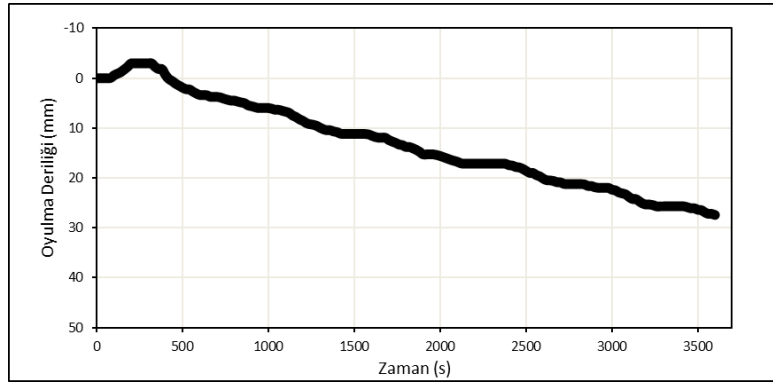
Çalışma kapsamında, üç farklı irilikte taban malzemesi, üç farklı dalga karakteristiği ve iki farklı dalgakıran şev açısı ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylere ait özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de yer alan H, T_w ve L simgeleri sırası ile dalga yüksekliği, dalganın periyodu ve dalga boyunu temsil etmekte, d_{50} kullanılan taban malzemesinin dane medyan çapını göstermektedir. Ayrıca U_m dalgalar sonucu taban seviyesinde oluşan maksimum su partikülü hızını simgelemektedir. UVP cihazı ile ölçülen maksimum oyulma derinlikleri (S_{max}) ve göreceli oyulma derinliği (S_{max}/H) değerleri de Tablo 1 'de verilmiştir. Yapılan deneylere ait UVP ölçümleri Şekil 7 ile Şekil 24 arasında verilmiştir.

Tablo 1.. Deneysel koşullar ve maksimum oyulma derinlikleri

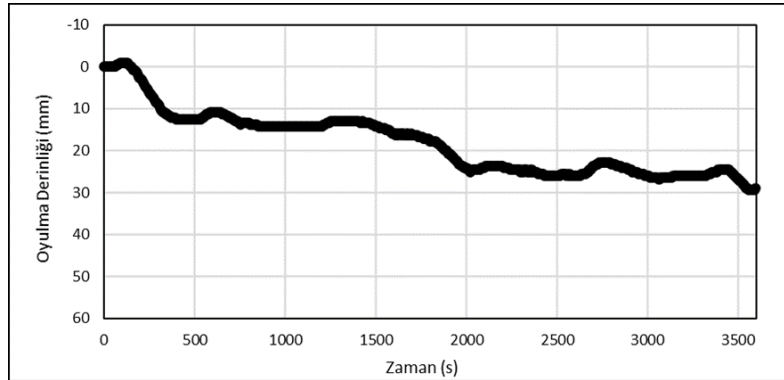
Deney No	Statik Su Seviyesi (cm)	d_{50} (mm)	H (cm)	T_w (sn)	L (cm)	Dalgakıran Şev Açısı (°)	U_m (cm/sn)	S_{max} (mm)	S_{max}/H
1	55	0.23	17	3.1	700	29.74	32.9	17.72	0.1042
2	55	0.23	17	3.1	700	33.69	32.9	29.39	0.1729
3	55	0.23	20	2.7	600	29.74	37.5	31.55	0.1577
4	55	0.23	20	2.7	600	33.69	37.5	32.41	0.1621
5	55	0.23	22	2.3	500	29.74	39.8	35.44	0.1772
6	55	0.23	22	2.3	500	33.69	39.8	40.19	0.2009
7	55	0.55	17	3.1	700	29.74	32.9	6.13	0.0373
8	55	0.55	17	3.1	700	33.69	32.9	7.44	0.0438
9	55	0.55	20	2.7	600	29.74	37.5	9.82	0.0491
10	55	0.55	20	2.7	600	33.69	37.5	9.95	0.0498
11	55	0.55	22	2.3	500	29.74	39.8	6.34	0.0288
12	55	0.55	22	2.3	500	33.69	39.8	12	0.0546
13	55	1.85	17	3.1	700	29.74	32.9	4.55	0.0267
14	55	1.85	17	3.1	700	33.69	32.9	4.84	0.0242
15	55	1.85	20	2.7	600	29.74	37.5	1.18	0.0054
16	55	1.85	20	2.7	600	33.69	37.5	3.77	0.0189
17	55	1.85	22	2.3	500	29.74	39.8	1.84	0.0084
18	55	1.85	22	2.3	500	33.69	39.8	3.08	0.014



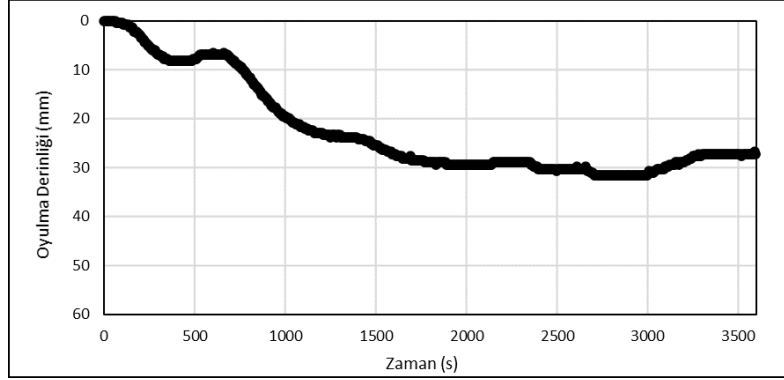
Şekil 7. Deney 1 için zamana bağlı oyulma grafiği



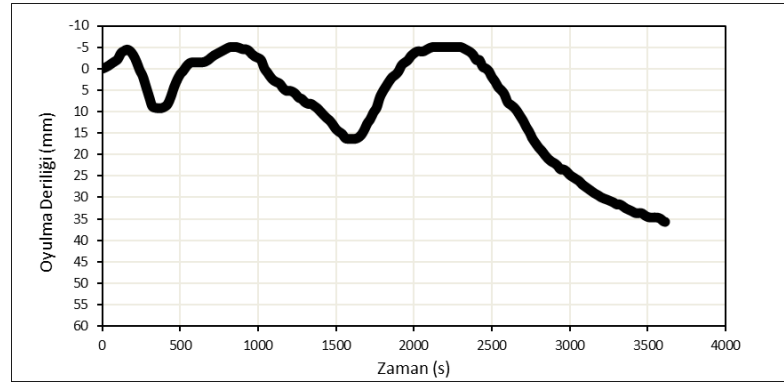
Şekil 8. Deney 2 için zamana bağlı oyulma grafiği



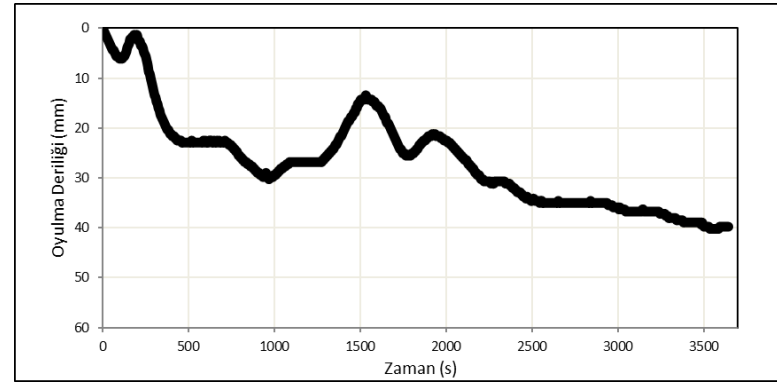
Şekil 9. Deney 3 için zamana bağlı oyulma grafiği



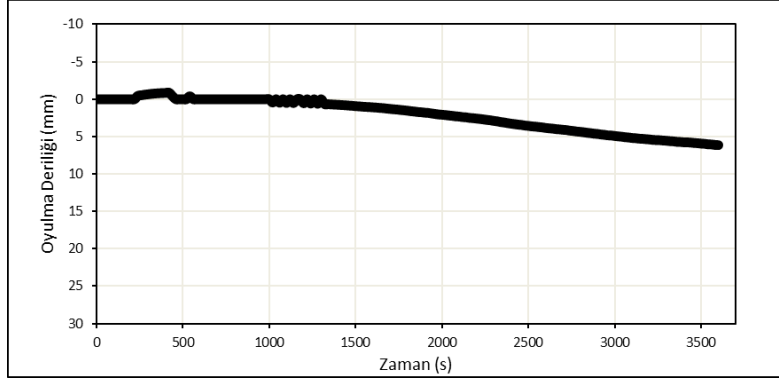
Şekil 10. Deney 4 için zamana bağlı oyulma grafiği



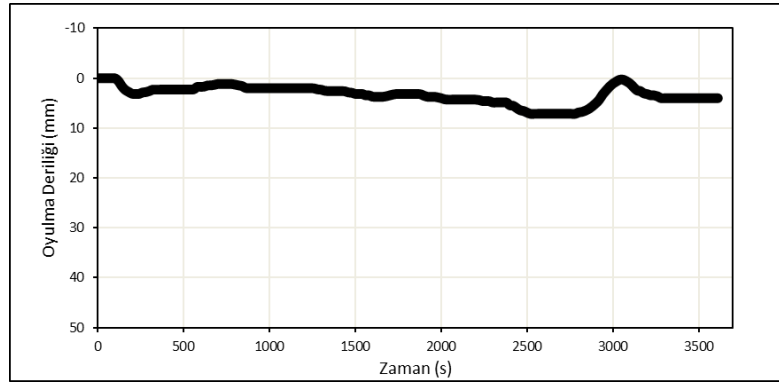
Şekil 11. Deney 5 için zamana bağlı oyulma grafiği



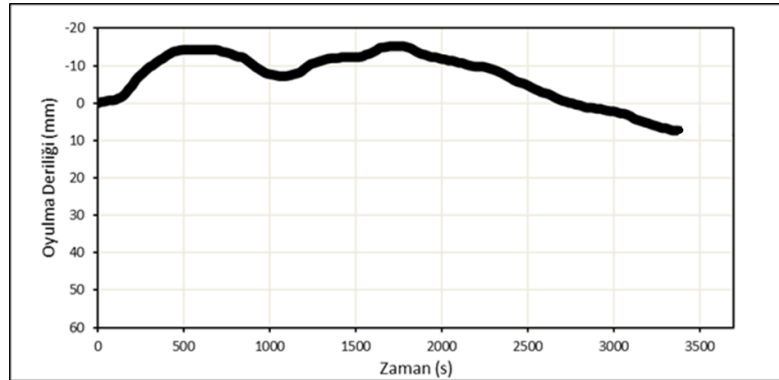
Şekil 12. Deney 6 için zamana bağlı oyulma grafiği



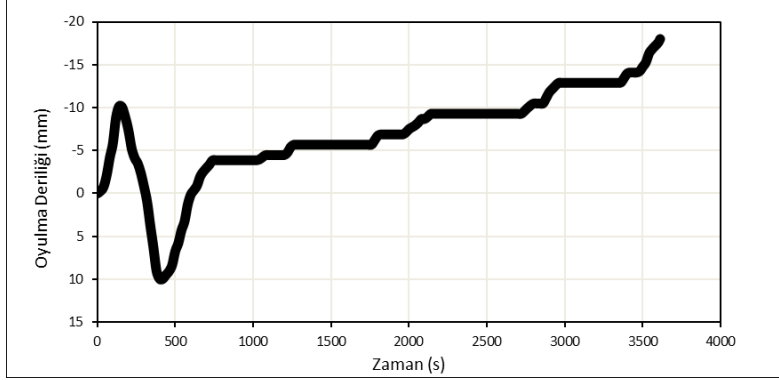
Şekil 13. Deney 7 için zamana bağlı oyulma grafiği



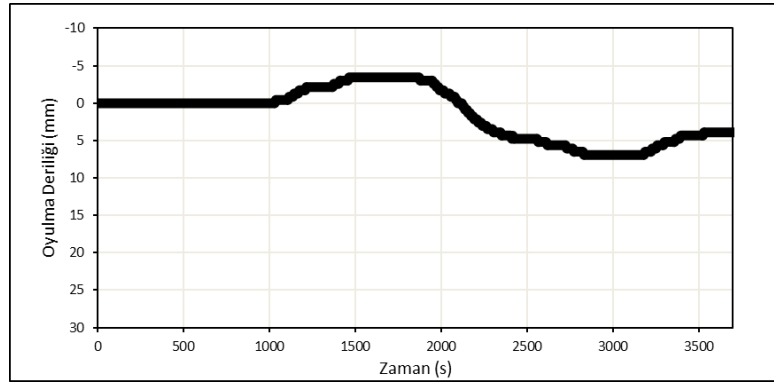
Şekil 14. Deney 8 için zamana bağlı oyulma grafiği



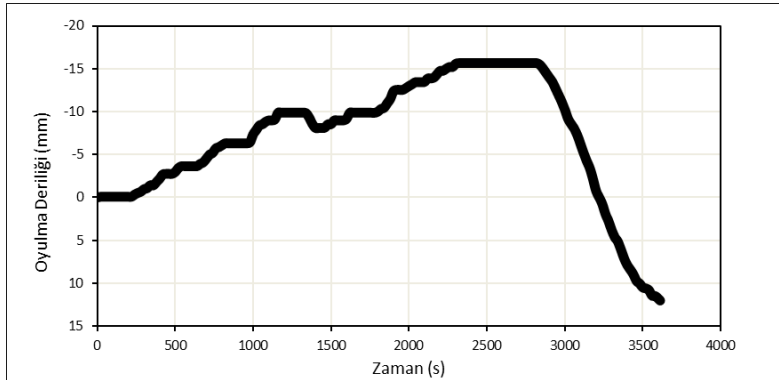
Şekil 15. Deney 9 için zamana bağlı oyulma grafiği



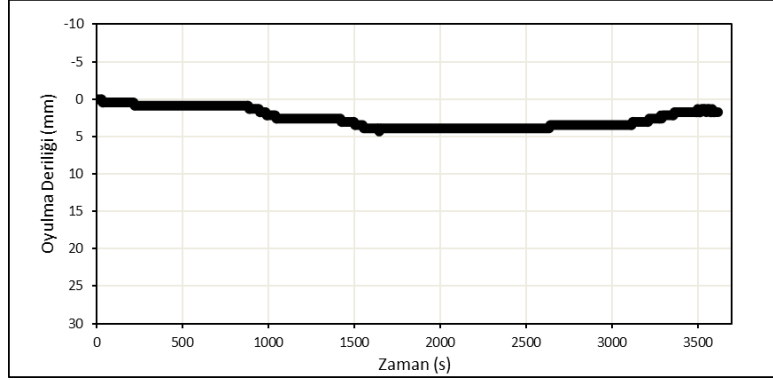
Şekil 16. Deney 10 için zamana bağlı oyulma grafiği



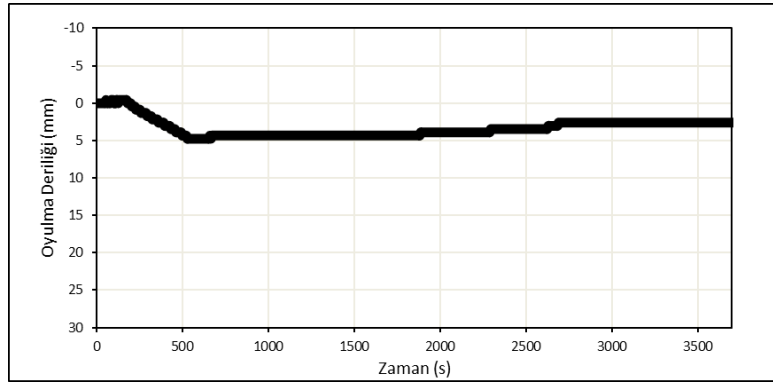
Şekil 17. Deney 11 için zamana bağlı oyulma grafiği



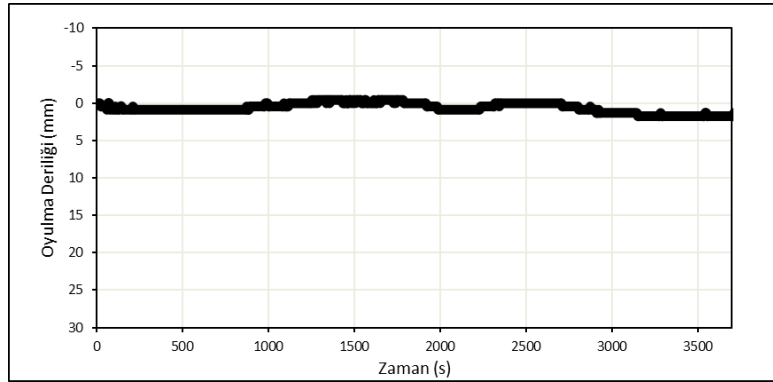
Şekil 18. Deney 12 için zamana bağlı oyulma grafiği



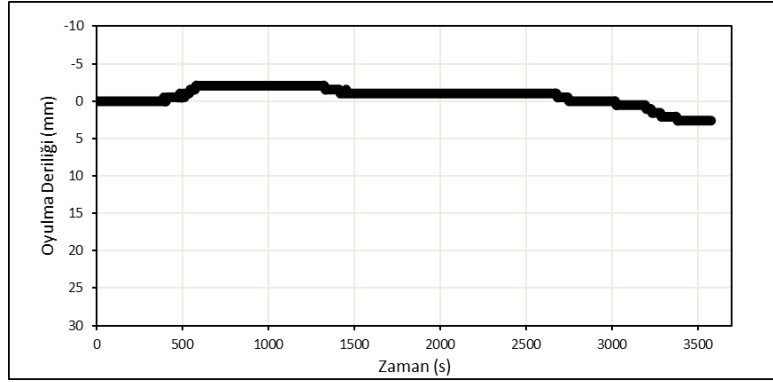
Şekil 19. Deney 13 için zamana bağlı oyulma grafiği



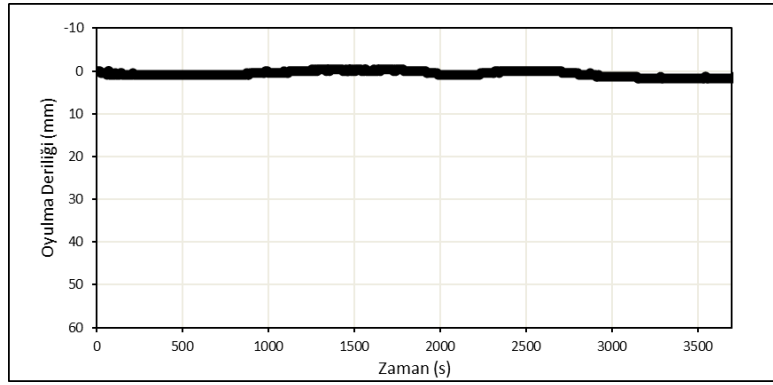
Şekil 20. Deney 14 için zamana bağlı oyulma grafiği



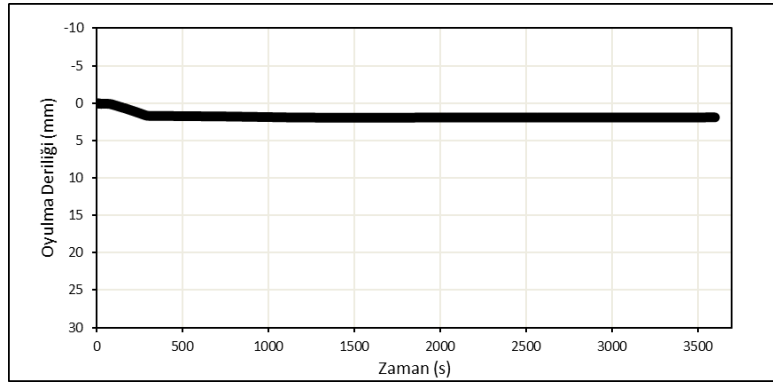
Şekil 21. Deney 15 için zamana bağlı oyulma grafiği



Şekil 22. Deney 16 için zamana bağlı oyulma grafiği



Şekil 23. Deney 17 için zamana bağlı oyulma grafiği



Şekil 24. Deney 18 için zamana bağlı oyulma grafiği

Literatür özeti içerisinde verilen Sümer ve Fredsøe (2000) çalışmasında $d_{50}=0.2$ mm malzeme için şev eğimine bağlı Denklem 1'deki ampirik formülü önerilmiştir. Burada $f(\alpha)$ şev

eğimine bağlı değişen bir fonksiyon, h dalgalanmamış su seviyesi, L ise dalga boyunu temsil etmektedir. Denklem 2'de $f(\alpha)$

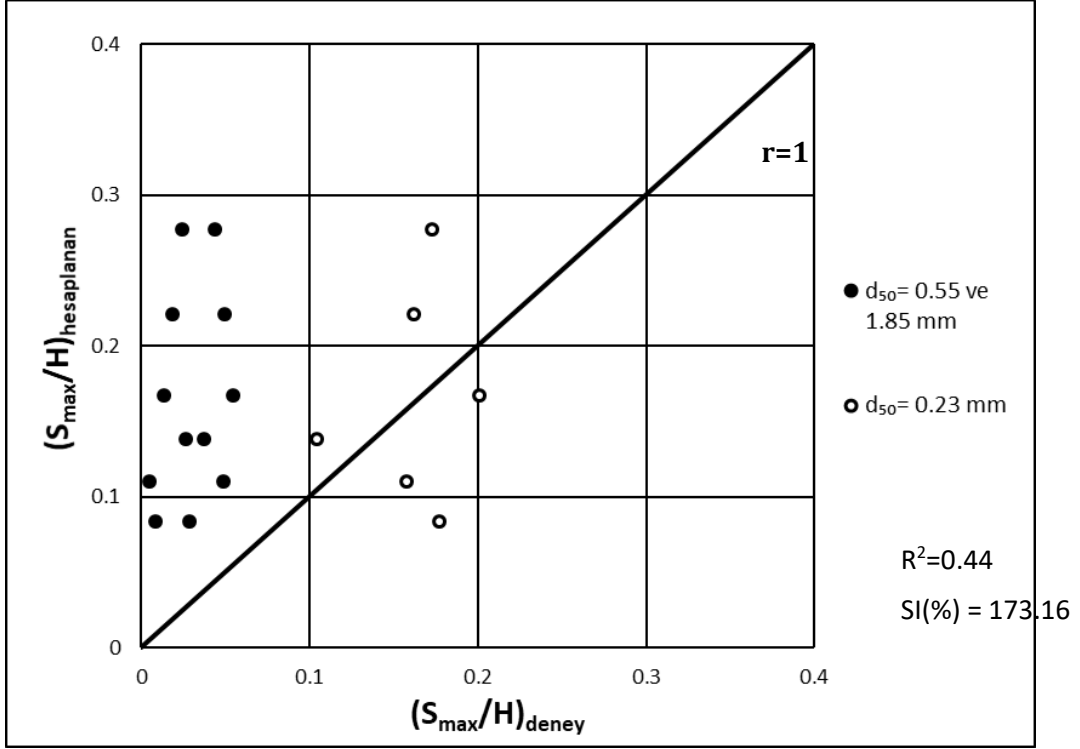
fonksiyonun hesabı verilmiş olup " α " şev açısıdır [2]. Bahsedilen çalışmada verilen ampirik formülasyon ile hesaplanan $(S_{max}/H)_{hesaplanan}$ değerleri ile bu çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucu elde edilen $(S_{max}/H)_{deneysel}$ değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Koşullar için oluşturulan saçılma diyagramı ise Şekil 25'te gösterilmiştir.

$$\frac{S}{H} = \frac{f(\alpha)}{\left(\sin h\left(\frac{2\pi h}{L}\right)\right)^{1.35}} \quad (1)$$

$$f(\alpha) = 0.3 - 1.77 \exp\left(-\frac{\alpha}{15}\right) \quad (2)$$

Tablo 2. Deneysel ve hesaplanan (S_{max}/H) değerleri

Deney No	d_{50} (mm)	H (cm)	Tw (sn)	Dalgakıran Şev Açısı (°)	S_{max} (mm)	$(S_{max}/H)_{deneysel}$	$f(\alpha)$	$(S_{max}/H)_{hesaplanan}$
1	0.23	17	3.1	29.74	17.72	0.1042	0.0563	0.1382
2	0.23	17	3.1	33.69	29.39	0.1729	0.1127	0.2768
3	0.23	20	2.7	29.74	31.55	0.1577	0.0563	0.1101
4	0.23	20	2.7	33.69	32.41	0.1621	0.1127	0.2205
5	0.23	22	2.3	29.74	35.44	0.1772	0.0563	0.0833
6	0.23	22	2.3	33.69	40.19	0.2009	0.1127	0.1669
7	0.55	17	3.1	29.74	6.13	0.0373	0.0563	0.1382
8	0.55	17	3.1	33.69	7.44	0.0438	0.1127	0.2768
9	0.55	20	2.7	29.74	9.82	0.0491	0.0563	0.1101
10	0.55	20	2.7	33.69	9.95	0.0498	0.1127	0.2205
11	0.55	22	2.3	29.74	6.34	0.0288	0.0563	0.0833
12	0.55	22	2.3	33.69	12	0.0546	0.1127	0.1669
13	1.85	17	3.1	29.74	4.55	0.0267	0.0563	0.1382
14	1.85	17	3.1	33.69	4.84	0.0242	0.1127	0.2768
15	1.85	20	2.7	29.74	1.18	0.0054	0.0563	0.1101
16	1.85	20	2.7	33.69	3.77	0.0189	0.1127	0.2205
17	1.85	22	2.3	29.74	1.84	0.0084	0.0563	0.0833
18	1.85	22	2.3	33.69	3.08	0.014	0.1127	0.1669



Şekil 25. Deney ve hesaplanan S/H değerleri için saçılma diyagramı

Aynı zamanda ek olarak, determinasyon katsayısı (R^2) Denklem 3'te verilen formülasyonla hesaplanmıştır. Bu denklemde SSE ve SSR değerlerinin hesaplanması sırasıyla Denklem 4 ve Denklem 5'te verilmiştir.

$$R^2 = \frac{SSR}{SSR + SSE} \quad (3)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4)$$

$$SSR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (5)$$

Burada, n verilerin sayısını, y_i $(S_{\max}/H)_{\text{deneysel}}$ değerlerini, \hat{y}_i ampirik formülden hesaplanan $(S_{\max}/H)_{\text{hesaplanan}}$ değerlerini ve \bar{y} değeri ise $(S_{\max}/H)_{\text{deneysel}}$ verilerinin ortalamasını göstermektedir.

Deneyel veriler ile hesaplanan değerler arasındaki hata farkının ortalaması Denklem 6 vasıtasıyla ve saçılma indeksi SI değeri de Denklem 7 ile hesaplanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{SSE}{n}} \quad (6)$$

$$SI(\%) = \frac{RMSE}{\bar{y}} * 100 \quad (7)$$

Şekil 25'te saçılma diyagramı üzerinde, bütün sonuçlara ait R^2 ve $SI(\%)$ değerleri verilmiştir.

0.23 mm dane medyan çapına sahip malzeme için deneysel sonuçlarla ampirik formül ile hesaplanan değerlerin karşılaştırılması için R^2 ve $SI(\%)$ değerleri de hesaplanmıştır. $R^2 = 0.73$ ve $SI(\%) = 41.74$ değerleri bulunmuştur. Sadece 0.23 mm malzeme için yapılan karşılaştırma, tüm malzemeler için yapılan karşılaştırmaya nispeten daha uyumlu R^2 ve $SI(\%)$ değerleri vermiştir. Denklem 1'de verilen ampirik formül 0.20 mm malzeme ile yapılan deneylerden elde edilmiş bir formül olduğu için görece iri daneli malzemeler için doğru sonuçlar vermediği görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Şevli yüzölçümü taş dolgu dalgakıran uygulamalarında temel olarak farklılık gösterecek durumlar; taban malzemesi, şev eğimi ve dalga durumudur. Taş dolgu dalgakıranların stabilitesini etkileyecek olan topuk bölgesindeki oyulmaların, bu durumların farklı senaryoları için deneysel olarak araştırılmıştır. Üç farklı dalga durumu, üç farklı irilikteki malzeme ve iki farklı şev eğimi durumu için yapılan deneyler sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Maksimum oyulma derinliği taban malzemesinin dane medyan çapı küçüldükçe artmaktadır. Dolayısıyla göreceli oyulma derinliğinde dane medyan çapı küçük olan malzemelerde daha yüksektir. Dane medyan çapı 1.85 mm olan malzeme için oyulmalar maksimum 4.84 mm gibi görece bir değerdir. Ama dane medyan çapı 0.23 mm olan malzeme için oyulmalara 40 mm değerlerine ulaşmakta bu değer göreceli oyulma derinliği için 0.2 değerlerine karşılık gelmekte ve tasarım esnasında göz ardı edilmeyecek düzeyde olmaktadır.

Dalgakıran şev açısı büyüdükçe maksimum oyulma derinliği ve göreceli oyulma derinliği değeri artmıştır. Eğimin artması sonucunda dalgakıran toğuşunda oluşacak oyulmalarda artacaktır. Dolayısıyla göreceli olarak eğimin fazla olduğu dalgakıranlar için oyulma konusu dikkatli analiz edilmelidir.

Denizlerde düzenli dalgalardan söz etmek mümkün değildir. Oluşacak dalgalar düzensiz yapıda olup farklı yükseklikte ve periyotta dalgalardan oluşmaktadır. Fakat uygulama kolaylığı açısından belirli yükseklikte ve periyotta düzenli dalgalar altında topuk oyulmaları incelemek ön tasarım aşamasında, mertebe açısından yakın sonuçlar verecektir. Esas olan dalgakıran yapılacak bölgeden en az 12 aylık (4 mevsim) dalga kaydı alıp belirgin dalga yüksekliklerini belirleyip deneyler yapılmasıdır.

Tablo 2 ve Şekil 25’de görüldüğü üzere $d_{50}=0.23$ mm malzeme için yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen S_{max}/H değerleri ile ampirik formülle hesaplanan S_{max}/H değerleri tutarlıdır. Göreceli olarak iri malzeme durumunda S_{max}/H değerleri uyumsuzdur ve bu beklenen bir sonuçtur. Bu durum yapılan deneylerin, mevcut çalışmalarda verilen sonuçlarla tutarlı olduğunu göstermektedir.

Teşekkür

Yazarlar, 218M445 nolu araştırma projesi kapsamında finansal destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu’na (TÜBİTAK) teşekkürlerini sunmaktadır.

Kaynakça

- [1] Lee, K. H., Mizutani, N. 2008. Experimental study on scour occurring at a vertical impermeable submerged breakwater, Applied Ocean Research, Cilt. 30, s. 92-99, DOI: 10.1016/j.apor.2008.06.003
- [2] Sümer M. B., Fredsøe, J. 2000. Experimental study of 2D scour and its protection at a rubble-mound breakwater, Coastal Engineering, Cilt. 40, S. 59-87, DOI: 10.1016/j.apor.2008.06.003
- [3] Myrhaug, D., Rue, H., Tørum, A. 2004. Tentative engineering approach to scour around breakwaters in random waves, Coastal Engineering, Cilt. 51, s. 1051-1065. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2004.07.022
- [4] Sümer M. B., Fredsøe, J. 1997. Scour at the round head of a rubble-mound breakwater, Coastal Engineering, Cilt. 29, s. 231-261. DOI: 10.1016/S0378-3839(96)00025-7
- [5] Van Gent, M. R., Van der Werf, I. M. 2014. Rock toe stability of rubble mound breakwaters, Coastal Engineering, Cilt. 83, s. 166-176. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2013.10.012
- [6] Tahersima, M., Yeganeh, B., Hajivalie, A. 2011. Scour pattern in front of vertical breakwater with wave overtopping, 11th International Coastal Symposium, Poland.
- [7] Cokgor, S., Durmus, O. 2018. 3D Experimental Analysis of Turbulence Induced Scour in Front of the Ruble Mound Breakwater, Journal of Coastal Research, Cilt. 85, s. 1251-1255. DOI: 10.2112/SI85-251.1