ÖHÜ Müh. Bilim. Derg. / OHU J. Eng. Sci.

ISSN: 2564-6605
doi: 10.28948/ngumuh.634708
Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 3, (2019), 183-196
Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences, Volume 8, Issue 3, (2019), 183-196

21. Ulusal Mekanik Kongresi Özel Sayısı
21st National Mechanics Congress Special Issue

Araştırma / Research

GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİĞİ YARDIMIYLA ELDE EDİLEN DENEYSEL SONUÇLARIN HİBRİD SAYISAL DALGA MODELİNİN PERFORMANS ANALİZİNDE KULLANIMI

Kutsi S. ERDURAN (ORCID: 0000-0002-3742-1242)[1,*]
Ahmet Şakir DOKUZ (ORCID: 0000-0002-1775-0954)[2]
Uğur ÜNAL (ORCID: 0000-0002-1321-074X)[1]

[1]Niğde Ömer Halisdemir Üniveristesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye.
[2]Niğde Ömer Halisdemir Üniveristesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye.

Geliş / Received: *18.10.2019*
Kabul / Accepted: *22.11.2019*

ÖZ

Bu çalışmanın iki amacı vardır. İlk olarak, dalga yayılımlarının modellenmesinde kullanılan sayısal hibrid dalga modelinin performansının iki farklı şekilde elde edilen deneysel çalışma sonuçları kullanılarak belirlenmesi, ikincisi ise deney sonuçlarının sayısallaştırılmasında kullanılan yöntemlerden biri olan görüntü işleme tekniğinin benzer çalışmalarda kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Sayısal model, Boussinesq denklemlerinin hibrid çözümüne dayanmaktadır. Hibrid çözüm, sonlu hacim yönteminin, Boussinesq denklemlerinin konservatif kısmına uygulanması ve sonlu fark yönteminin, daha yüksek dereceli dispersif terimleri içeren geri kalan terimlere uygulanmasıyla oluşturulmuştur. Bu çalışmada öncelikle Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi inşaat mühendisliği bölümü hidrolik laboratuvarında bulunan kanalda çeşitli dalga özelliklerine sahip bir dizi dalga yayılım deneyi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, gözle okuma ve görüntü işleme tekniği ile elde edilen dalga yayılım deneylerine ait su yüzü profillerinin sayısal sonuçlarının, hibrid sayısal model sonuçları ile karşılaştırılması yapılarak modelin performans analizi yapılmıştır. Ayrıca, görüntü işleme tekniğinin deneyler esnasında gözlenen su yüzü profillerinin sayısal değerlerinin elde edilmesinde ne derecede kullanılabilir olduğunun değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: hibrid sayısal dalga modeli, fiziksel dalga modeli, görüntü işleme tekniği, Boussinesq denklemleri, sonlu farklar ve sonlu hacim yöntemleri

PERFORMANCE ANALYSIS OF A HYBRID NUMERICAL WAVE MODEL BASED ON EXPERIMENTAL RESULTS OBTAINED BY IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

ABSTRACT

The aim of this study has two folds; to determine the performance of numerical hybrid wave model used in modelling of wave propagation by comparing the numerical results with the experimental results, which obtained in two different ways and to investigate the applicability of image processing technique, which has implemented to digitize the observed water surface profiles during the experiments, to similar studies. The numerical model is based on a hybrid solution of the Boussinesq equations. The hybrid solution has formed by the application of the finite volume method to the conservative part of the recast Boussinesq equations and finite-difference method to the remaining terms including the higher order dispersive terms. In this study, firstly, a series of experiments with various wave characteristics has been conducted in a flume in the hydraulic laboratory of civil engineering department at Niğde Ömer Halisdemir University. Then, the performance of the model was assessed by comparing the digitized water surface profiles obtained by reading and implementing image processing

[*]Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: 0388 225 22 88; e-mail / e-posta: kserduran@ohu.edu.tr

techniques. In addition, the extent of the applicability of image processing technique to digitize water surface profiles was evaluated.

Keywords: numerical hybrid wave model, physical wave model, image processing technique, Boussinesq equations, finite difference and finite volume methods

1. GİRİŞ

Kıyı bölgeleri hava, deniz ve kara kütlerinin kesişim noktası olarak tanımlanmaktadır [1,2]. Bu bölgelerde meydana gelen ve oldukça karmaşık bir mekanizmaya sahip olan dinamik dengeler ise kıyı hidrolik sistemini oluşturmaktadır [1]. Kıyı bölgeleri sürekli olarak dalgaların etkisi altında olan dünyanın en değişken ve savunmasız bölgeleridir. Kıyı bölgeleri dünya kara alanlarının %15'inden daha azını kaplamasına rağmen, dünya nüfusunun yaklaşık %44'ü bu bölgelerde yaşamaktadır [3,4]. Bu sebeple kıyı bölgelerinde oluşacak taşkın ve erozyon riskini azaltmak kıyı bölgelerinin korunması anlamında daha da fazla önem kazanmaktadır. Kıyı bölgelerinin korunması ise bu bölgelere yapılacak olan kıyı yapıları ile sağlanmaktadır.

Kıyı bölgeleri ile açık deniz yapılarının tasarımı ve bu bölgelerin korunması, derin sulardan sığ sulara doğru yayılım hareketi gösteren dalgaların karakteristik özelliklerinin doğru şekilde hesaplanması ile mümkün olmaktadır. Dalga yayılım hareketi ve özelliklerinin belirlenmesi için ise günümüzde yaygın olarak sayısal modeller kullanılmakta ve bu sayede dalgaların doğadaki davranışları deneysel çalışmaların yanı sıra nümerik olarak da belirlenebilmektedir.

Dalga hareketlerinin sayısal modellenmesi değişik formlardaki Boussinesq denklemlerinin nümerik çözümü kullanılarak yapılmaktadır [5,6]. Boussinesq denklemlerinin orijinal hali olan ve Boussinesq [7] tarafından 1872 yılında yatay bir taban durumu ve sadece düşük dereceli dispersif terimlerinin sığ su denklemleri ile birlikte kullanıldığı denklemlerin yerini, günümüzde değişken taban durumları ve çok daha geniş bir yelpazede dalga davranışlarını kapsayacak şekilde doğrusal olmayan yüksek dereceden dispersif terimleri de içeren yeni denklemler almıştır. Denklemlerin sayısal çözümlerinin geçmişine baktığımızda sonlu farklar ile başlayan çözümlerin yerini sırasıyla sonlu elemanlar ve günümüzde hibrid olarak adlandırılan sonlu hacimler ve sonlu farklar yönteminin birlikte kullanılmasından elde edilen yöntemlerin aldığı görülmektedir [8].

Sayısal modeller yaygın olarak yukarıda bahsedilen amaçlar doğrultusunda kullanılmakla birlikte güvenilirlik testlerinde akım durumunun kompleks yapısından dolayı bir takım zorluklar yaşanmaktadır. Çoğu zaman laboratuvar deney sonuçları ile model sonuçları karşılaştırılarak yapılan bu testlerde en büyük sorunlardan birisi deney sonuçlarının sayısallaştırılmasıdır. Deney sonuçlarının sayısallaştırılmasında kullanılan yöntemlerden biri de görüntü işleme tekniğidir [9-13].

Bu çalışmada laboratuvar ortamında iki farklı sakin su seviyesine sahip yatay dikdörtgen bir kanalda farklı karakteristikte üretilen su dalgalarının, su yüzü profilleri açısından deneysel çalışmalarla sayısal model arasında karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırmada klasik gözle okuma ve görüntü işleme tekniği ile elde edilen deney sonuçlarından yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sayısal modelin performans değerlendirilmesi yapılmış, aynı zamanda görüntü işleme tekniğinin de su yüzü profillerinin sayısal değerlerinin elde edilmesinde ne derecede başarılı/güvenilir olduğu ve benzer çalışmalardaki deneylere uygulanabilirliği araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Derin Su ve Geçiş Derinliği Su Dalgaları

Dalgalar d/L ile ifade edilen göreceli derinliğe bağlı olarak derin su dalgası, geçiş derinliği dalgası ve sığ su dalgası olarak sınıflandırılmaktadır [14]. Bu çalışmada derin su ve geçiş derinliği su dalgaları incelendiğinden bu dalgalarla ilgili bilgiler verilmektedir. Derin su dalgası sakin su seviyesinin dalga boyuna oranının 0.5'ten büyük olması ($d/L > 0.5$) durumunda geçerlidir, geçiş derinliği dalgası ise bu oranın 0.05 ile 0.5 değerleri arasında olduğu ($0.05 < d/L < 0.5$) durumlarda kullanılmaktadır. Her iki durumda da dalga boyu Eşitlik (1) ile hesaplanmaktadır. Fakat derin su dalgalarında d/L oranı büyük olduğundan Eşitlik (1)'de görülen ifadenin $\tanh(2\pi d/L)$ kısmı bire yaklaşır ve dalga boyu Eşitlik (2) ile de ifade edilebilir.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi}\tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \tag{1}$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \tag{2}$$

2.2. Hibrid Sayısal Dalga Modeli

Bu çalışmada, Erduran vd., [15] tarafından geliştirilen sayısal model kullanılmıştır. Model Madsen ve Sorensen [16] tarafından 1992 yılında geliştirilen ve Eşitlik (3) ve (4)'te verilen Boussinesq denklemlerinin hibrid çözümünü kullanmaktadır.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} = 0 \tag{3}$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{P^2}{h}\right) + gh\frac{\partial \eta}{\partial x} + \psi_x + \frac{\tau_x}{\rho} = 0 \tag{4}$$

Bu denklemlerde η durgun su seviyesinden itibaren ölçülen su seviyesini, d durgun su seviyesini, P ($P=hu$) hacimsel akıyı, u x yönündeki ortalama hızı, h su derinliğini ve τ_x x yönündeki kayma gerilmesini göstermektedir. ψ_x ise Eşitlik (5)'te verilen yüksek dereceli Boussinesq terimlerini ifade etmektedir. Ayrıca Eşitlik (5)'te görülen B değeri 1/15 değerinde bir katsayıdır.

$$\psi_x = -\left(\mathrm{B}+\frac{1}{3}\right)d^2\left(\frac{\partial^3 P}{\partial x^2 \partial t}\right) - \mathrm{B}gd^3\left(\frac{\partial^3 \eta}{\partial x^3}\right) - d\frac{\partial d}{\partial x}\left(\frac{1}{3}\frac{\partial^2 P}{\partial x \partial t} + 2\mathrm{B}gd\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2}\right) \tag{5}$$

Hibrid çözüm yönteminde öncelikle (3-5) ile verilen eşitlikler sonlu hacimler yönteminin uygulamasına izin verecek şekilde yeniden düzenlenmiştir. Bunun için süreklilik denklemi ve momentum denkleminin bir kısmı konservatif formda ifade edilmiş ve bu kısım sonlu hacimler yöntemi ile ayrıklaştırılmıştır. Eşitliklerde yer alan yüksek dereceli Boussinesq terimleri, sürtünme terimi ve kanal taban eğimini içeren terim sonlu farklar yöntemi uygulanarak ayrıklaştırılmıştır. Sonlu hacimler yöntemi uygulandığında karşımıza çıkan akılar, Riemann çözücüleri olarak bilinen çözücülerden en yaygın kullanılanlardan biri olan Roe çözüm şeması ile hesaplanmıştır [17]. Zamana ve mekâna göre değişen terimlerin ayrıklaştırmalarında dördüncü dereceden doğruluk sağlayacak yöntemler kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda mekânda MUSCL-TVD yöntemi uygulanmışken [18], zamanda sırasıyla önce Adams-Basforth üçüncü dereceden doğruluk sağlayan yöntem sonrasında da dördüncü dereceden doğruluk üreten Adams-Moulton yöntemi uygulanmıştır [19]. Süreklilik denkleminin çözümünde açık çözüm şeması, momentum denkleminin çözümünde ise kapalı çözüm şeması uygulanmıştır. Taban eğimi terimi yüzey eğim metodu adı verilen bir yöntemle çözüme dâhil edilmiş ve böylece değişken taban durumunda dalga yayılım problemlerinin modellemesi yapılabilmiştir.

2.3. Deneysel Kanal

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi inşaat mühendisliği bölümü hidrolik laboratuvarında bulunan deneysel kanal, 309 mm genişliğinde 450 mm derinliğinde ve 10 m uzunluğunda olup dikdörtgen en kesitli bir kanaldır (Şekil 1).



Şekil 1. Deneysel kanalın genel görünümü

Kanalda farklı karakteristiklere sahip dalgalar kanalın mansap bölümüne yerleştirilen bir dalga üreticisi ve buna bağlı olarak çalışan palet yardımıyla ile elde edilmiştir. Dalga üreticisi 230 V gerilim, 50 Hz frekans ve 2.5 kW nominal güce sahiptir (Şekil 2a). Dalga üretmede kullanılan palet ise 440 mm yüksekliğinde ve 300 mm genişliğindedir (Şekil 2b). Paleti hareket ettirmek için frekans dönüştürücülü motor ve krank mekanizması bulunmaktadır ve dalgalar ileri ve geri hareket eden palet aracılığıyla üretilmektedir. Krank mekanizmasının çalışma mesafesi 40 mm ile 200 mm aralığındadır ve bu mesafe belirtilen değerler arasında istenilen ölçüde ayarlanabilmektedir. Kanalın diğer ucunda, üretilen dalgaların geri yansıyan dalgalardan etkilenmemesi için eğimli bir kıyı modeli oluşturularak, dalga tırmanması ile birlikte dalgaların sönümlenmesi ve dalga yansımasının önlenmesi sağlanmıştır (Şekil 3). Kıyı modeli pürüzlü bir yapıya sahip olup 1.3 m uzunluğunda, 304 mm genişliğindedir ve farklı eğimlerde ayarlanabilmektedir. Yapılan deneylerde kıyı modelinin eğimi % 30 olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. a) Dalga üreticisi [20] b) dalga üretmede kullanılan palet

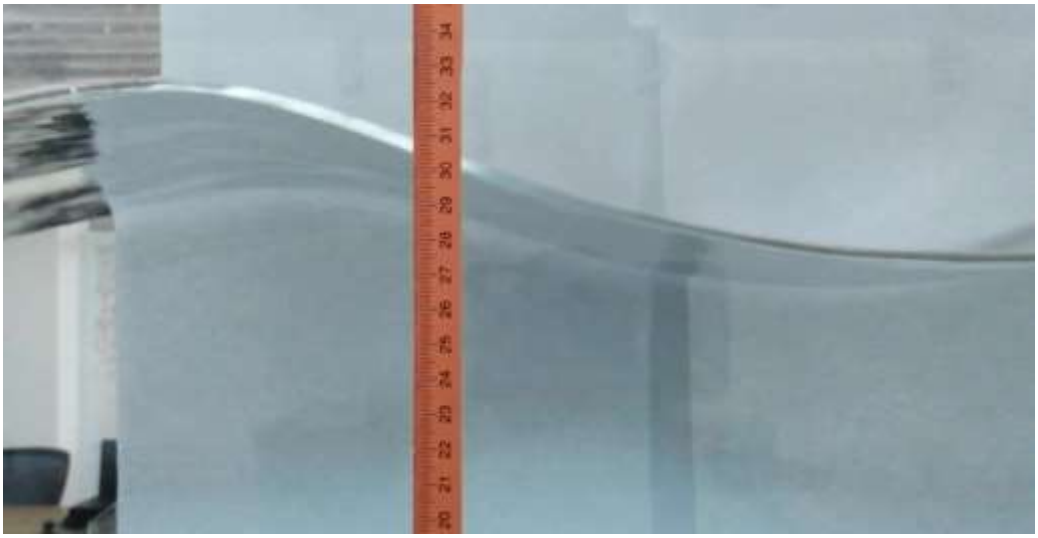


Şekil 3. Deneylerde kullanılan eğimli kıyı modeli

Deneylerde öncelikle derin su dalgası ve geçiş derinliği su dalgaları üretmek için kanal içerisinde 30 cm ve 20 cm'lik sakin su seviyeleri oluşturulmuş ve kanalın eğimi yatay hale getirilmiştir. Dalgalar 30 cm'lik su seviyesi için 1.62 Hz frekansta, 20 cm'lik su seviyesi için ise 1.50 Hz frekansta dalga üreticisi yardımıyla üretilmiştir. Kanalın dalga üreticisinden itibaren Şekil 4'te gösterilen üç noktasında her bir dalga için su yüzü değişimleri kamera ile kaydedilmiştir. Bu noktalar, kıyı modelinin olduğu kanal ucundan itibaren 6.80 m, 5.70 m ve 4.30 m'de seçilmiş ve buralara Şekil 5'te gösterildiği gibi bir şerit metre yerleştirilmiştir. Daha sonra kamera ile bu noktalarda su yüzü profillerinin görüntüsü 1 dakika süre ile kaydedilmiştir. Su yüzü profillerinin sayısallaştırılmasında iki yöntem uygulanmıştır. İlkinde sayısal değerler, kamera kayıtlarının fotoğrafa dönüştürülmesi ve sonrasında bilgisayarda yapılan gözle okumalar neticesinde belirlenmiştir. İkinci yöntemde ise sayısal değerler görüntü işleme tekniği kullanılarak yine kamera kayıtlarından elde edilmiştir. Bu sayede hem gözle okuma hem de görüntü işleme tekniği yardımıyla iki farklı şekilde deneysel çalışma sonucuna dayalı su yüzü profilleri elde edilmiştir.



Şekil 4. Kamera ile görüntü kayıtlarının alındığı yerler



Şekil 5. Deneysel çalışmalarda kullanılan şerit metre

2.4. Görüntü İşleme Tekniği

Bu çalışmada, görüntü işleme sistemi tabanlı bir yöntem kullanılarak su yüzünün hangi zamanda kaçıncı santimetre yüksekliğinde olduğu tespit edilmiştir. Görüntü işleme sistemlerinde yaygın olarak kullanılan kenar tespiti algoritmalarından Canny kenar tespiti algoritması [21,22] kullanılarak su yüzünün resimdeki hangi piksellerde bulunduğunun tespiti yapılmış ve ardından ilgili piksel değerinin kaç santimetreye karşılık geldiği hesaplanmıştır. Bu çalışmada kullanılan görüntü işleme sistemine ait algoritmik yaklaşım Algoritma 1'de sunulmuştur.

Algoritma 1. Su yüzü tespit algoritması

Girdiler:
V: Dalga videosu
başlangıç: Videodaki şeritmetrenin başlangıç santimetre değeri
bitiş: Videodaki şeritmetrenin bitiş santimetre değeri

Çıktı:
su_yuzu_yukseklikleri: Videodaki tüm çerçevelerde tespit edilen su yüzü yükseklikleri

Algoritma:

```
1.  su_yuzu_yukseklikleri = []
2.  çerçeveler = çerçeve-çıkar(V)
3.  for each çerçeve in çerçeveler
4.    [şerit_x, şerit_y] = şeritmetreyi-bul(çerçeve, maske)
5.    kenar_pikseller = kenar-bul(çerçeve[:, 0:şerit_x - 10])
6.    su_yuzu_kenar_piksel = kenar_pikseller[sağ_üst]
7.    su_yuzu = piksel-cm-dönüştür(su_yuzu_kenar_piksel, başlangıç, bitiş)
8.    su_yuzu_yukseklikleri ← su_yuzu
9.  end for
10. return su_yuzu_yukseklikleri
```

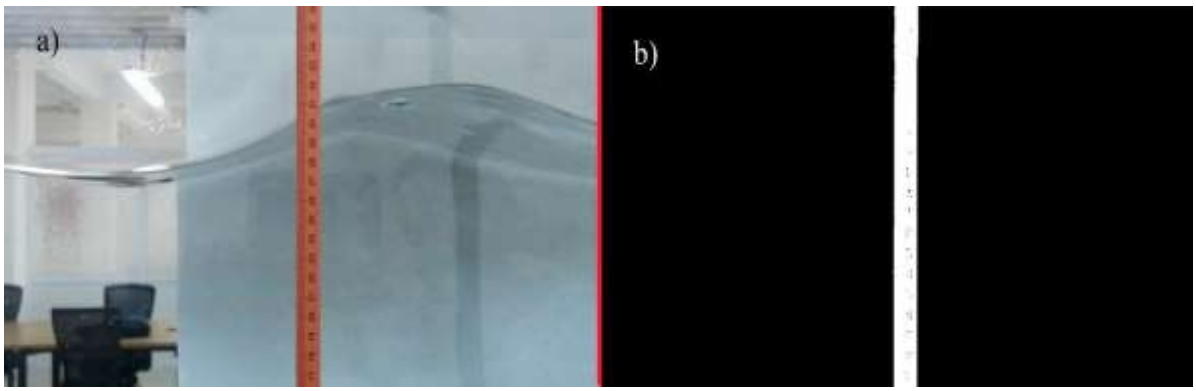
Algoritma 1'de gösterildiği üzere, ilk olarak algoritmaya verilen video çerçeve-çıkar fonksiyonuyla çerçevelere ayrılmaktadır. Daha sonra her bir çerçeve için adımlar 3-9 işletilmektedir. İlk olarak, adım 4'te çerçevedeki şerit metrenin piksel konumu şeritmetreyi-bul fonksiyonuyla tespit edilmektedir. Daha sonra, adım 5'te çerçevenin

şerit metreye kadar olan bölgesindeki kenarlar kenar-bul fonksiyonuyla bulunmaktadır. Adım 6'da, bulunan kenarlar arasında şerit metreye en yakın olan ve en yukarıda bulunan piksel değeri su yüzünün ilgili çerçevedeki piksel değeri olarak alınmaktadır. Adım 7'de, su yüzünün piksel değeri piksel-cm-dönüştür fonksiyonuyla santimetre değerine dönüştürülmekte ve ilgili çerçevedeki su yüzü santimetre türünden bulunmuş olmaktadır. Son olarak, adım 8'de, çerçevede bulunan su yüzü, su yüzü yükseklikleri dizisine eklenmektedir. Adım 10'da, girdi olarak verilen videodaki tüm çerçevelerde tespit edilen su yüzü yükseklikleri algoritma sonucu olarak döndürülmektedir.

Bu bölümün devam eden kısımlarından Algoritma 1'de kısa bir şekilde sunulmuş olan, şeritmetreyi-bul, kenar-bul ve piksel-cm-dönüştür fonksiyonlarında yapılan işlemler detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

2.4.1. şeritmetreyi-bul fonksiyonu

Su yüzü yüksekliği tespiti için geliştirilen görüntü işleme sisteminde, şerit metreyi bulmak için renk farkından faydalanılmıştır. Şerit metre kırmızı renkte hazırlanmıştır ve çekilen videolarda kırmızı renk içeren başka bir nesne bulunmamaktadır. Bu sayede, şerit metrenin her bir çerçevedeki konumu tespit edilebilmiştir. Şerit metrenin tespiti için kırmızı renge ait alt ve üst limit değerlerini içeren iki maske hazırlanmıştır. Bu maskeler arasındaki değerlere sahip olan pikseller tespit edilmiştir, bu pikseller şerit metrenin konumunu göstermektedir. Şekil 6 örnek bir çerçevenin orijinal ve şerit metre bulunan kısmının tespit edilmiş halini ifade etmektedir.

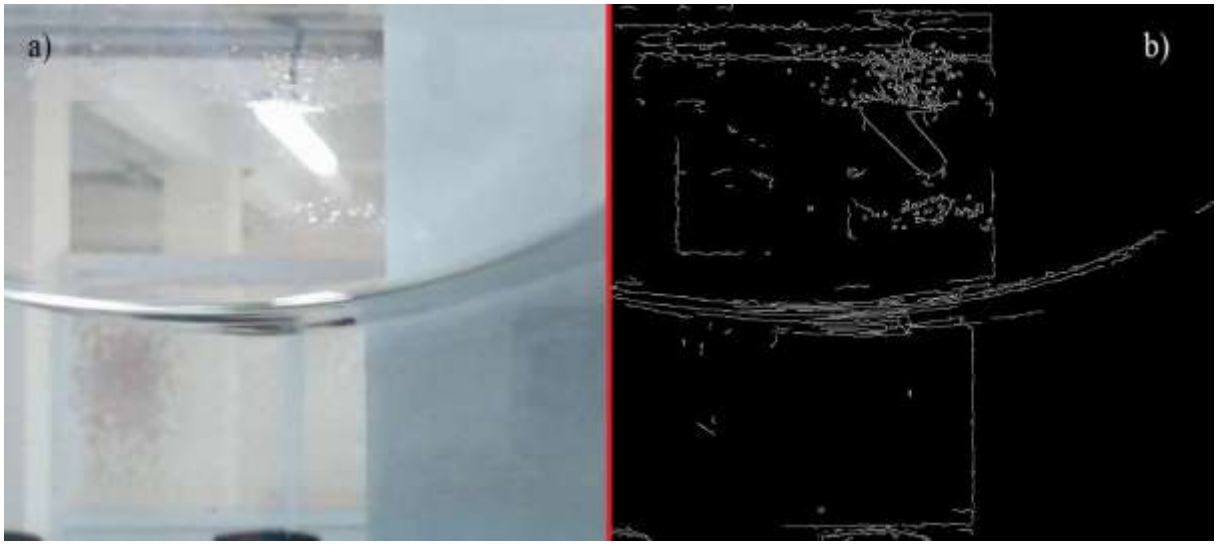


Şekil 6. a) Çerçevenin orijinal hali b) şerit metrenin konumunun maskelenmiş hali

Şekil 6 b)'de tespit edilmiş olan beyaz pikseller Şekil 6 a)'daki kırmızı olan piksellere karşılık gelmektedir. Çerçevenin başka bir yerinde kırmızı renk oluşmadığı için sadece çerçevenin orta bölgesindeki şerit metrenin piksel konumu başarılı bir şekilde tespit edilebilmiştir.

2.4.2. kenar-bul fonksiyonu

Kenar-bul fonksiyonu, girdi olarak verilmiş olan resim içerisindeki kenarları tespit etmektedir. Bu fonksiyona girdi olarak, ilgili çerçevenin şerit metreye kadar olan kısmı verilmektedir. Gelen resim içerisindeki kenarların tespiti için Canny kenar tespiti algoritması [21,22] kullanılmıştır. Şekil 7'de kenar-bul fonksiyonuna girdi olarak gönderilen resim ve bu resimde tespit edilmiş olan kenarlar gösterilmektedir.



Şekil 7. a) Kırpılmış orijinal resim b) resimde tespit edilen kenarlar

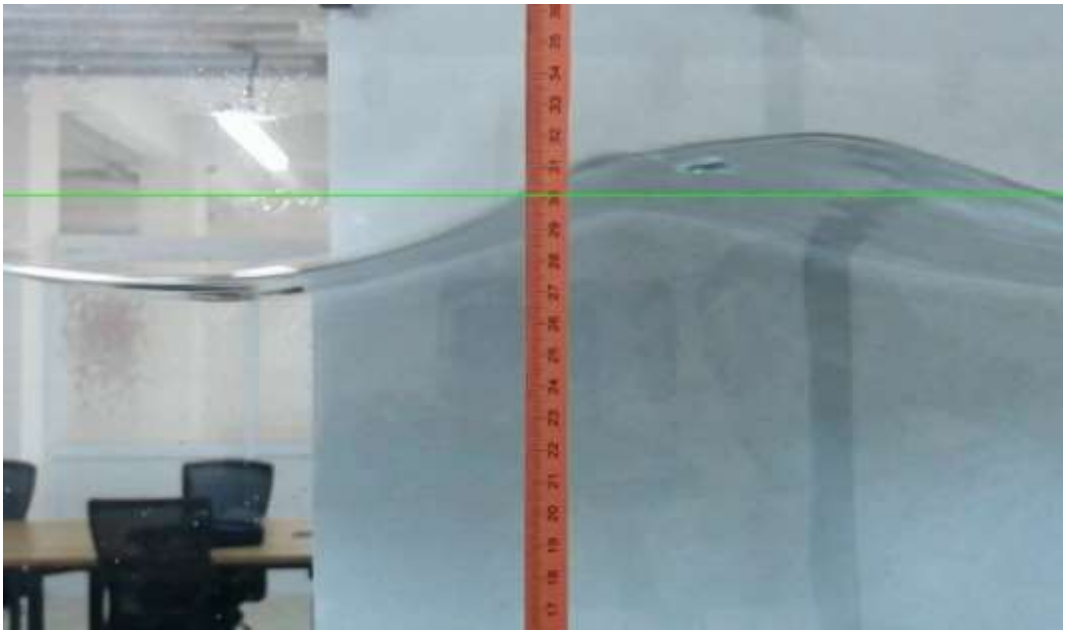
Şekil 7 a)'da orijinal resmin şerit metreye kadar ve yüksekliği kırpılmış hali, Şekil 7 b)'de ise kırpılmış olan resimde tespit edilen tüm kenarlar görülmektedir. Şekil 7 b)'de görülebileceği üzere, resimdeki tüm renk farklılıkları kenar tespiti algoritmasının başarısını etkilemektedir. Bu nedenle, Şekil 7 a)'da da görülebileceği üzere, su yüzü yüksekliğinin hesaplanacağı bölgenin arkasında herhangi bir renk farkı oluşmaması için beyaz kağıt kullanılmış ve bu sayede Şekil 7 b)'nin sağ bölgesinde sadece su yüzüne ait değişimlerle kenarlar tespit edilebilmiştir.

2.4.3. piksel-cm-dönüştür fonksiyonu

Piksel-cm-dönüştür fonksiyonu, kenar-bul fonksiyonu tarafından tespit edilen kenarın piksel değerini ilgili çerçevedeki şerit metrenin başlangıç ve bitiş santimetre değerlerine göre ölçekleyerek su yüzünün kaçıncı santimetreden geçtiğini hesaplamaktadır. Bu hesaplama işlemi için, ilk olarak 1 pikselin kaç santimetreye karşılık geldiği Eşitlik (6) ile hesaplanmaktadır. Daha sonra, su yüzünün santimetre türünden yüksekliği, kenar-bul fonksiyonundan döndürülen su_yuzu_kenar_piksel değerinin, Eşitlik (6)'da hesaplanan piksel_cm değeriyle çarpımı ve şerit metrenin ilgili çerçevedeki başlangıç değeriyle toplanmasıyla su yüzünün santimetre türünden yüksekliği tespit edilmiş olmaktadır (Eşitlik 7). Şekil 8'de örnek bir çerçeve üzerinde, tespit edilen su yüzü yüksekliğinin algoritma tarafından tespit edilen sonucu sunulmuştur.

$$piksel_cm = \frac{(bitiş - başlangıç)}{Resim\ yuksekligindeki\ piksel\ sayısı} \tag{6}$$

$$su_yuzu = su_yuzu_kenar_piksel * piksel_cm + başlangıç \tag{7}$$



Şekil 8. Örnek bir çerçeve için geliştirilen algoritma tarafından tespit edilen su yüzü yüksekliği

Şekil 8'de tespit edilen su yüzü yüksekliği için ilk olarak 1 pikselin kaç santimetreye denk geldiğinin belirlenmesi için bitiş değeri olan 36.1'den başlangıç değeri olan 16.4 çıkarılmış ve resmin yüksekliğindeki piksel sayısı olan 1080'e bölünmüştür. Bu hesap sonucunda 1 pikselin cm değeri 0.018241074 olarak hesaplanmıştır. Daha sonra, su_yuzu_kenar_piksel değeri olarak kenar-bul fonksiyonunun bulduğu 750 piksel yükseklik değeri, 1 pikselin cm değeri ile çarpılmış ve şerit metrenin çerçevedeki başlangıç değeri olan 16.4'e eklenerek su yüzünün kaçıncı cm'den geçtiği tespit edilmiştir. Bu hesaplar sonucunda, görüntü işleme sistemi su yüzünün 30.0805 cm'den geçtiğini tespit etmiştir.

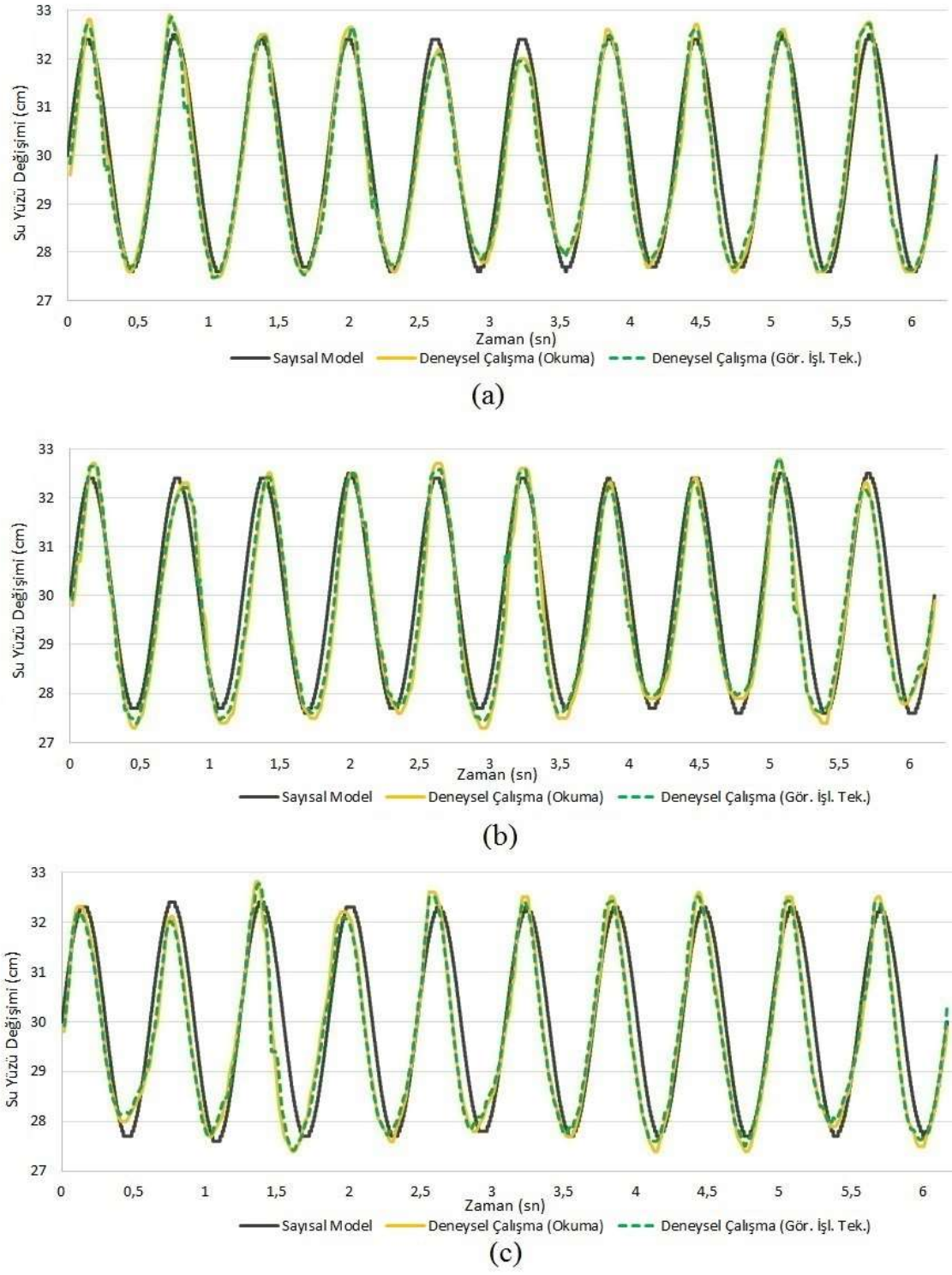
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üç farklı noktada (6.80 m, 5.70 m, 4.30 m) 30 cm sakin su seviyesi için 1.62 Hz frekansta üretilen derin su dalgasına ait su yüzü profilleri; sayısal model ve iki farklı şekilde elde edilen deneysel çalışma sonucu (okuma ve görüntü işleme tekniği) ile karşılaştırılmalı olarak Şekil 9'da, 20 cm sakin su seviyesi ve 1.50 Hz frekansta üretilen geçiş derinliği dalgasına ait elde edilen su yüzü profilleri ise Şekil 10'da verilmiştir.

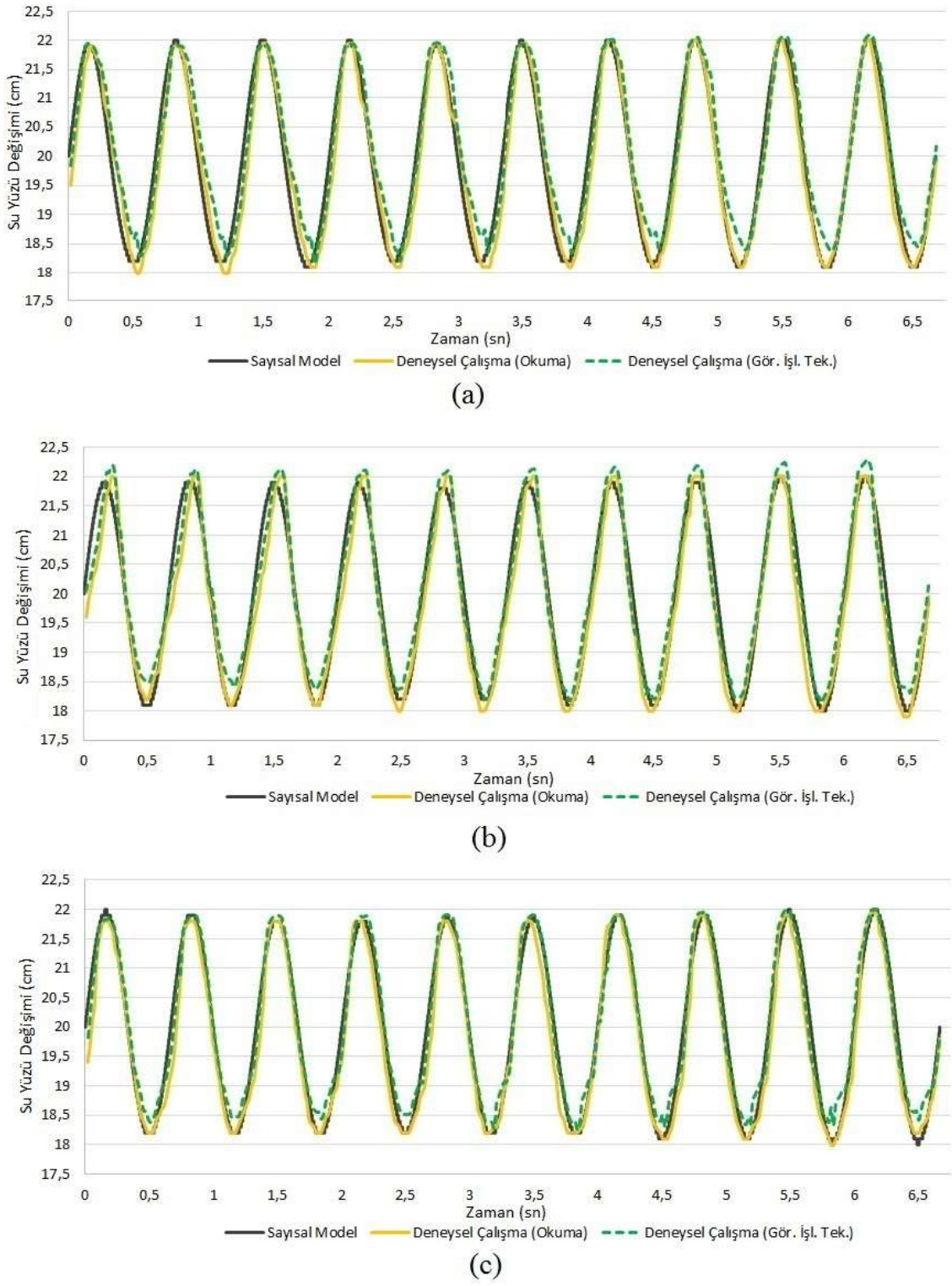
Şekil 9 ve Şekil 10 incelendiğinde sayısal model ile deneysel çalışmaların dalga karakteristikleri açısından (dalga yüksekliği, dalga periyodu ve dalga boyu) birbirine yakın sonuçlar ürettiği görülmektedir. Grafiklerde görülen kabul edilebilir sınırlardaki farklılıkların ise deneysel koşullardan, okuma hatalarından ve çekilen videonun kalitesine bağlı olarak görüntü işleme tekniğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Grafikler ile ilgili yapılan daha detaylı sayısal karşılaştırmalar ise Tablo 1 ve 2'de sunulmaktadır. Tablo 1 ve 2 de verilen % mutlak fark hesaplamaları Eşitlik (8) ve (9) kullanılarak yapılmıştır.

$$\%\ Mutlak\ Fark\ (Okuma) = \left|\frac{(\text{Sayısal Model Sonuçları} - \text{Okuma ile Elde Edilen Deneysel Çalışma Sonuçları})}{\text{Sayısal Model Sonuçları}}\right| * 100 \quad (8)$$

$$\%\ Mutlak\ Fark\ (Gör.İşl.) = \left|\frac{(\text{Sayısal Model Sonuçları} - \text{Gör. İşl. Tek. ile Elde Edilen Deneysel Çalışma Sonuçları})}{\text{Sayısal Model Sonuçları}}\right| * 100 \quad (9)$$



Şekil 9. 30 cm sakin su seviyesi ve 1.62 Hz frekans için sakin su seviyesinden itibaren elde edilen su yüzü profilleri; eğimli kıyı modelinin olduğu uçtan itibaren a) 6.80 m b) 5.70 m c) 4.30 m'de



Şekil 10. 20 cm sakin su seviyesi ve 1.50 Hz frekans için sakin su seviyesinden itibaren elde edilen su yüzü profilleri; eğimli kıyı modelinin olduğu uçtan itibaren a) 6.80 m b) 5.70 m c) 4.30 m'de

Tablo 1. 30 cm sakin su seviyesi ve 1.62 Hz frekans için deneysel çalışmalar ve sayısal modelden elde edilen dalga karakteristiklerinin karşılaştırılması

d = 30 cm ***f= 1.62 Hz***	Deneysel Çalışma (Okuma)			Deneysel Çalışma (Görüntü İşleme Tekniği)			Sayısal Model			Derin Su Dalgası			% Mutlak Fark					
													Deneysel Çalışma (Okuma)			Deneysel Çalışma (Gör. İşl. Tek.)		
	$H_{Ort.\ Okuma}$ (cm)	$T_{Ort.\ Okuma}$ (sn)	$L_{Ort\ Okuma}$ (m)	$H_{Ort.\ Gör.\ İşl}$ (cm)	$T_{Ort\ Gör.\ İşl.}$ (sn)	$L_{Ort\ Gör.\ İşl.}$ (m)	$H_{Ort\ Hesaplanan}$ (cm)	$T_{Hesaplanan}$ (sn)	$L_{Hesaplanan}$ (m)	$(d/L)_{Okuma}$	$(d/L)_{Gör.\ İşl.}$	$(d/L)_{Hesaplanan}$	H	T	L	H	T	L
6.80 m	4.91	0.6153	0.5906	4.81	0.6176	0.5950	4.74	0.6173	0.5944	0.508	0.504	0.505	3.59	0.32	0.64	1.48	0.05	0.10
5.70 m	4.94	0.6141	0.5883	4.78	0.6108	0.5820	4.74	0.6173	0.5944	0.510	0.515	0.505	4.22	0.52	1.03	0.84	1.05	2.09
4.30 m	4.82	0.6171	0.5941	4.64	0.6191	0.5979	4.61	0.6173	0.5944	0.505	0.502	0.505	4.56	0.03	0.05	0.65	0.29	0.59

Tablo 2. 20 cm sakin su seviyesi ve 1.50 Hz frekans için deneysel çalışmalar ve sayısal modelden elde edilen dalga karakteristiklerinin karşılaştırılması

d = 20 cm ***f= 1.50 Hz***	Deneysel Çalışma (Okuma)			Deneysel Çalışma (Görüntü İşleme Tekniği)			Sayısal Model			Geçiş Derinliği Su Dalgası			% Mutlak Fark					
													Deneysel Çalışma (Okuma)			Deneysel Çalışma (Gör. İşl. Tek.)		
	$H_{Ort.\ Okuma}$ (cm)	$T_{Ort.\ Okuma}$ (sn)	$L_{Ort\ Okuma}$ (m)	$H_{Ort.\ Gör.\ İşl}$ (cm)	$T_{Ort\ Gör.\ İşl.}$ (sn)	$L_{Ort\ Gör.\ İşl.}$ (m)	$H_{Ort\ Hesaplanan}$ (cm)	$T_{Hesaplanan}$ (sn)	$L_{Hesaplanan}$ (m)	$(d/L)_{Okuma}$	$(d/L)_{Gör.\ İşl.}$	$(d/L)_{Hesaplanan}$	H	T	L	H	T	L
6.80 m	3.88	0.6653	0.6609	3.65	0.6693	0.6677	3.83	0.6667	0.6632	0.303	0.300	0.302	1.31	0.21	0.35	4.70	0.39	0.68
5.70 m	3.97	0.6610	0.6536	3.88	0.6610	0.6536	3.82	0.6667	0.6632	0.306	0.306	0.302	3.93	0.85	1.45	1.57	0.85	1.45
4.30 m	3.69	0.6642	0.6590	3.54	0.6662	0.6624	3.76	0.6667	0.6632	0.303	0.302	0.302	1.86	0.37	0.63	5.85	0.07	0.12

Tablo 1 ve 2'de verilen d: sakin su seviyesini, f: dalga frekansını, $H_{Ort\ Okuma}$, $T_{Ort\ Okuma}$ ve $L_{Ort\ Okuma}$ sırasıyla okumalardan elde edilen deneysel çalışma sonuçlarına ait ortalama dalga yüksekliğini, dalga periyodunu ve dalga boyunu; $H_{Ort\ Gör.\ İşl}$, $T_{Ort\ Gör.\ İşl}$, $L_{Ort\ Gör.\ İşl}$ sırasıyla görüntü işleme tekniğinin kullanıldığı deneysel çalışma sonuçlarından elde edilen ortalama dalga yüksekliğini, dalga periyodunu ve dalga boyunu; $H_{Ort\ Hesaplanan}$, $T_{Hesaplanan}$, $L_{Hesaplanan}$ sırasıyla sayısal modelden hesaplanan ortalama dalga yüksekliğini, dalga periyodunu ve dalga boyunu; $(d/L)_{okuma}$, $(d/L)_{Görüntü\ İşl}$, $(d/L)_{Hesaplanan}$ sırasıyla deneysel çalışma (okuma), deneysel çalışma (görüntü işleme tekniği) ve sayısal model sonuçlarına göre hesaplanan d/L oranını; H, T ve L ise sırasıyla % mutlak fark değerlerini belirten dalga yüksekliği, dalga periyodu ve dalga boyunu ifade etmektedir.

Tablo 1 ve 2'de belirlenen dalga koşulları için (30 cm sakin su seviyesi ve 1.62 Hz frekans, 20 cm sakin su seviyesi ve 1.50 Hz frekans) okuma ve görüntü işleme tekniği kullanılarak elde edilen deneysel çalışma sonuçları ile sayısal model sonuçlarından üretilen 10 adet dalga yayılımından ortalama dalga yüksekliği, dalga periyodu ve dalga boyu hesaplanmıştır. Daha sonra bu dalgaların d/L oranına göre derin su dalgası mı yoksa geçiş derinliği su dalgası mı olduğu gösterilmiş ve iki farklı deneysel çalışma sonucu (okuma ve görüntü işleme tekniği) ile sayısal model arasında dalga karakteristikleri bakımından % mutlak fark değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler göz önüne alınarak, okumalardan elden edilen deneysel sonuçlar ve sayısal model sonuçları arasında yapılan karşılaştırmada;

1. Dalga yüksekliği açısından en fazla fark % 4.56 olarak hesaplanmış ve bunun derin su dalgası durumunda gerçekleştiği görülmüştür. En az fark ise % 1.31 olarak hesaplanmış ve bu farkın geçiş derinliği su dalgası durumuna ait olduğu belirlenmiştir.
2. Dalga periyodu açısından en fazla fark geçiş derinliği su dalgası durumunda görülmüş olup hesaplanan fark % 0.85 dir. En az fark ise derin su dalgası durumuna ait olup, bu fark % 0.03 olarak hesaplanmıştır.
3. Dalga boyu açısından ise en fazla farkın geçiş derinliği su dalgası durumunda ve % 1.45 olduğu, en az farkın ise derin su dalgası durumunda ve % 0.05 olduğu tespit edilmiştir.

Benzer şekilde görüntü işleme tekniği ile elde edilen deneysel sonuçlar ile sayısal model sonuçları arasında yapılan karşılaştırmada ise;

1. Dalga yüksekliği açısından en fazla fark % 5.85 olarak hesaplanmış ve bunun geçiş derinliği su dalgası durumunda gerçekleştiği görülmüştür. En az fark ise % 0.65 olarak hesaplanmış ve bu farkın derin su dalgası durumuna ait olduğu belirlenmiştir.
2. Dalga periyodu açısından en fazla fark derin su dalgası durumunda görülmüş olup hesaplanan fark % 1.05 dir. En az fark ise yine derin su dalgası durumuna ait olup, bu fark % 0.05 olarak hesaplanmıştır.
3. Dalga boyu açısından ise en fazla farkın derin su dalgası durumunda ve % 2.09 olduğu, en az farkın ise yine derin su dalgası durumunda ve % 0.10 olduğu tespit edilmiştir.

Yüzdelik mutlak fark değerleri dikkate alınarak dalga yüksekliği açısından Tablo 1 ve 2 incelendiğinde 30 cm sakin su seviyesi ve 1.62 Hz frekansta önceden belirlenmiş her üç noktada da görüntü işleme tekniği kullanılarak elde edilen deneysel çalışma sonuçları ile sayısal model sonuçları arasındaki farkın daha az olduğu, 20 cm sakin su seviyesi ve 1.50 Hz frekansta ise okuma ile elde edilen deneysel çalışma sonuçlarının sayısal model sonuçlarına daha yakın olduğu (6.80 m ve 4.30 m'de) görülmektedir. Dalga yüksekliği açısından okumalarla görüntü işleme tekniği arasında oluşan bu farklılığın okuma hatalarından veya görüntü işleme tekniğinin bazen kenar olarak belirlediği ve buna göre hesapladığı dalga yüksekliklerinin tam değerini bulamamasından kaynaklanmaktadır. Okuma ve görüntü işleme tekniği kullanılarak elde edilen deneysel çalışma sonuçları arasında oluşan bu farklılıklara rağmen yine de her iki durum için hesaplanan % mutlak fark değerleri dalga yüksekliği bakımından kabul edilebilir sınırlar dahilindedir. Dalga periyodu ve dalga boyu açısından ise her iki sayısallaştırma yöntemi (okuma ve görüntü işleme tekniği) ile elde edilen deneysel sonuçların sayısal modele yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, su yüzü profilleri baz alınarak, hibrid sayısal dalga modeli ile iki farklı deneysel çalışma sonucu (okuma ve görüntü işleme tekniği) karşılaştırılmış ve sayısal modelin performansı analiz edilmiştir. Aynı zamanda görüntü işleme tekniği kullanılarak elde olunan deneysel çalışma sonuçlarının sayısal model sonuçlarına uyumu incelenerek görüntü işlemenin bu alanda kullanılabilirliği/güvenilirliği değerlendirilmiştir.

Deneysel çalışmalar (okuma ve görüntü işleme tekniği) ile sayısal model sonuçlarından elde edilen su yüzü profillerinin birbirine çok benzer olduğu, hibrid sayısal dalga modelinin deneysel çalışmalara yakın sonuçlar ürettiği, kabul edilebilir sınırlar içerisinde farkların oluştuğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca görüntü işleme tekniğinin kullanıldığı deneysel çalışma sonuçlarının da sayısal model sonuçları ile iyi bir uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum aynı zamanda, okumalara dayalı deneysel çalışma sonuçlarının yanı sıra daha kolay ve hızlı şekilde sonuçlar üreten, üzerinde biraz daha çalışıldığında daha sağlıklı sonuçların alınabileceği

öngörülen, görüntü işleme tekniğinin de deneysel çalışmalarda başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

[1] ERGİN, A., "Denizlerimiz ve Kıyılarımız", I. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 1-2, Samsun, Türkiye, 1996.
[2] KIRKGÖZ, M.S., "Kıyı Erozyonunun Boyutları", Kıyı ve Liman Mühendisliği Türkiye Mühendislik Haberleri, 421, 71-73, 2002.
[3] http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=OCDE/GD(97)83&docLanguage=En (erişim tarihi 16.10.2019).
[4] UN Atlas of the Oceans, "Percentage of Total Population Living in Coastal Areas", Report for the United Nations, 2010.
[5] NWOGU, O., "Alternative Form of Boussinesq Equations for Nearshore Wave Propagation", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 119, 618-638, 1993.
[6] BEJI, S., NADAOKA, K., A "Formal Derivation and Numerical Modelling of the Improved Boussinesq Equations for Varying Depth", Ocean Engineering, 23, 691-704, 1196.
[7] BOUSSINESQ, J., "Theorie Des Ondes Et Des Ramous Qui Se Propagent Le Long D'un Canal Rectangulaire Horizontal", Journal de Mathematique Pures et Appliquees Deuxieme Serie, 17, 55-108, 1872.
[8] FRAZAO, S.S., ZECH, Y., "Undular Bores and Secondary Waves-Experiments and Hybrid finite-Volume Modelling", Journal of Hydraulic Research, 40, 33–43, 2002.
[9] ANGNUURENG, D,B., RANASINGHE, R. "Shoreline Resilince to Individual Storms and Storm Clusters on a Meso-Macrotidal Barred Beach", Geomorphology, 290, 265-276, 2017.
[10] SPLINTER, K,D., HOLMAN, R., "Observations and Modelling of Shoreline and Multiple Sandbar Behaviour on a High-Energy Meso-Tidal Beach", Continental Shelf Research, 159, 33-45, 2018.
[11] HOLMAN, R.A., SALLANGER, A.H., LIPPMANN, T.C., HAINES, J.W., "The Application of Video Image Processing to the Study of Nearshore Processes", Oceanography, 6(3), 78-85, 1993.
[12] AAGAARD, T., HOLM, J., "Digitization of Wave Run-up Using Video Records", Journal of Coastal Research, 5(3), 547-551, 1989.
[13] KOCAMAN, S., OZMEN-CAGATAY, H., "Investigation of Dam-Break Induced Shock Waves Impact on A Vertical Wall", Journal of Hydrology, 525(2015), 1-12, 2015.
[14] DINGEMANS, M., "Water Wave Propagation Over Uneven Bottoms", Advance Series in Ocean Engineering 13(2), World Scientific Singapore, 1997.
[15] ERDURAN, K.S., ILIC, S., KUTIJA, V., "Hybrid Finite-Volume Finite-Difference Scheme for The Solution of Boussinesq Equations", International Journal for Numerical Methods in Fluids, 49, 1213-1232, 2005.
[16] MADSEN, P.A., SORENSEN, O.R., "A New Form of The Boussinesq Equations with Improved Linear Dispersion Characteristics Part 2A Slowly-Varying Bathymetry", Coastal Engineering, 18, 183-204, 1992.
[17] ROE, P.L., "Approximate Riemann Solvers, Parameter Vectors and Difference Schemes", Journal of Computational Physics, 43, 357-372, 1981.
[18] YAMAMOTO, S., KANO, S., DAIGUJI, H., "An Efficient CFD Approach for Simulating Unsteady Hypersonic Shock-Shock Interferance Flows", Computers and Fluids, 27, 571-580, 1998.
[19] WEI, G., KIRBY, J.T., "Time-Dependent Numerical Code for Extended Boussinesq Equations", Journal of Waterway Port, Coastal and Ocean Engineering, 121, 251-261, 1995.
[20] https://www.gunt.de/en/products/wave-generator/070.16241/hm162-41/glct-1:pa-148:pr-692 (erişim tarihi 18.08.2019).
[21] CANNY, J., "A Computational Approach to Edge Detection", IEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 6, 679-698, 1986.
[22] BISWAS, R., Sil, J., "An Improved Canny Edge Detection Algorithm based on Type-2 Fuzzy Sets", Procedia Technology, 4, 820-824, 2012.