

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DALGA ETKİSİNDEKİ ŞEVLİ YÜZLÜ DALGAKIRAN
ETRAFINDA OLUŞAN YEREL OYULMALARIN
SAYISAL ARAŞTIRILMASI

Ali TEMEL

Temmuz, 2019

İZMİR

**DALGA ETKİSİNDEKİ ŞEVLİ YÜZLÜ DALGAKIRAN
ETRAFINDA OLUŞAN YEREL OYULMALARIN
SAYISAL ARAŞTIRILMASI**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik-Hidroloji ve Su Kaynakları Programı

Ali TEMEL

Temmuz, 2019

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ALİ TEMEL tarafından DOÇ. DR. MUSTAFA DOĞAN yönetiminde hazırlanan “DALGA ETKİSİNDEKİ ŞEVİLİ YÜZLÜ DALGAKIRAN ETRAFINDA OLUŞAN YEREL OYULMALARIN SAYISAL ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunup, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Mustafa DOĞAN

Yönetici


Doç. Dr. Mehmet Sarıbuğ

Jüri Üyesi


Prof. Dr. Yalçın ARISOY

Jüri Üyesi


Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Sadece tez yazım aşamamda değil, yüksek lisans eğitimine başlamadan önce bana mesleki anlamda her konuda güvenerek önemli sorumluluklar veren, tezimin konusunun belirlenmesinde ve çatısının oluşturulmasında desteğini her zaman hissettiğim, beraber seyerek çalıştığım tez danışmanım, Hidrolik Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Mustafa Doğan'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kıyı Mühendisliği alanında bana mesleki deneyim kazandıran, deniz yapıları tasarımı ve nümerik modelleme konusunda beni geliştiren İnş. Müh. Merih Özcan ve İnş. Müh. Suat Gündemir'e teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca gösterdikleri fedakarlık ve sevgi için, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen eşim Aylin Temel'e ve aileme sonsuz minnet duyuyorum.

Ali TEMEL

DALGA ETKİSİNDEKİ ŞEVLİ YÜZLÜ DALGAKIRAN ETRAFINDA OLUŞAN YEREL OYULMALARIN SAYISAL ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Liman ve kıyı koruma yapılarında sakin su kesimleri oluşturmak amacıyla farklı amaçlar doğrultusunda ve farklı tiplerde inşa edilen dalgakıranlar etrafında yapının geometrisinden dolayı bozulan akım, yerel oyulmalara neden olabilmektedir. Oyulma ve yığılma şeklinde gözlenen deniz taban hareketleri, yapılarda stabilite kayıplarına ve hatta göçmelere yol açabileceğinden dolayı doğru bir şekilde belirlenmeleri son derece önemlidir. Bu tez kapsamında aşınabilir bir deniz zemini üzerinde yer alan şevli yüzlü dalgakıranlar etrafındaki yerel zemin hareketleri ele alınmıştır. Dalgakıran topuğunda dalga kaynaklı oluşan yerel oyulmaların sayısal olarak incelendiği bu çalışma kapsamında Flow3D yazılımı yardımıyla 33 m uzunluğa, 3,6 m genişliğe ve 1,2 m derinliğe sahip bir sayısal dalga kanalı oluşturulmuştur. Gelişmiş hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programlarından biri olan Flow3D kullanılarak dalga karakteristikleri aynı düzenli ve düzensiz (JONSWAP) dalga etkisi altında dane medyan çapları 1 mm, 0,55 mm ve 0,20 mm olan taban malzemeleri durumları incelenmiştir. Dalgakıran kesiti 3,6 m genişlik boyunca uygulamada sıklıkla kullanılan 2:3 ve 1:2 şev eğimi oluşacak şekilde farklı dalga tipleri ve sediment çapları kullanılmak üzere çeşitli senaryolar analiz edilmiştir. Bu senaryolarda ayrıca dalgakıran özellikleri geçirimli veya taş dolgu olarak tanımlanmıştır. Kurulan sayısal modelin doğrulanması için Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği dalga kanalında 1,85 mm çaplı taban malzemesi ve 2:3 şev eğimli dalgakıran ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları aynı şartlar ile oluşturulan sayısal model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular yorumlandığında, sayısal model performansının yüksek ve modelin güvenilir olduğu anlaşılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Şevli yüzlü dalgakıran, dalga etkisindeki oyulma, stabilite problemleri, sayısal araştırma, Flow3D

NUMERICAL INVESTIGATION OF LOCAL SCOUR AROUND RUBBLE MOUND BREAKWATER UNDER THE WAVE EFFECT

ABSTRACT

Current characteristics caused local scour due to configuration of rubble-mound breakwaters which are constructed for various port structures. Erosion of the seabed material which leads to stability losses or even failure, has great importance for the equilibrium of these structures. The objective of this thesis is to gain insight about growth of erosion patterns. Within the scope of the thesis, a numerical wave flume with 33 m length, 3.6 m width and 1.2 m depth was used to observe wave-induced local erosion at the toe of sloped rubble mound breakwaters. Regular and irregular (JONSWAP) waves were generated by using Flow3D, one of the advanced computational fluid dynamics (CFD) programs. A numerical model was conducted with different variables (different slope angles, different bed materials and different wave characteristics). Scour patterns were investigated for seabed materials with 1 mm, 0.55 mm and 0.20 mm grain median diameters under various wave scenarios and breakwater slopes 2:3 and 1:2 which are widely used in construction. In these scenarios, the breakwater features are also defined as porous and rip-rap layer. In order to validate the numerical model, the results of the experiments carried out in the physical wave channel of Dokuz Eylül University Civil Engineering, with 1.85 mm diameter seabed material and 2:3 sloped breakwater were compared with the numerical model results, under the same wave conditions. From the results obtained from the study were interpreted, it is understood that the performance of the numerical model was found to be high and the model was accurate.

Keywords: Local scour, rubble-mound breakwater, wave-induced scour, stability problems, numerical research, Flow3D

İÇİNDEKİLER	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLOLAR LİSTESİ.....	xi
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ - KIYI BÖLGELERİNDE YAPI-DENİZ-ZEMİN ETKİLEŞİMİ 3	3
2.1 Dalga Etkisinde Sediment Hareketinin Başlangıcı.....	4
2.2 Şevli Yüzlü Dalgakıran Etrafındaki Yerel Zemin Hareketleri	7
BÖLÜM ÜÇ - KONU İLE İLGİLİ MEVCUT ÇALIŞMALAR	9
3.1 Deneysel Çalışmalar	9
3.1.1 Xie (1981) formülü	9
3.1.2 Sumer ve Fredsoe (1997) formülü	10
3.1.3 Sumer ve Fredsoe (2000) formülü	12
3.1.4 Lee and Mizutani (2008) formülü.....	18
BÖLÜM DÖRT - HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ	
YAZILIMLARI.....	21
4.1 Genel Prensipler	21
4.2 Mühendislikte Kullanılan Mevcut Programlar	23
4.2.1 FLOW3D	23
4.2.2 MIKE 21	24
4.2.3 SWAN.....	24
4.2.4 ANSYS FLUENT	26

4.2.5 SMS	27
4.2.6 OPEN FOAM	28
BÖLÜM BEŞ - ŞEVLİ YÜZLÜ DALGAKIRANIN SAYISAL MODELLENMESİ.....	29
5.1 Modelleme Yazılımı (Flow3D)	29
5.2 Modelleme Yaklaşımı	30
5.2.1 Sediment Scour Modeli	32
5.2.2 Kritik Shields Parametresi	32
5.2.3 Temel Denklemler ve Sayısal Çözüm.....	33
5.3 Dalga Sınır Koşulu Modelleme Yaklaşımı.....	34
5.3.1 Dalga Teorileri	35
BÖLÜM ALTI - SAYISAL MODEL SONUÇLARI	37
6.1 Düzenli Dalga Sınır Koşullu Model Sonuçları (2:3 Şev Eğimi)	37
6.2 Düzensiz Dalga Sınır Koşullu Model Sonuçları (2:3 Şev Eğimi)	39
6.2.1 Jonswap Spektrumu	39
6.3 Düzensiz Dalga Sınır Koşullu Model Sonuçları (1:2 Şev Eğimi)	45
6.4 Düzensiz Dalga Sınır Koşullu Geçirimli Model Sonuçları (2:3 Şev Eğimi)....	47
BÖLÜM YEDİ - MODEL SONUÇLARININ DOĞRULANMASI	52
7.1 Deneysel Çalışmalar	52
7.1.1 Deney Seti ve Ölçüm Donanımları	52
7.2 Deneysel ve Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması	57
BÖLÜM SEKİZ - SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	61

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Dalga etkisinde hareketin başlangıcı için kritik yörüngesel hız	6
Şekil 2.2 Kritik shields parametresi ile boyutsuz dane çapının değişimi.....	6
Şekil 2.3 Oyulmayla oluşan stabilite kayıpları	7
Şekil 3.1 Oyulma derinliğinin (S) ve dalgakıran kafa genişliği (B) şematik gösterimi	10
Şekil 3.2 Şev Yüzlü Dalgakıran Kafa Etrafındaki Oyulma (S), Birikme (D) ve Koruma Tabakasının Genişliği (L) Şematik Gösterimi	12
Şekil 3.3 Sumer ve Fredsoe (2000) çalışmasında kullanılan dalgakıran en kesitleri	13
Şekil 3.4 Dalgakıranda maksimum oyulma (düz çizgiler 3.2 denklemi sonucu çizilen eğriler).....	13
Şekil 3.5 Oyulmanın zamana bağlı değişimi ve zaman ölçeği.....	17
Şekil 5.1 Sayısal model ağ sistemi.....	30
Şekil 5.2 Farklı türbülans modelleri ile elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması	31
Şekil 5.3 Flow3D programı Model Setup-Physics-Sediment Scour Sekmesi	32
Şekil 5.4 Dalga sınır koşullu model için tanımlanan sınır koşulları	34
Şekil 5.5 Flow3D programı Model Setup-Numerics Sekmesi.....	35
Şekil 5.6 Farklı profillerdeki dalgaların karşılaştırılması	36
Şekil 5.7 Çeşitli dalga teorilerinin uygulanabilirliği (d: ortalama su derinliği; H: dalga yüksekliği; T: dalga periyodu; g: yerçekimi ivmesi)	36
Şekil 6.1 Düzenli dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Lineer dalga teorisi, $H_s=0,42$ m $T_w=3,1$ s $d_{50}=1$ mm, 2:3 şev eğimi).....	38
Şekil 6.2 Düzenli dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Lineer dalga teorisi, $H_s=0,42$ m $T_w=3,1$ s $d_{50}=0,55$ mm, 2:3 şev eğimi).....	38

Şekil 6.3 Düzenli dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Lineer dalga teorisi, $H_s=0,42$ m $T_w=3,1$ s $d_{50}=0,20$ mm, 2:3 şev eğimi).....	39
Şekil 6.4 Pierson Moskowitz ve JONSWAP spektrumunun karşılaştırılması.....	40
Şekil 6.5 Flow3D düzensiz dalga ara yüzü (JONSWAP Spektrumu)	41
Şekil 6.6 Düzensiz dalga (JONSWAP spektrumu) durumundaki dalga yüksekliği zaman serisi	41
Şekil 6.7 Düzenli ve düzensiz dalga modellerindeki su seviyeleri değişimi ($H_s=0,42$ m, $T_w=3,1$ s).....	42
Şekil 6.8 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=1$ mm, 2:3 şev eğimi).....	42
Şekil 6.9 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=0,55$ mm, 2:3 şev eğimi).....	43
Şekil 6.10 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=0,20$ mm, 2:3 şev eğimi).....	44
Şekil 6.11 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma profili (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=0,20$ mm, 2:3 şev eğimi).....	44
Şekil 6.12 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=1$ mm, 1:2 şev eğimi).....	45
Şekil 6.13 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=0,55$ mm, 1:2 şev eğimi).....	46
Şekil 6.14 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=0,20$ mm, 1:2 şev eğimi).....	46
Şekil 6.15 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma profili (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=0,20$ mm, 1:2 şev eğimi).....	47
Şekil 6.16 Gözenekli ortam çözüm yöntemi ara yüzü	48
Şekil 6.17 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma profili (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=0,55$ mm, 2:3 şev eğimi geçirimli dalgakıran).....	48

Şekil 6.18 Taş dolgu dalgakıran önünde oluşan oyulma deseni-1 (Jonswap Spektrumu, $F=5\text{km}$ $U=15\text{ m/s}$, $d_{50}=0,55\text{ mm}$, 2:3 şev eğimi geçirimli dalgakıran)	49
Şekil 6.19 Taş dolgu dalgakıran önünde oluşan oyulma deseni-2 (Jonswap Spektrumu, $F=5\text{ km}$ $U=15\text{ m/s}$, $d_{50}=0,55\text{ mm}$, 2:3 şev eğimi geçirimli dalgakıran)	49
Şekil 7.1 Deneylerde kullanılan dalga kanalının genel görünümü (2:3 şevli oluşturulan deneysel dalgakıran, Kişisel arşiv)	53
Şekil 7.2 ULS 40-D cihazı ve iki adet USS20130 algılayıcıları (Kişisel arşiv)	54
Şekil 7.3 UVP cihazı ve algılayıcıları (Kişisel arşiv)	55
Şekil 7.4 Düzenli dalga etkisinde dalgakıran gövde etrafındaki oyulmanın inceleneceği deneylerde dalga kanalının şematik gösterimi	56
Şekil 7.5 Dalga kanalında yer alan ölçüm donanımlarının şematik gösterimi.....	56
Şekil 7.6 Deney sırasında elde edilen ULS kaydı	57
Şekil 7.7 Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen UVP değerleri	58
Şekil 7.8 Düzenli dalga durumunda topukta oluşan oyulma profili ($H=0,26\text{ m}$ $T=3,1\text{ s}$, $d_{50}=1,85\text{ mm}$, 2:3 şev eğimi, geçirimli ortam).....	58

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1 Şekil 3.4 için verilen lejant	14
Tablo 6.1 Farklı dalga senaryolarındaki maksimum oyulma derinlikleri	51



BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Ülkemizin üç tarafının denizlerle çevrili olması nedeniyle, kıyı yapılarının kullanımı ve bu yapılara olan talep her geçen gün artmaktadır. Kıyı mühendisliğinde kıyı koruma yapıları arasında ilk sırada yer alan dalgakıranlar genellikle (ülkemiz koşullarında) şevli yüzlü (taş dolgu) olarak imal edilmektedir. Endüstriyel liman, marina ve balıkçı barınağı vb. kıyı tesisleri için farklı tiplerde inşa edilen dalgakıranlar, konuşlandırıldıkları alanların gerisinde sakin bir su bölgesi oluşturmakta ve bu bölgelerin çeşitli amaçlarla kullanımına olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte zorlu deniz koşullarında gerçekleşen dalgakıran inşaatı çok karmaşık ve maliyetli bir hal alabilmektedir. Bu nedenlerle kabul edilebilir güvenlik mertebelerine göre uygun maliyet, proje fizibilitesi açısından belirgin bir önem taşımaktadır.

Aşınabilir bir deniz tabanı üzerinde yer alan dalgakıran eteğinde oyulmalar, dalgakıran stabilitesini bozan ve önemle üzerinde durulması gereken bir husustur. Dalgakıranlar işletme süresi boyunca çeşitli dengesiz ve engebeli deniz tabanı koşullarına maruz kalabilmekte ve yapının çevresinde çeşitli oyulma desenleri oluşabilmektedir. Bu nedenle bu süreçlerin anlaşılması dalgakıranların optimum tasarımı için gereklidir.

Deniz tabanı oyulması, dalga özellikleri, deniz tabanı malzemesi ve liman konfigürasyonu gibi faktörlere bağlı karmaşık bir fenomen olduğundan, bazı araştırmacılar deniz yapıları etrafında oluşabilecek maksimum oyulma derinliğini belirlemek için birtakım deneysel çalışmalar yürütmüştür. Literatürdeki mevcut sınırlı sayıda olan çalışmalar çoğunlukla ince daneli kum ve dalgakıranın gövde bölümünün ele alındığı çalışmalardır.

Bu çalışma kapsamında aşınabilir bir deniz zemini üzerinde yer alan farklı yapılardaki şevli yüzlü dalgakıranlar etrafında düzenli dalga etkisi ile oluşan yerel zemin hareketleri Flow3D ile sayısal olarak ele alınmıştır. Flow3D programında

analizi gerçekleştirilen model ise, Dokuz Eylöl Üniuersitesi İnaşat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında mevcut dalga kanalı temel alınarak oluşturulmuştur. şevli yüzlü dalgakıran etrafındaki oyulma mekanizması sayısal olarak modellenmiş olup, sonuçların doğruluğu deneysel veriler ile karşılaştırılarak test edilmiştir. Modelin kalibrasyonu için deney sonuçları temel alınarak sayısal model parametreleri için en uygun değerler belirlenmiştir.

Sayısal olarak Flow3D programı yardımıyla gerçekleştirilen model sayesinde, deneysel çalışmalarda incelenemeyen durumlar da analiz edilebilmekte ve yoğun fiziksel uğraş gerektiren deneysel çalışmalara bir alternatif oluşturulmaktadır.

Sayısal model sonuçlarının deneysel sonuçlara yakın değerlerde çıkması için yapı-deniz-zemin etkileşiminin araştırıldığı TÜBİTAK 111M550 ve TÜBİTAK 215M245 projelerindeki sayısal yaklaşımlar kullanılmıştır. Tez kapsamında gerçekleştirilen analizler sonucu dalgakıran etrafında oyulma mekanizmasının Flow3D ile sayısal olarak modellenmesi, düzenli ve düzensiz dalga etkisi, farklı irilikteki taban malzemesi ve geçirimli dalgakıran modeli vb. senaryoların oldukça makul sonuçlar verdiği görölmüştür.

BÖLÜM İKİ

KIYI BÖLGELERİNDE YAPI-DENİZ-ZEMİN ETKİLEŞİMİ

Kıyı bölgelerinde özellikle akıntının değişken olduğu durumlarda, kıyı yapılarının temel dolgularının altında deniz tabanında aşınma söz konusu olabilmekte ve bu durum yapıda stabilite bozukluğuna ve devam eden süreçte yapıda kalıcı hasarlara yol açabilmektedir. Bu istenmeyen durumun oluşumunun önüne geçmek için inşa öncesinde kıyı bölgesindeki morfolojiyi etkili bir şekilde anlamak ve bölgedeki akım yapısını analiz etmek gerekmektedir. Ancak bu gerekli bilgiler çoğunlukla analitik yöntemlerle elde edilememektedir.

Analitik yöntemlerin yeterli olmadığı durumlarda sayısal çözüm tekniklerinin kullanılması yoluna gidilir. Çözülecek denklemlerin oldukça fazla bir bölümü doğrusal olmayan ifadeler içermektedir. Bu sebeple kıyı mühendisliği çalışmalarında bu tür problemlerin analizinde sayısal modeller kurularak çözüme ulaşmaya çalışılmaktadır. Sayısal modelin de yetersiz olduğu ya da sonuçlarının teyit edilmesi istendiğinde fiziksel model çalışmalarına ve bağımsız deneylere başvurulmaktadır.

Oyulma problemi yapıda hasara yol açabilecek en büyük etmenlerden biri olduğundan oldukça geniş kapsamlı olarak incelenmelidir. Öncelikli olarak batimetri çalışması yapılmalı, morfolojik değişimler belirlenerek ilgili bölgenin oşinografik özellikleri saptanmalıdır. Deniz tabanından alınan birden fazla sayıda katı madde örneğinden malzeme özellikleri belirlenerek, granülometrik analiz yapılmalıdır. Dalga veya akıntı durumları için akışkan partikül hızları, toplam ya da ortalama katı madde debileri, erozyona uğrayan ve biriken bölgeler belirlenmelidir. Bölge için eğer mümkünse hidrodinamik model ve sediment taşınımı modellenmesi seçeneği göz önünde bulundurulmalıdır.

Kum, silt, çakıl, taş ve kayadan oluşabilecek taban malzemesi karışımı için sınıflandırma yapılmalıdır. Taban malzemesinin harekete başlaması için belirli kuvvetler etkisi altında olması gerekmektedir. Kuvvetlerin büyüklüğüne bağlı olarak hareketin büyüklüğü değişmektedir. Bu kuvvetler hidrodinamik kuvvetler ve direnç

kuvvetleri olarak ele alınmaktadır. Hidrodinamik kuvvetler; dalga ve akıntılarının oluşturduğu kuvvetler olup, direnç kuvvetleri bu hareketin aksine danelerin hareketini engelleyen kuvvetlerdir. Dane hareketi, direnç kuvvetlerinin, hidrodinamik kuvvetler karşısında yetersiz kaldığı durumda oluşmakta olup, hareketin başlangıcı durumundaki tüm tanımlar kritik olarak yapılmaktadır.

2.1 Dalga Etkisinde Sediment Hareketinin Başlangıcı

Deniz tabanında sediment taşınımının başlangıcının bilinmesi kıyı yapılarının etrafındaki taban hareketi, taban ve askı malzemelerinin hareketi açısından önemlidir. Daneye etki eden hidrodinamik kuvvetler, daneyi yerinde tutmaya çalışan direnç kuvvetlerini aştıklarında hareket başlar ve kritik şartlar oluşur. Akım içinde daneye etki eden kuvvetler, ağırlık kuvveti, hidrodinamik direnç kuvveti, sürtünme direnci, hidrodinamik kaldırma kuvveti vb. kuvvetlerdir. Dalga etkisinde bir daneye etki eden atalet ve direnç kuvvetleri oranlandığında bu oran Keulegan Carpenter sayısını karakterize etmektedir.

Dane çapı küçük olan danelerde hareketin başlangıcında sınır tabakasındaki akımın laminer olduğu gözlenmiştir. Küçük çaptaki dane durumunda daneler viskoz alt tabaka içine gömüldüğü için (hidrolik cilalı cidar) hareketin başlangıcı viskoz kuvvetlerin etkisiyle oluşmaktadır. Büyük çaplı danelere için alt ve üst kısmındaki basınç farkları dane hareketinde rol oynayan başlıca faktörlerden biridir. Bu durumda dalga etkisindeki dane üzerindeki akışkan kuvvetlerinin incelenmesi için boyutsuz bir hareketlilik parametresi tanımlanmıştır. Dalga etkisindeki kum daneler için KC katsayısı çok küçüktür. Bu nedenle kum daneciğini hareketlendiren kuvvet yaklaşık olarak yörüngesel hızın genliğinin karesiyle orantılıdır.

Kararlı akımda sediment hareketinin başlangıcının incelenmesi için tabandaki kum danelerinin üzerine etkiyen kuvvetler arasındaki dengenin yorumu ilerleyen bölümlerde Shields parametresi olarak verilmiştir. Kararlı akım için hareketin başlangıcına neden olan kesitsel ortalama kritik hız \bar{u}_{kr} yatay düzlem, kum

dalgacıklarının bulunmadığı bir taban için değişik araştırmacılar tarafından ifade edilmeye çalışılmıştır.

Van Rijn (1984) (15°C tatlı su ve $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$)

$$\bar{u}_{kr} = 0,19(d_{50})^{0,1} \log_{10} \left(\frac{4h}{d_{90}} \right), 100 \leq d_{50} \leq 500 \mu\text{m} \quad (2.1)$$

$$\bar{u}_{kr} = 8,5(d_{50})^{0,6} \log_{10} \left(\frac{4h}{d_{90}} \right), 500 \leq d_{50} \leq 2000 \mu\text{m} \quad (2.2)$$

Soulsby (1997)

$D_* > 0,1$ için

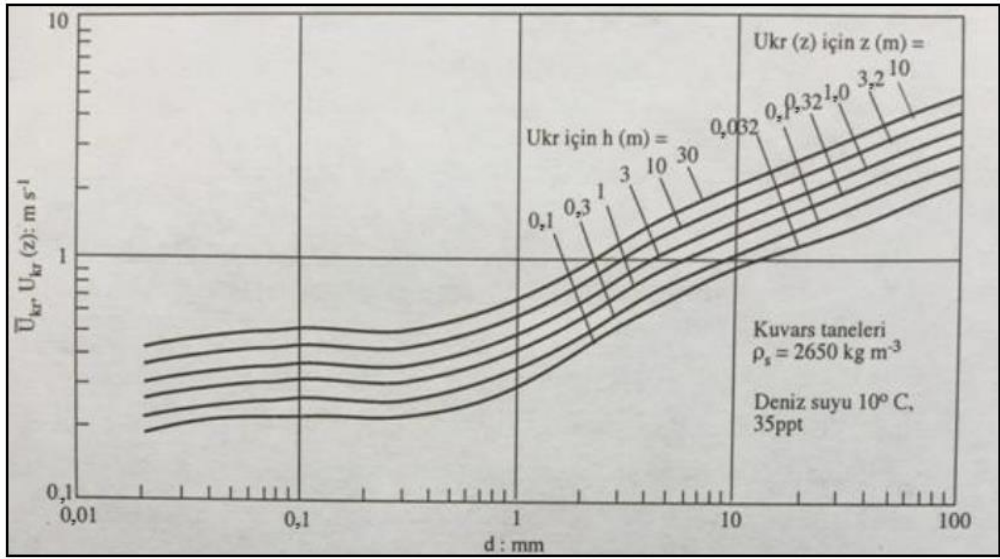
$$\bar{u}_{kr} = 7 \left(\frac{h}{d_{50}} \right)^{\frac{1}{7}} (g(s-1)d_{50}f(D_*))^{1/2} \quad (2.3)$$

$$f(D_*) = \frac{0,3}{1 + 1,2D_*} + 0,055(1 - \exp(-0,020D_*)) \quad (2.4)$$

$$D_* = \left(\frac{g(s-1)}{v^2} \right)^{1/3} d \quad (2.5)$$

$$s = \rho_s / \rho \quad (2.6)$$

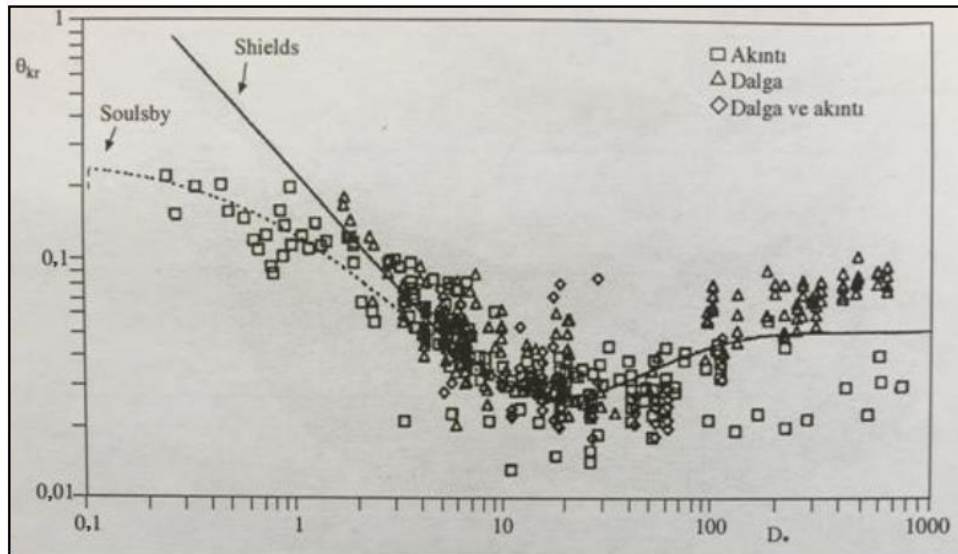
Burada; \bar{u}_{kr} kararlı akım için hareketin başlangıcına neden olan ortalama hız, d dane çapı, D_* boyutsuz dane çapı, g yerçekimi ivmesi, ν kinematik viskozite, ρ_s dane özgül kütlesi, ρ suyun yoğunluğudur. Kritik yörüngesel hızın dane çapına bağlı olarak değişimi Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1 Dalga etkisinde hareketin başlangıcı için kritik yörüngesel hız (Soulsby, 1997)

Hareketin başlangıcı kritik kayma gerilmesi ve Shields parametresi ile ifade edilmiştir. Kritik shields parametresi ve boyutsuz dane çapına bağlı değişimi Şekil 2.2'de gösterilmiştir.

$$\theta_{kr} = \frac{\tau_{kr}}{g(\rho_s - \rho) * d} \quad (2.7)$$



Şekil 2.2 Kritik shields parametresi ile boyutsuz dane çapının değişimi (Soulsby, 1997)

Soulsby ve Whitehouse (1997) tarafından Shields eğrisi cebirsel bir ifade ile aşağıdaki gibi geliştirilmiştir.

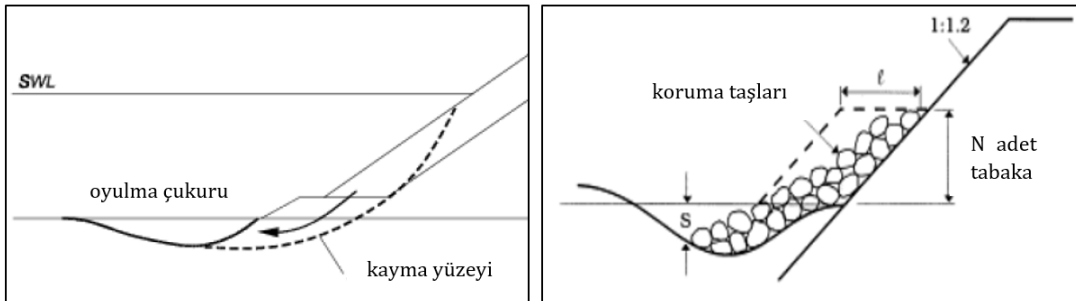
$$\theta_{kr} = \frac{0,30}{1 + 1,2D_*} + 0,055(1 - \exp(-0,02D_*)) \quad (2.8)$$

2.2 Şevli Yüzlü Dalgakıran Etrafındaki Yerel Zemin Hareketleri

Oyulma en genel tabiriyle daneli deniz tabanı malzemesinin hidrodinamik etkilerle kıyı yapılarının çevresinden hareket etme durumudur. Kıyı mühendisliğinde oyulma problemlerinin tahmini ve buna göre bir oyulma koruma tabakası yapılması büyük önem taşımaktadır.

Oyulma oluşumu hidrodinamik taban kayma gerilmelerinin, sediment kritik kayma gerilmelerinden büyük olduğu zaman başlamaktadır. Oyulma aşağıdaki nedenlere bağlı olarak yaşanabilir;

- Yansıyan dalgalara bağlı olarak yerel yörünge hızlarının artması,
- Dalga enerjisinin kırılmaya bağlı olarak yapıya odaklanması
- Yapısal konfigürasyonların akımı tekrar yönlendirip ivmesini artırması
- Dar bölgelerdeki akım ivmelerinin artması
- Sedimenti hareketlendiren aşağı yönlü kırılan dalgalar,
- Sert zeminlerden aşınabilir zemine olan geçişler



Şekil 2.3 Oyulmayla oluşan stabilite kayıpları

Dalgakıranların etrafındaki oyulmalar kıyı yapılarına zarar vererek projenin fonksiyonelliğinin ve maliyet uygunluğunun azalmasına sebep olurlar.

Deniz tabanı oyulması, hareketli taban ve temiz su oyulması olmak üzere iki kategoride incelenebilir. Shields parametresinin kritik Shields parametresinden küçük olduğu ($\theta < \theta_{cr}$) temiz su oyulması durumunda yapıdan uzakta bir sediment hareketi gerçekleşmemesine karşın, hareketli taban durumunda ($\theta > \theta_{cr}$) sediment taşınımı tüm deniz tabanında etkili olmaktadır.



BÖLÜM ÜÇ

KONU İLE İLGİLİ MEVCUT ÇALIŞMALAR

Oyulmanın karmaşık bir olay olmasına karşın bazı araştırmacılar oyulma gelişimini araştırmak için birtakım deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu bölümde geçmişte araştırmacılar tarafından oyulma ile ilgili yapılan deneysel çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir.

3.1 Deneysel Çalışmalar

Deniz tabanı oyulması, dalga karakteristiği, deniz tabanı malzemesi ve yapısal plan ve kesite bağlı olarak değişmektedir. Dalgakıransız ortamda mevcut dalga şartlarında deniz tabanında önemli bir hareket yaşanmasa da dalgakıran inşaatı sonrası dalgakıran çevresinde sediment hareketi oluşacak ve bu durum stabiliteyi olumsuz etkileyecektir. Literatürde mevcut sınırlı sayıdaki çalışmalarda dalgakıran kafa ve gövde bölgeleri ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu çalışmaların büyük çoğunluğu ise dalgakıran gövdesi civarındaki oyulmaların araştırıldığı çalışmalardır. Yapılan çalışmaların tamamı ince daneli kum zeminler için gerçekleştirilmiş olup, iri daneli zemin durumu hakkında bir araştırma mevcut değildir.

3.1.1 Xie (1981) formülü

Düşey Yüzlü Dalgakıran

Xie kırılmayan dalga koşulları altında düşey yüzlü dalgakıranlar için birtakım laboratuvar testleri yürüterek kendi formüllerini elde etmiştir. Xie askıda olmayan ve askıda kalan sediment için iki tip sediment taşınımı için formülünü oluşturmuştur. Askıda meydana gelecek sediment taşınımı için aşağıdaki kriteri önermiştir.

$$\frac{U_m - U_{cr}}{w} \leq 16,5 \quad (3.1)$$

U_m : tabanda oluşan maksimum su parçacığı yatay hızı

U_{cr} : sediment hareketi başlangıcındaki maksimum kritik su parçacığı hızı

w : sediment çökme hızı

$$\frac{S_{max}}{H_0} = \frac{C_s}{\left[\sinh\left(\frac{2\pi h}{L_0}\right)\right]^{1,35}} \quad \text{iri daneli kum için } C_s = 0,4 \quad (3.2)$$

H₀ : kırılmayan dalga yüksekliği

h : sakin su derinliği

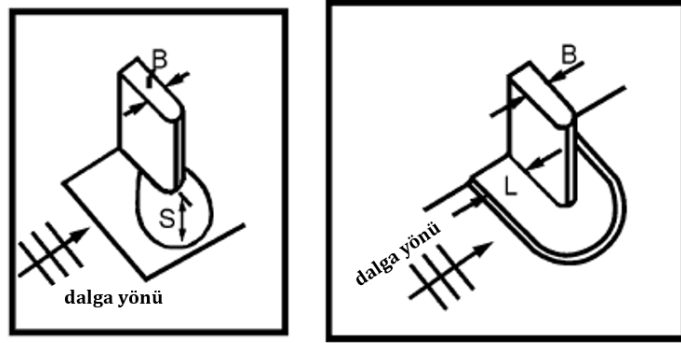
L₀ : kırılmayan dalga uzunluğu

3.1.2 Sumer ve Fredsoe (1997) formülü

Düsey Yüzlü Dalgakıran (Kafa Etrafındaki Oyulma)

Düzenli dalga etkisinde düşey-duvarlı dalgakıran kafasındaki oyulma derinliğini (S) araştırmak için Sumer ve Fredsoe ampirik bir formül elde etmişlerdir.

$$\frac{S}{B} = 0,5 C \{1 - \exp[-0,175(KC - 1)]\} \quad KC \geq r \quad \theta > \theta_{cr} \quad (3.3)$$



Şekil 3.1 Oyulma derinliğinin (S) ve dalgakıran kafa genişliği (B) şematik gösterimi

Oyulma derinliğine etki eden ana etkenlerden biri Keulegan-Carpenter (KC) sayısının değişimi olduğu belirlenmiştir. Dalgakıran kafa genişliğine bağlı olarak, Keulegan-Carpenter (KC) sayısı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. KC sayısının belli aralıklarda olmasıyla akış rejimlerinin ve vorteks tiplerinin değişimi araştırmada sunulmuştur.

$$KC = \frac{U_m T_w}{B} \quad (3.4)$$

U_m : tabanda oluşan azami su parçacığı yatay hızı

B : dalgakıran kafa genişliği

T_w : dalga periyodu

Taban kayma gerilmesini ilgilendiren değişkenler ile elde edilen boyutsuz Shields parametresi aşağıda verilmiştir.

$$\theta = \frac{\tau_w}{\rho g \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) d_{50}} ; \quad (3.5)$$

τ_w : dalga etkisinde maksimum kayma gerilmesi

ρ : akışkanın yoğunluğu

ρ_s : sediment yoğunluğu

d_{50} : medyan dane çapı

Dalga çevrimindeki maksimum taban kayma gerilmesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$\tau_w = \frac{1}{2} \rho f_w U^2 \quad (3.6)$$

Dalga sürtünme faktörü (f_w), hesaplanmasında Soulsby, 1997, Denk. (62a) kullanılmıştır.

$$f_w = c \left(\frac{A}{z_0} \right)^{-d} \quad c = 1,39, \quad d = 0,52 \quad (3.7)$$

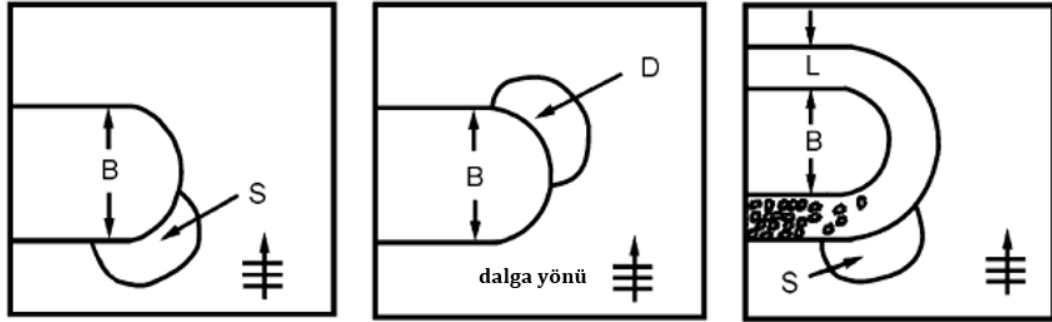
f_w : dalga sürtünme faktörü

A : maksimum taban yörünge genliği (U/ω)

z_0 : taban pürüzlülüğü ($d_{50}/12$)

Şevli Yüzlü Dalgakıran (Kafa Etrafındaki Oyulma)

Fredsoe ve Sumer (1997) çalışmasında, dalga etkisi altında, şevli yüzlü taş dolgu dalgakıran kafası etrafındaki oyulmalar hem düzenli, hem de düzensiz dalga etkisi altında deneysel olarak incelenmiştir. Oyulma deneylerine başlanmadan önce nispeten dar bir kanalda yalnızca akışla ilgili deneyler yapılmış ardından geniş dalga kanalında hareketli taban koşulları ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan taban malzemesi $d_{50}=0,19$ mm kalınlığında çok ince üniform kumdur. Deneyler sonucunda dalgakıran kafası civarında oluşan azami göreceli oyulma derinliği ile azami göreceli birikme yüksekliği değerleri sırasıyla (3.8) ve (3.9) verilen eşitlikler ile ifade edilmiştir. C_1 belirsizlik faktörü olup standart sapması 0,2 değerindedir.



Şekil 3.2 Şev Yüzlü Dalgakıran Kafa Etrafındaki Oyulma (S), Birikme (D) ve Koruma Tabakasının Genişliği (L) Şematik Gösterimi

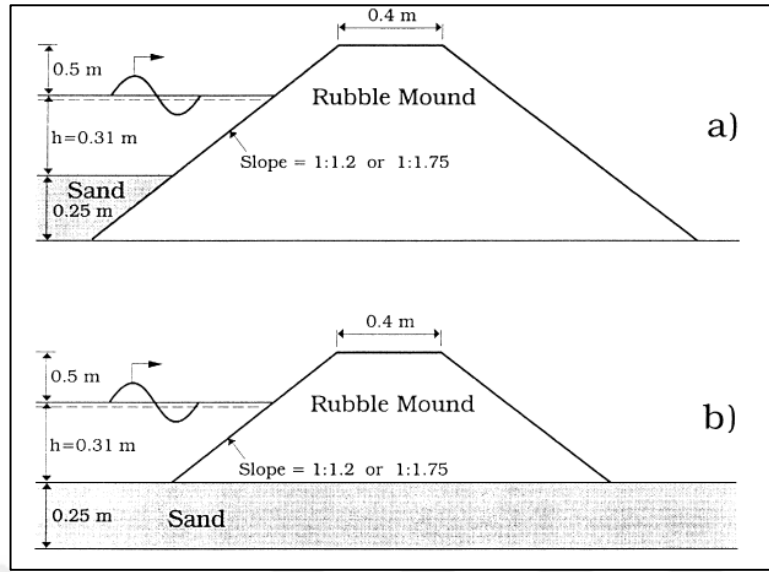
$$\frac{S}{B} = 0,04 C_1 [1 - e^{-4(KC-0,05)}] \quad (3.8)$$

$$\frac{D}{B} = 0,04 C_1 [1 - e^{-3,5(KC-0,05)}] \quad (3.9)$$

3.1.3 Sumer ve Fredsoe (2000) formülü

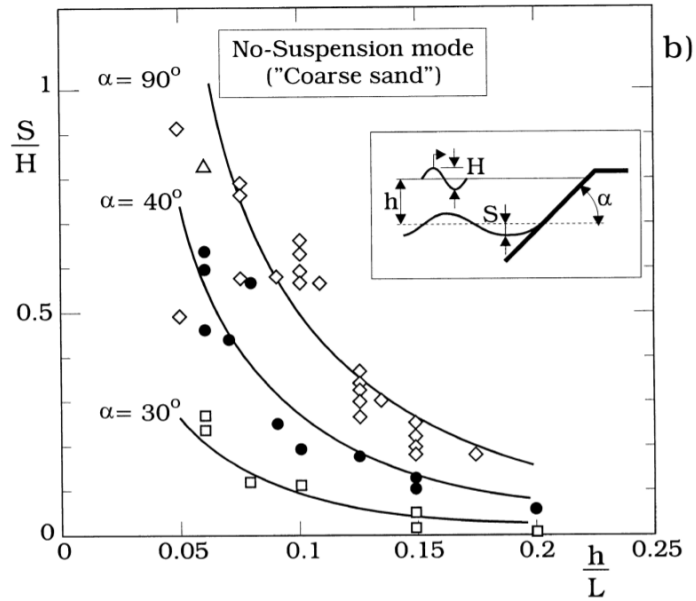
Taş Dolgu Şevli Yüzlü Dalgakıran (Gövde Etrafındaki Oyulma)

Sumer ve Fredsoe 2000 yılında yapmış olduğu deneysel çalışmada dalgakıran, 0,6 m genişlik 0,8 m derinliğe sahip dalga kanalında, dalga üreticine 22 metre uzaklıkta konumlandırılmıştır. Deneylerde düzenli ve düzensiz dalga etkisinde Şekil 3.3'te görülen iki tip dalgakıran kesiti analiz edilmiştir.



Şekil 3.3 Sumer ve Fredsoe (2000) çalışmasında kullanılan dalgakıran en kesitleri

Xie (1981) çalışmasında (3.2) numaralı denklemde verilen C_s değerini askıda kalma durumunda olan ince kum için 0,3, iri daneli kum için 0,4 olarak vermiştir. Sumer ve Fredsoe 2000 yılındaki çalışmasında (10) numaralı denklemde C_s değeri yerine dalgakıran şev açısı 30° ile 90° arasında olmak koşuluyla şev eğimine bağlı $f(\alpha)$ fonksiyonunu tanımlamıştır. Deneysel çalışmaların sonucu elde edilen $(S/H-h/L)$ değerleri ve şekle ait lejant sırasıyla Şekil 3.4 ve Tablo 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.4 Dalgakırandaki maksimum oyulma (düz çizgiler 3.2 denklemi sonucu çizilen eğriler)

Tablo 3.1 Şekil 3.4 için verilen lejant

Sembol	Şev Eğimi	d (cm)	H (cm)	T (s)	d ₅₀ (mm)
●	1:1,2 ($\alpha = 40^\circ$)	31	6,3-12,7	1,08-3	0,20
□	1:1,75 ($\alpha = 30^\circ$)	31	6,3-12,7	1,08-3	0,20

Sümer ve Fredsoe, şevli taş dolgu dalgakıran için çalışmasında maksimum oyulma derinliğine (S_{max}) etki eden dalga karakteristiklerini (H_0 , L_0) ve su derinliği (h) etkisini birleştirerek S_{max}/H_0 ve h/L_0 oranlarını incelemiştir. Ayrıca deniz tabanı sediment etkisini araştırmak için Shields parametresini (θ) göz önünde bulundurmuşlardır. Şevli yüzlü dalgakıran gövdesi etrafındaki oyulma durumunda incelenen fiziksel olaydaki etkin büyüklükler aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$S/H_w = f(h/L_w, \alpha, \theta, L_w/d_{50}, Re, KC)$$

Burada S dalgakıran gövdesi eteğinde oluşan azami oyulma derinliği, H_w dalga yüksekliğini, h dalgalanmamış su derinliğini, L_w dalga boyunu, α şev açısını, Re su parçacığı Reynolds sayısını ve KC Keulegan-Carpenter sayısını göstermektedir. Reynolds ve KC sayıları aşağıdaki eşitliklerde tanımlanmıştır.

$$Re = \frac{\xi U_m}{\nu} \quad (3.10)$$

$$KC = \frac{U_m T_w}{L_r} \quad (3.11)$$

ξ : tabanda oluşan azami su parçacığı yatay yer değiştirmesi

U_m : tabanda oluşan azami su parçacığı yatay hızı

ν : kinematik viskozite

L_r : tabanda oluşan kum dalgacıklarının uzunluğu

Dalgakıran etrafında oyulma olayında başlıca iki tip sediment taşınımı mevcuttur. Birincisi, askıda kalan sediment taşınımı ikincisi ise askıda olmadan sedimentin taşınması durumudur. Sediment taşınım tipi Shields parametresi (θ) ve sediment

danelerinin çökme hızının azami taban kayma hızına oranı (ω/U_{fm}) olan boyutsuz parametrelere bağlı olarak değişmektedir.

Dalga etkisi altında şevli yüzü taş dolgu dalgakıran gövdesi etrafındaki oyulmalar hem düzenli hem düzensiz dalga etkisi altında deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma $d_{50}=0,20$ mm kalınlığındaki çok ince daneli kum malzeme ile gerçekleştirilmiştir.

$$\frac{S}{H_w} = [f(\alpha)/(\sinh(\frac{2\pi h}{L_w}))]^{1,35} \quad f(\alpha) = 0,3 - 1,77e^{(-\frac{\alpha}{15})} \quad (3.12)$$

$$\theta = \frac{(U_{fm})^2}{g(\frac{\rho_s}{\rho}-1)d_{50}} ; \quad U_{fm} = \frac{H_s}{2} \frac{1}{\sinh(\frac{2\pi h}{L_w})} \frac{2\pi}{T_w} \left(\frac{f_w}{2}\right)^{0,5} \quad (3.13)$$

U_{fm} : maksimum taban kayma hızı

f_w : dalga sürtünme katsayısı

Deney koşulları: Geçirimli, taş dolgu dalgakıran, şev eğimi (α): 1:1,2 ve 1:1,75, $d_{50}=0,20$ mm

Deney koşulların için kabul edilebilir değerler:

$$0,045 \leq \frac{h}{L_w} \leq 0,200$$

$$0,07 \leq \theta \leq 0,16$$

$$0,008 \leq \frac{H_s}{L_w} \leq 0,058$$

$$30 \leq \alpha \leq 90$$

Dalgakıran kafası etrafındaki oyulmaları incelerken bazı boyutsuz parametrelerin tanımı değişiklik göstermektedir. Şevli yüzü dalgakıran kafası etrafındaki oyulma durumunda incelenen fiziksel olaydaki etkin büyüklükler (3.14) eşitliği ile verilmektedir.

$$S/B = f(\alpha, \theta, \xi/d_{50}, Re_B, KC) \quad (3.14)$$

Burada, B dalgakıran kafasının deniz tabanındaki genişliğini ve Re_B dalgakıran taban genişliğine göre hesaplanan Reynolds sayısını göstermektedir. Dalgakıran kafası etrafındaki oyulma durumunda Re_B ve KC sayıları sırasıyla (3.15) ve (3.16) eşitlikleriyle tanımlanmaktadır.

$$Re_B = \frac{B U_m}{\nu} \quad (3.15)$$

$$KC = \frac{U_m T_w}{B} \quad (3.16)$$

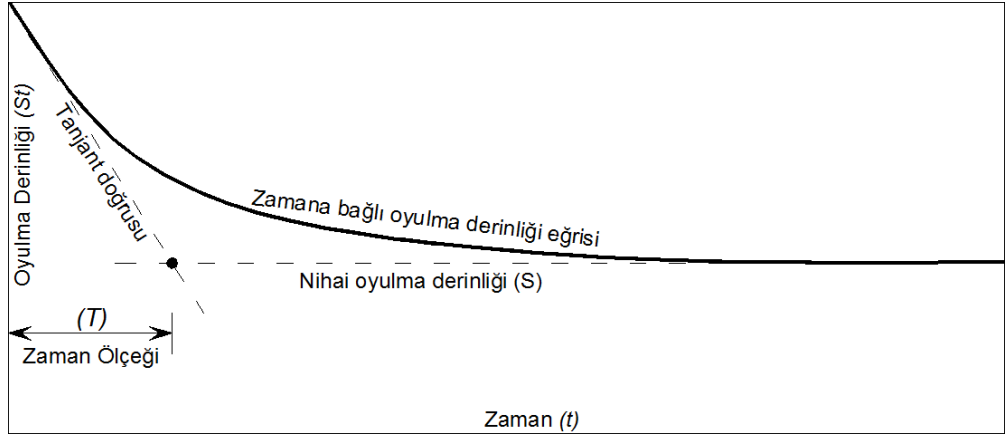
Zaman parametresi

Taş dolgu dalgakıran etrafında oyulma sürecinde incelenen tek parametre nihai durumdaki göreceli oyulma derinliği (S/H_w veya S/B) değildir. Bununla birlikte Şekil 3.5'te şematik olarak gösterildiği gibi oyulmanın nihai değerine ulaşması için geçen zaman olarak tanımlanabilen zaman ölçeği parametresinin (T) de belirlenmesi oldukça önem taşımaktadır.

Zaman ölçeği parametresi (T) ise (3.17) eşitliği ile verildiği şekilde boyutsuzlaştırılmış olup, boyutsuzlaştırılmış zaman ölçeği parametresi (T^*) aşağıda verilen (3.18) eşitliği ile ifade edilmektedir.

$$T^* = (g(s-1)d_{50}^3)^{0,5} \frac{T}{H_w^2} \quad (3.17)$$

$$T^* = f\left(\frac{h}{L_w}, \alpha, \theta, \frac{L_w}{d_{50}}, KC\right) \quad (3.18)$$



Şekil 3.5 Oyulmanın zamana bağlı değişimi ve zaman ölçeği

Çalışma sonunda, dalgakıran kafası etrafındaki oyulma sürecinde; kararlı akış oluşumu ve kafa bölgesinde dalgaların dalarak kırılması mekanizmalarının etkili olduğu anlaşılmıştır. Oluşan oyulma çukuru üzerinde esas olarak Keulegan-Carpenter sayısının etkin olduğu vurgulanmıştır.

Torum ve diğer. (2003) çalışmasında palyeli dalgakıranların stabilitesi üzerine deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda aşınabilir deniz tabanı durumu için oyulmalar ve dalga aşması durumu da incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan palyeli dalgakıranlar çok katmanlı olup, sonuçlar homojen palyeli dalgakıranlar ile elde edilen bilgiler ile karşılaştırılmıştır. Homojen palyeli dalgakıranlar için deneysel bir denklem geliştirilmiş olup, dış koruyucu tabaka sınıflandırması ve su derinliği etkisi dikkate alınmıştır. Dalga aşması durumları için dalgakıran etrafındaki oyulma ve oyulmaya karşı koruyucu durum araştırılmıştır.

Myrhaug, Rue ve Torum (2004) çalışmasında düşey yüzlü dalgakıranların kafa kesiti etrafındaki oyulma derinliği ve koruyucu katman genişliği, oyulma ve birikme derinlikleri ile şevli yüzlü dalgakıranların kafa kesitlerindeki koruma katmanı genişliklerinin belirlenmesi için bir yaklaşım sunulmaktadır. Rastgele dalgalardaki oyulma ve birikme derinlikleri ile koruma tabakaları genişliklerini türetmek için sabit bir Gauss dar bant rastgele süreci olarak tanımlanmaktadır. Çalışma sonucundaki bulgular, Fredsoe ve Sumer (1997) sonuçları ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki; eğer rastgele dalgalar, bir Rayleigh dağılımından elde

edilen üçte birlik ve ondalık dalga değişkenlerinin ortalaması ile temsil ediliyorsa, düzenli dalgalar için değişken oyulma formülleri kullanılabilir.

3.1.4 Lee and Mizutani (2008) formülü

Lee ve Mizutani gerçekleştirdiği deneyler ile kırılmayan dalga etkisinde düşey yüzlü batık dalgakıranlardaki kum taşınımını araştırmış ve maksimum oyulma derinliği için aşağıdaki formülü elde etmiştir.

$$\frac{S_{max}}{H_0} = \frac{0,06}{(1-C_r) \left[\sinh\left(\frac{2\pi h}{L_0}\right) \right]^{2,04}} \quad (3.19)$$

H_0 : kırılmayan dalga yüksekliği

h : sakin su derinliği

L_0 : kırılmayan dalga uzunluğu

C_r : dalga yansımaya katsayısı ($0,028 \leq C_r \leq 0,68$)

Myrhaug ve Ong (2009) çalışmasında düşey yüzlü ve şevli yüzlü dalgakıranların gövdesi etrafında rastgele dalga sonucu oluşan oyulmaların tahmini için bir stokastik model önerilmiştir. Bunun için konuyla ilgili önceden yayınlanan deneysel çalışmaların verileri kullanılmıştır. Çalışma sonunda, rastgele dalgalar için düzenli dalga durumunda verilen formülde H_{rms} kullanımı önerilmiştir.

Gislason ve diğer. (2009) çalışmasında duran dalga etkisinde dalgakıran civarında akım ve oyulma yapısı dalgakıran dikliği değiştirilerek hem deneysel hem de sayısal olarak araştırılmıştır. Düşey yüzlü dalgakıran ve eğimli rijit dalgakıran ile gerçekleştirilen deneylerde kullanılan taban malzemesi, önceki çalışmalara benzer şekilde $d_{50}=0,44$ mm kalınlığında ince daneli kumdur. Çalışma sonunda, geliştirilen sayısal modelin oyulma-birikme sürecinin modellenmesinde oldukça uygun olduğu deneysel veriler ile somutlaştırılmıştır.

Myrhaug ve Ong (2010) çalışmasında, hafif eğimli kumlu bir deniz tabanında dik dalgalara maruz kalan batık dalgakıran tabanı boyunca iki boyutlu kıyıda yer alan

oyulma karakteristikleri araştırılmıştır. Düzenli dalga kaynaklı oyulma özellikleri için kullanılan mevcut formüller, rastgele dalga kaynaklı oyulma özelliklerini türetmek için dalgaları bir sabit Gauss dar bant rastgele süreci olarak tanımlayarak birleştirmektedir. Bu özellikler; maksimum oyulma derinliği, oyulma çukuru genişliği, maksimum oyulma derinliği konumundan dalgakıran yüzüne olan uzaklığı hesaplama olanağı sunmaktadır. Basit olmasına rağmen, mevcut yaklaşım normal olarak rastgele dalgalara maruz kalan batık dalgakıranların tabanında oyulma özelliklerinin stokastik özelliklerini temsil eden ilk yaklaşım olarak yararlı olmaktadır. Bununla birlikte, bu yaklaşımın geçerliliği ile ilgili bir sonuç verilebilmesi için deneysel veri ile karşılaştırmalar yapılması gerekmektedir. Bu yöntem, batık dalgakıranlar için oyulmanın değerlendirilmesi ve oyulmadan korunma için bir mühendislik aracı olarak kullanışlı olmaktadır.

Myrhaug ve Ong (2016) çalışmasında hafif eğimli kumlu bir deniz tabanında dik dalgalara maruz kalan batık dalgakıran tabanı boyunca iki boyutlu kıyıda yer alan oyulma özelliklerinden türetilmiş bir olasılık yöntemi sunulmaktadır. Rastgele dalga kaynaklı oyulma özelliklerinin önemli değerlerinden biri olan maksimum oyulma derinliği, oyulma çukuru genişliği ve maksimum oyulma derinliği konumunun dalgakıran yüzünden uzaklığı için bir hesaplama yöntemi sunulmaktadır. Sonuçlar, mevcut dalga istatistiklerine dayalı rastgele dalga kaynaklı oyulma karakteristiklerinin değerlendirilmesi için kullanılabilir. Maksimum dalga kaynaklı oyulmanın istatistiksel değerleri, anlamlı oyulma değerleri olarak ele alınmaktadır.

Pourzangbar ve diğer. (2017) çalışmasında, dalgakıran etrafındaki maksimum oyulmanın tahmini için genetik algoritma ve yapay sinir ağları kullanılarak bir model oluşturulmuştur. Bu model, göreceli su derinliği, Shields parametresi, kırılmayan dalga dikliği ve yansıma katsayısı kullanılarak oluşturulmuş; düzensiz dalga durumunda da H_{rms} ve T_{pik} ilave edilmiştir. Sonuç olarak geliştirilmiş modellerin, deneylerden türetilen ampirik formüllere göre çok daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Genetik algoritma modeli, yapay sinir ağları modeline kıyasla çok az da olsa daha iyi sonuç verdiğini, maksimum oyulma tahmini için kesin ve fiziksel olarak güvenilir denklem ürettiği için tercih edilmiştir. Genetik algoritma ve yapay sinir ağları

modellerinde girdi parametrelerinin ortalama yüzde değişim oranı, yansıma katsayısı üzerindeki maksimum oyulma derinliğine bağımlılığın diğer girdi parametrelerinden daha büyük olduğunu göstermektedir.

Sumer ve diğer. (2001) ile Sumer (2007) ise kıyı yapıları etrafındaki oyulmaların incelendiği çalışmaların kritiğinin yapıldığı derleme çalışmalar olmakta ve konu ile ilgili literatür bilgisi sunmaktadır.

Dalga etkisi altında dalgakıran etrafındaki oyulma sürecinde literatürde mevcut çalışmaların büyük çoğunluğunu düşey yüzlü dalgakıranlar etrafındaki oyulmanın incelendiği çalışmalar oluşturmaktadır. Bu nedenle yukarıda verildiği gibi, şevli yüzlü (taş dolgu) dalgakıran etrafındaki oyulmaların incelendiği çalışmalar oldukça sınırlı sayıda kalmaktadır. Tez kapsamında iri taban malzemesi ile planlanan çalışmalara ve dolayısı ile temiz-su oyulması durumunu içeren çalışmaya ise rastlanılmamıştır.

BÖLÜM DÖRT

HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMIĞI YAZILIMLARI

Akışkanlar mekaniğinin bir dalı olan hesaplamalı akışkanlar dinamiği CFD (Computational Fluid Dynamics), akışkan akımlarını içeren ve akışkan hareketini düzenleyen koruma yasalarına (kütle, doğrusal momentum ve enerjinin korunumu) dayanan problemleri analiz etmek ve çözmek için sayısal analiz ve veri yapılarını kullanır. Piyasada, çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılan çok sayıda (CFD) yazılımı bulunmaktadır.

4.1 Genel Prensipler

Kütlenin ve doğrusal momentum korunumu akışkan akımlarının incelenmesinde esas alınan iki temel ilkedir. Bu temel prensipler en genel biçimleriyle matematikte oldukça yaygın olarak kullanılan diferansiyel denklemler ile tanımlanabilmektedirler. CFD, bir akımın nihai durumuna ilişkin sayısal tanımlamayı elde etmek için bu akımı yönlendiren bileşenleri kısmi diferansiyel denklemler ile sayısallaştırılması ve bu denklemlerin konuma ve/veya zamana göre çözümü ilkesine dayanmaktadır. Bazı problemlerde diferansiyel denklemler yerine integral denklemlerinin çözümüne dayanan CFD çözümleri de mevcuttur. CFD tüm bu problemler için oluşturulan denklemlerin dönüşümü ve sayısal çözümüdür.

CFD'nin gelişmesi bilgisayarların gelişmesi ile birlikte artmıştır. CFD çözümleri genel olarak çok sayıda tekrarlayan sayısal işlemler gerektirdiğinden bilgisayar yardımı ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle CFD'nin karmaşık problemlere uygulanması çalışılan bilgisayarın hızı, kapasitesi ve donanımı ile çok yakından ilgilidir. Akışkan akımlarının modelleme yaklaşımlarının tümünde benzer prensipler izlenmektedir. Bu prensipler;

- Problemin geometrisinin ve sınırlarının tanımlanması

- Başlangıç su seviyesi belirlenerek, sıvı dolu hacmin sayısal hücre ağlarına (mesh) bölünmesi (Hücreler üniform ya da non-üniform olarak tanımlanabilir.)
- Çalışılan konuya bağlı olarak model türünün belirlenmesi (Örneğin; hareket denklemleri, oyulma, viskozite ve türbülans gibi modelleme kabulleri seçilir.)
- Sınır şartlarının belirlenmesi (Sınır şartları içerisinde sıvı hareketi ve sınırdaki sıvı davranışları da belirtilmiş olmalıdır.)
- Simülasyon (Bu aşamada denklemler yinelemeli olarak kararlı ya da kararlı hal durumları için çözülür.)
- Elde edilen çözümün yorumlanması ve zaman serileri analizleri olarak sıralanabilir.

Kütle Korunumu

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) + \xi \frac{\rho u A_x}{x} = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (4.1)$$

V_F , akışa açık olan kısmi hacim, ρ , sıvı yoğunluğu, R , çalkantı yayılım terimidir ve kütle kaynağıdır. Hız bileşenleri (u, v, w), koordinat yönünde (x, y, z) veya (r, θ, z) şeklindedir. A_x, A_y ve A_z doğrultularındaki akışa açık olan kısmi alanlardır. R katsayısı, koordinat sistemi seçimine bağlıdır. SOR methodu, Gauss-Seidel yöntemine ekstrapolasyon uygulanarak geliştirilmiş sonlu farklar çözümünde kullanılan bir sayısal analizdir.

Doğrusal Momentumun Korunumu

Üç koordinat yönündeki akışkan hızı bileşenleri (u, v, w) için hareket denklemleri Navier-Stokes ile bazı ek terimler içeren denklemler aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} - \xi \frac{A_y v^2}{xV_F} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \delta u_s) \\
\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} + \xi \frac{A_y uv}{xV_F} &= -\frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial p}{\partial y} \right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s) \\
\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s)
\end{aligned}$$

(4.2)

Bu denklemlerde p basınç, ρ akışkan yoğunluğu, (G_x, G_y, G_z) gövde ivmeleri, (f_x, f_y, f_z) viskoz ivmeler, (b_x, b_y, b_z) akış kayıplarıdır.

4.2 Mühendislikte Kullanılan Mevcut Programlar

Günümüz mühendislik uygulamalarında tasarımın temelini oluşturan hesaplama işlemleri modelleme, simülasyon ve analiz ile başlamaktadır. Bu genelleme su mühendisliği problemlerinin çözümü için de geçerli olup, bu alandaki mevcut programlar; risk analizi, fizibilite çalışmalarını çevresel, ekonomik ve teknik yönden değerlendirebilmeye olanak sağlamaktadırlar. Bu kapsamda ticarileşmiş (FLOW3D, MIKE 21, SWAN, ANSYS FLUENT, SMS vb.) ve ticari olmayan (OPEN FOAM) birçok akım modelleme programı bulunmaktadır.

4.2.1 FLOW3D

Flow3D programı akım modellemeyi sağlayan bir akışkanlar dinamiği yazılımı olup, fiziksel işlemler ve endüstriyel uygulamalar için sıvı ve gazların dinamik davranışlarını araştıran mühendislere akım simülasyon çözümleri üretir. Zamana bağlı bir, iki veya üç boyutlu serbest yüzey problemlerinin çözümünde uzmanlaşmış olup ek olarak durgun hal ve sınır koşullu akım problemlerini de ele alır. Programın amacı hidrolik modelleme sürecinde daha düşük maliyetle (tasarım, çözümler vb.) gerçek akımın modellenmesidir.

Programın ayrıntılı olarak açıklaması 5.1 Modelleme Yazılımı bölümünde verilmektedir.

4.2.2 MIKE 21

MIKE 21, özellikle kıyı mühendisliği için çok yönlü bir modelleme yazılımıdır. Genel olarak kullanıldığı uygulamalar; kıyı ve açık deniz yapıları için dalga transformasyon çalışmaları, çalkantı analizleriyle liman konfigürasyonlarının belirlenmesi, kum taşınımı modellenmesi, su kalitesi analizleri, kıyı şeridi için en uygun profilin belirlenmesi, deniz deşarjlarının çevresel etki değerlendirmesi, yeraltı suyu akışının modellenmesi ve benzeri uygulamalardır. Modelleme sistemi Boussinesq ve hidrostatik basınç varsayımlarına, iki/üç boyutlu sıkıştırılmaz Reynolds ortalama Navier-Stokes denklemlerinin sayısal çözümüne dayanmaktadır. MIKE 21'in çalışma (mesh) içeriği;

- Tek grid; kolay kurulum ile klasik doğrusal model.
- Çoklu grid; grid ayrışmasını odaklama özelliğine sahip iç içe geçmiş doğrusal model.
- Esnek mesh; grid ayrışmasını uyarılma için esneklik sağlayan model olarak üç farklı biçimde sıralanır.

Flow3D ile benzer bir şekilde ön işleme ve işlem sonrası ("preprocessing"- "postprocessing") bölümleri bulunmaktadır. Bu bölümler verilerin girişi ve simülasyon sonuçlarının sunumu işlemlerini kolay bir şekilde gerçekleştirmek için uygun ve entegre bir çalışma ortamı sağlar.

4.2.3 SWAN

SWAN, kıyı bölgelerinde, göllerde ve haliçlerde, rüzgar, batimetri ve akıntı koşullardan gerçekçi dalga parametreleri tahminleri elde etmek için üçüncü nesil bir dalga modelidir. SWAN yazılımındaki bazı fizik modelleri aşağıdaki gibidir.

- Konuma ve zamana bağlı dalga yayılımı, sığlaşma, akım ve derinlik nedeniyle kırılma, akımlardan kaynaklanan frekans kayması ve durağan olmayan derinlik
- Rüzgardan dalga üretimi
- Deniz köpüklenmesi, derinliğe bağlı dalga kırılması

- Suda meydana gelen vejetasyon, türbülanslı akış ve viskoz sıvı çamur taşınımı
- Dalga yansıması
- Dalga dönmesi

Programda genel olarak yapılandırılmış ve yapılandırılmamış olmak üzere iki tip grid kabul edilmektedir. Yapılandırılmış gridler düz veya eğrisel olup, gridler her durumda birbirlerini karşılayan 4 noktadan oluşan iç gridlerden oluşurlar. Yapılandırılmamış gridlerde ise genellikle (4 ile 10 arasında) bu sayı değişebilmektedir. Bu nedenden dolayı yapılandırılmamış olan gridlerin grid dağılımı ve esnekliği, yapılandırılmış olan gridlere kıyasla çok daha uygundur. Yapılandırılmamış gridler üçgenler ya da üçgen dörtgen kombinasyonundan (hibrit gridler) oluşabilir. Fakat SWAN'ın en güncel versiyonunda yalnızca üçgen meshler kullanılabilir.

Program dalgaları daha büyük bir bölge için kaba gridde, ardından daha küçük bir bölge için daha ince bir gridde hesaplamaktır. Önce gridde hesaplama, kaba gridde hesaplama tarafından kullanılan sınır koşullarını esas alır. Eğrisel gridler iç içe geçmiş hesaplamalar için kullanılabilir ancak sınırları daima dikdörtgen olmalıdır.

SWAN'da yapılandırılmamış gridlerin kullanılması, birbiri içine geçmiş modellere iyi bir alternatiftir; karmaşık geometriler hakkında grid oluşturmak için büyük bir uğraş verilmiştir. Adalar ve düzensiz kıyı şeritleri için üretilmesi gereken esnek meshler su derinliğinin büyük ölçüde değiştiği kıyı bölgelerinde fayda sağlamaktadır. Sonuç olarak bu değişken model ağı, kullanım amacına göre istenilen bölgede en yüksek çözünürlüğü vermektir. Model alanını yüksek doğrulukla çözebilmekte ancak normal gride olduğundan daha az grid noktası ile çözüm kolaylaştırmaktadır.

Dalga kaynaklı akım etkileri ihmal edilmektedir. İstenilen durumlarda bu akımlar SWAN'da girdi olarak tanımlanabilir. Dalga yüksekliği çeşitliliğinde yatay ölçekte büyük değişimlerin yaşanması halinde dalga dönmesi (diffraction) uygulanmalıdır.

Ancak değişken fiziksel koşullarda dönme hesaplaması oldukça karmaşık bir hal almaktadır. Bundan kaçınmak için SWAN’da ayrıştırılmış faz uygulaması kullanılır. Bu sayede yeniden dalga dağılımının ve dalga yönündeki değişimin niteliksel davranışı elde edilir. Ancak bu yaklaşım limanlarda ve yansıtıcı engellerin önünde yaşanan dalga dönmesini düzgün bir şekilde ele almaz.

4.2.4 ANSYS FLUENT

ANSYS Fluent yazılımı, endüstriyel uygulamalardaki fiziksel modeller için akım, türbülans, ısı transferi ve reaksiyonları modellemek amacıyla kullanılan bir yazılımdır. Bunlar uçak kanadı üzerindeki hava akışından, petrol platformlarındaki hava kabarcıklarına, kan akışından, yarı iletken imalatına ve atık su arıtma tesislerine kadar uzanır. Fluent, silindir içi yanmayı, aero-akustiği, turbo makineleri ve çok aşamalı sistemleri modelleme özelliğine sahip özel modeller de dahil olmak üzere geniş bir modelleme yelpazesine sahiptir.

Fluent ayrıca karmaşık ve büyük modellerde hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) simülasyonlarının hızlı ve düşük maliyetli bir şekilde çözülmesine yardımcı olmak için yüksek ölçeklenebilir, yüksek performanslı bilgi işlem (HPC) sunmaktadır. Fluent, Flow3D yazılımına benzer bir şekilde sağladığı gibi çeşitli çalışma koşulları altında simülasyon testleri yapmaya ve bu imkan da ürün üretimi öncesinde optimum maliyeti belirlemeye olanak sağlar. ANSYS, CAD ve FEA bağlantı modülleri eklenerek farklı mühendislik yazılımları ile birlikte kullanılabilir. ANSYS içerisinde geometri oluşturulması ve CAD dosyası çıktılarının alınmasına olanak sağlar. Yazılımda geometri oluşturmaya olanak sağlayan bölümde analiz için gerekli olan sonlu elemanlar modeli (mesh) de tanımlanır. Tüm fiziksel koşulların tanımlandığı analizlerin ardından sonuçlar sayısal olarak görselleştirilip yorumlanabilir.

Birçok sürece ait akışkanlar mekaniği probleminin derinlemesine analiz etmesine olanak tanıyan ANSYS, yüksek maliyetli prototiplere olan ihtiyacı azaltmaya olanak sağlar ve deneysel çalışmalar ile kolay bir şekilde elde edilemeyen kapsamlı veriler oluşturur.

4.2.5 SMS

SMS (Surface-water Modelling System), bir Aquaveo ürünü yüzey suyu simülasyonları yapmak için kullanılabilen bir yazılım sistemidir. Aquaveo, hidrolik, hidrolojik ve yeraltı suyu modellemesi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı yazılım çözümlerinin öncülerinden biridir. Aquaveo, 1985 yılında Brigham Young Üniversitesi'nde Bilgisayar Grafik Mühendisliği laboratuvarının bir parçası olarak çalışmaya başlamıştır. Yüzey suyu ve yeraltı suyu hidrolojisinin hidrolik sistemini modelleme ve görselleştirme alanında çalışmalar sunmaktadır. Ek olarak, Aquaveo su kaynakları mühendisliği, hidrolik ve hidroloji mühendisliği alanında eğitim ve danışmanlık hizmetleri vermektedir. Aquaveo, ABD Kara Kuvvetleri Mühendisler Birliği, ABD Federal Karayolları İdaresi, ABD Enerji Bakanlığı gibi federal ve yerel devlet kurumları ile yazılım geliştirme ve danışmanlık sözleşmelerine devam etmektedir.

SMS, yüzey suyu modellemesi üzerinde etkin olup, nehir ve kıyı problemlerinin çözümlerine erişim sağlar. SMS, aşağıdakiler dahil olmak üzere uygulamalar için çok çeşitli sayısal modellerle ara yüzler oluşturur:

- Akifer analizi
- Kirletici taşınımı
- Sediment taşınımı
- Parçacık takibi
- Kırsal ve kentsel taşkın
- Haliç
- Kıyılarda sirkülasyonu
- Kıyı ve körfezlerde dalga modellemesi

Bu modeller birçok kaynak üzerinden veri gerektirdiği için, SMS çok sayıda raster görüntüler, yükseklik verileri, CAD dosyaları vb. dosya türünü kolay bir biçimde iç içe aktarılacak yapıda oluşturulmuştur (Aquaveo, 2018).

4.2.6 OPEN FOAM

OpenFoam Londra'daki Imperial College'da Henry Weller tarafından geliştirilmiştir. C++ programlama dili olarak kullanılmıştır. 2004 yılında OpenFoam'ı geliştirmek için OpenCFD Ltd. kurulmuştur.

OpenFoam, her biri belirli bir problem sınıfı için tasarlanmış geniş bir çözüm yelpazesi içerir. Denklemler ve algoritmalar bir çözümleyiciden diğerine farklılık göstermekte ve bir çözücünün seçilmesi kullanıcının belirli bir durum için ilk tercihleri yapmasını gerektirir. Çözücü seçilmesi durum tanımlaması için gerekli parametrelerin ve fiziksel özelliklerin birçoğunun belirlenmesini sağlar, ancak kullanıcıyı bazı çalışma süresince belirlenecek modelleme seçenekleri ile karşı karşıya bırakır.

Program yazılımları, genel olarak kullanılan matematiksel gösterimleri yeniden üretmeyi amaçlayan program tarafından sunulan üst düzey dil kullanılarak yazılmıştır. İki adet uygulama çeşidi bulunmaktadır. Bunlar; çözücüler ve yardımcı yazılımlardır. Programın çözücüleri; yanma simülasyonu, temel CFD çözücüleri, ısı transferi çözücüleri, elektromanyetizma çözücüleri, çok fazlı akış çözücüleri, sıkıştırılabilir ve sıkıştırılmaz akış gibi çözücüleri bulunmaktadır. Ayrıca program özel olarak çeşitli ek çözücülerin kolay bir şekilde oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Sonuç olarak belirli bir süreklilik problemini çözmek için gereken hesaplamayı yaparlar. Programın yardımcı yazılımları; "mesh" yazılımı, ön ve son işlem yazılımları ("preprocessing"- "postprocessing"), paralel işleme yazılımları, fiziksel yazılımlardır. Bu yazılımlar mesh oluşturmayı sağlamak, hesaplama işlemlerini gerektiği durumlarda ayırmaya yardımcı veya yeniden oluşturmak, simülasyon sonuçlarını işlemek gibi işlemleri sağlamaktadırlar.

Programın Flow3D programında olduğu gibi, uygulama yelpazesi geniş olup bazı örnek modeller kullanıma hazır olarak bulunmaktadır. Programın geliştiricileri kullanıcılara destek ve eğitim konusunda yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda diğer ticari yazılımlardan farklı olarak bu yazılım açık kaynaklı olmasından dolayı lisans ücreti yoktur (Aksoy, 2017).

BÖLÜM BEŞ

ŞEVLİ YÜZLÜ DALGAKIRANIN SAYISAL MODELLENMESİ

Tez kapsamında şevli yüzlü dalgakıran etrafındaki oyulmaların sayısal olarak modellenmesi için Flow3D yazılımı kullanılmıştır.

5.1 Modelleme Yazılımı (Flow3D)

Flow3D, çözüm için sonlu hacimler tekniğini kullanan ve bünyesinde birçok türbülans modelini barındıran bir “Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği” paket programıdır. Flow3D aynı zamanda, problemin geometrisinin tanımlanmasını, çözüm ağı yapısının oluşturulmasını ve çözümün gerçekleştirilmesini aynı ara yüzde sağlayarak kullanım kolaylığı sunan bir yazılımdır. Flow3D paket programında incelenen probleme bağlı olarak bazı parametrelerin tanımlanması gerekmektedir.

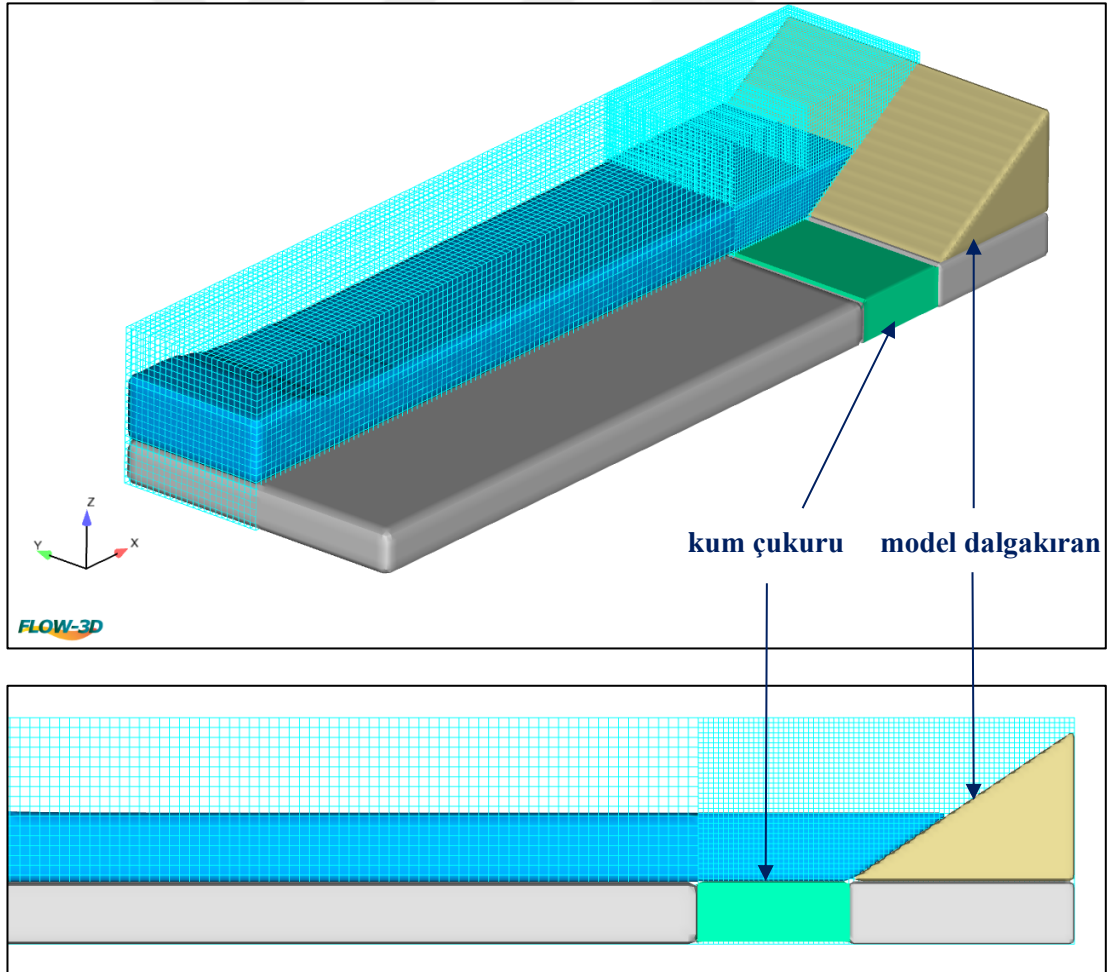
Flow3D programı, Flow Science Inc. kuruluşuna ait bir üründür. Flow3D programı akım modellemeyi sağlayan bir akışkanlar dinamiği yazılımı olup, fiziksel işlemler ve endüstriyel uygulamalar için sıvı ve gazların dinamik davranışlarını araştıran mühendislere akım simülasyon çözümleri üretmektedir. Zamana bağlı bir, iki veya üç boyutlu serbest yüzey problemlerinin çözümünde uzmanlaşmış olup ek olarak durgun hal ve sınırlı akım problemlerini de ele almaktadır. Programın amacı hidrolik modelleme sürecinde daha düşük maliyetle (tasarım, çözümlene vb.) gerçek akımın modellenmesidir.

Flow3D ile oluşturulacak modellerde, modelin katı bölümünün programa tanımlanması temelde ilk yapılacak işlemdir. Bu işlem için model; Flow3D programındaki “Meshing & Geometry” sekmesinden tanımlanabileceği gibi, AutoCAD, 3ds Max gibi model oluşturulabilen programlarda stereolithography (.STL) dosyası olarak kaydedilip Flow3D programına aktarılabilir.

5.2 Modelleme Yaklaşımı

Gerçekleştirilen sayısal model, dalga etkisi altında dalgakıran topuğundaki oyulma ve birikmeleri araştırmayı amaçlamaktadır. Modelleme çalışması sonucunda deniz tabanı seviyelerindeki değişimler ve alansal oyulma desenlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Sayısal model, Dokuz Eylül Üniversitesi (DEÜ) hidrolik laboratuvarında bulunan 33 metre uzunluğunda 3,6 metre genişliğinde ve 1,2 metre yüksekliğindeki fiziksel dalga kanalına eşdeğer bir dalga modeli oluşturulmuş olup dalga üreticinin bulunduğu alanda dalga sınır koşulu tanımlanmıştır. Dalgakıran ve topuğundaki kum bölgesine kadar olan bölümde 8 cm, dalgakıran ve topuğundaki sediment için 4 cm aralıklı detaylı bir şekilde oluşturulan ağ sistemi Şekil 5.1’de verilmektedir.

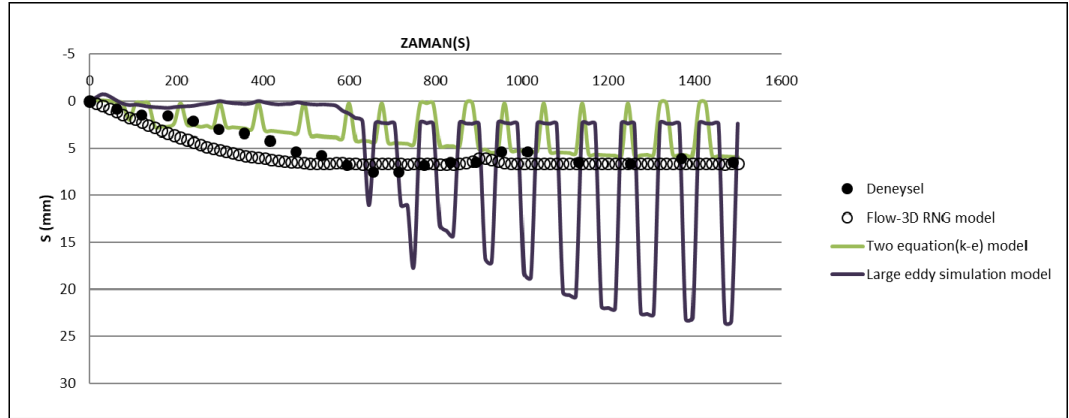


Şekil 5.1 Sayısal model ağ sistemi

Modelde dalgakıran her ne kadar şevli yüzeyli taş dolgu dalgakıran olarak düşünülse de, konu ile ilgili başlangıç araştırması niteliğindeki bu çalışmada, karşılaştırma yaparken şevli yüzü düzlemsel dalgakıran göz önüne alınmıştır.

Modelde dalgakıran topuğunda 1 metre genişliğinde dane medyan çapı 1 mm, 0,55 mm ve 0,20 mm olan paket sediment tanımlanmıştır.

Türbülans kapanış problemi için, tez danışmanının birinde yürütücü ve birinde araştırmacı olarak yer aldığı ve dalga etkisi altında yapı-deniz-zemin etkileşiminin araştırıldığı TÜBİTAK 111M550 ve TÜBİTAK 215M245 projelerinde deneysel bulguların birbirleriyle uyumu incelendiğinde deneysel sonuçların sayısal sonuçlara en yakın türbülans modelinin RNG modeli olduğu Şekil 5.2’de görülmektedir.



Şekil 5.2 Farklı türbülans modelleri ile elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması

Akışkan özelliği olarak 20°C’de su tanımlanıp, viskoz akış kabulü yapılan sayısal modellerde “Sediment scour” ve “Density evaluation” modelleri çalıştırılmıştır. Böylece yoğunluk diğer parametrelerin bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır. Kritik Shields parametresi 0,025, sürüklenme katsayısı (drag coefficient) kum için 1,5 olarak girilmiştir.

5.2.1 Sediment Scour Modeli

Sediment oyulması için Meyer-Peter & Müller denklemi göz önünde bulundurulmuştur. Sediment oyulma prensibi ve sediment özelliklerini gösteren arayüz Şekil 5.3’de verilmektedir.

	Diameter	Density	Critical Shields Number	Entrainment Coefficient	Bed Load Coefficient	Angle of Repose (°)
Sediment 1	0,001	2650	0,025	0,018	8	32

Şekil 5.3 Flow3D programı Model Setup-Physics-Sediment Scour Sekmesi

Meyer-Peter ve Müller’in katı madde hesabı için ortaya koyduğu formül aşağıdaki gibidir.

$$q_B = 8 (\theta' - \theta_{cr})^{1,5} [(s - 1)gd^3]^{0,5} \quad (5.1)$$

Burada q_B birim genişlik için taban malzemesi debisini göstermektedir.

5.2.2 Kritik Shields Parametresi

Tabanda hareketin başlangıç koşulu boyutsuz kayma parametresi θ 'nın kritik değere ulaşmasıdır. θ_{cr} olarak gösterilen bu kritik değer aşıldığında tabanda hareket başlayacaktır. Bu parametre hesap sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Boyutsuz kayma gerilmesi olan parametre oyulmanın hangi gerilme değerinde başladığının bir ölçüsüdür. El ile hesaplanan değer 0,025 değerindedir.

5.2.3 Temel Denklemler ve Sayısal Çözüm

Flow3D süreklilik, momentum ve enerji temel kanunlarına dayandığından hemen her tür akışkanlar mekaniği problemlerine uygulanabilmektedir. Üç boyutlu süreklilik ve hareket (RANS: Reynolds Ortalamalı Navier Stokes) denklemlerinden oluşan diferansiyel denklem sistemini kullanmaktadır.

Yazılımda üç boyutlu süreklilik ve hareket denklemleri eş zamanlı olarak çözülebilmektedir. Sıkışmayan akım için kullanılan kartezyen koordinatlardaki süreklilik ve hareket denklemleri sırasıyla aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(u_i A_i) = 0 \quad (5.2)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u_j A_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + g_i + f_i \quad (5.3)$$

Burada u_i i doğrultusundaki akım hızını, P basıncı, A_i i doğrultusunda her bir hücredeki akışkanın sahip olduğu alanı, V_F her bir hücredeki akışkanın sahip olduğu hacmi, g_i kütlelesel kuvvetleri, f_i herhangi bir türbülans modeli için Reynolds gerilmelerini ifade etmektedir. Bir akışkan hacmi için Reynolds gerilmeleri f_i aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir.

$$f_i = \frac{1}{\rho V_F} \left[w s_i - \frac{\partial}{\partial x_j} (A_j \tau_{ij}) \right] \quad (5.4)$$

τ_{ij} ise türbülans kayma gerilmesini göstermekte olup aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

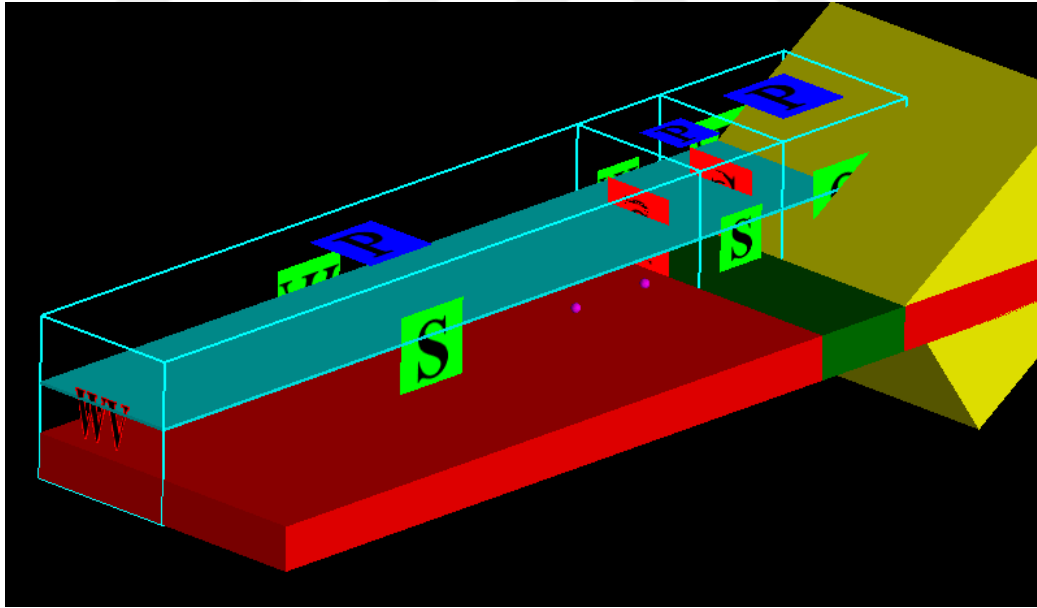
$$\tau_{ii} = -2\mu_T \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right] \quad (5.5)$$

$$\tau_{ij} = -\mu_T \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (5.6)$$

Burada μ_T çalkantı gerilmelerini ve dinamik viskoziteyi içeren ($\mu_T = \mu + \mu_t$) türbülans viskozitesidir. Duvar sınır koşulları, seçilen türbülans modeline (turbulence closure scheme) göre farklı değerlendirilmektedir. Taşınımlı türbülans kapatma şemalarının çözümünde (k- ϵ gibi) sınır tabakası içerisindeki hız dağılımını veren bir duvar fonksiyonundan yararlanılmaktadır.

5.3 Dalga Sınır Koşulu Modelleme Yaklaşımı

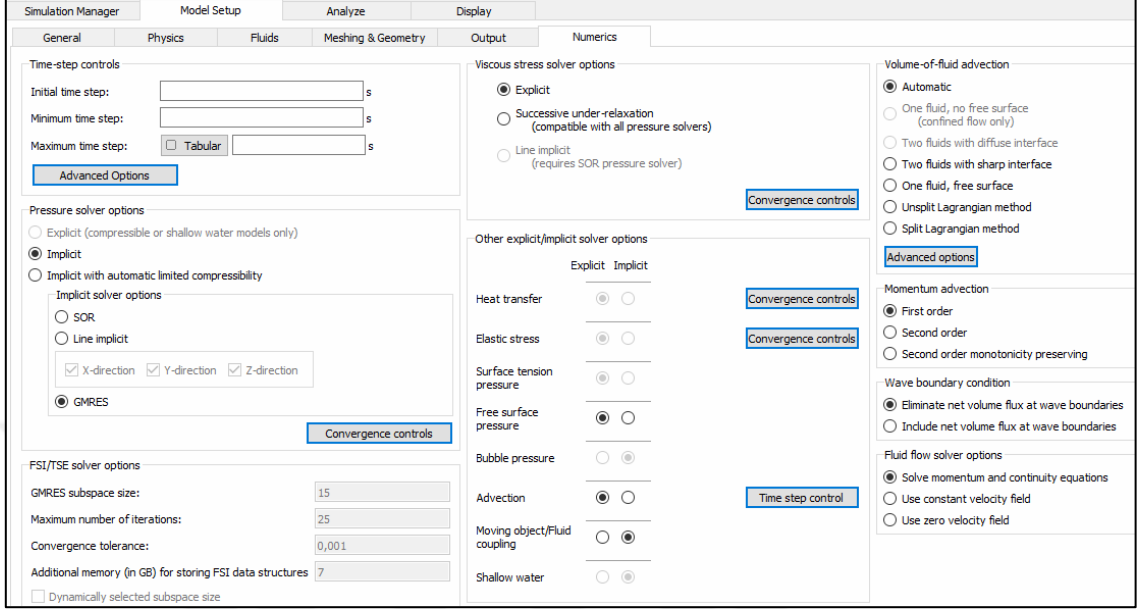
Dalga karakteristikleri ve farklı dalga teorilerine göre tanımlanabilen dalga sınır koşullarının olduğu modelde Xmin sınır koşuluna “Wave”, Zmax sınır koşulları “Pressure” olarak tanımlanmıştır. Zmax sınır koşulundaki basınç değeri hava boşluğundaki başlangıç basıncında olduğu gibi “0” olarak tanımlanmıştır. Analiz süresini yarıya düşürmek için orta alanda y ekseninde “Simetri” sınır koşulları uygulanmıştır.



Şekil 5.4 Dalga sınır koşullu model için tanımlanan sınır koşulları

Model Setup>Numerics>Wave Boundary Conditions kısmında “eliminate net volume flux at wave boundaries“ seçeneği seçilerek sistemin su ile dolup analizin

durmasının önüne geçilmesi sağlanmıştır. Yazılımda sayısal kabüllerin gösterildiği ara yüz Şekil 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.5 Flow3D programı Model Setup-Numerics Sekmesi

5.3.1 Dalga Teorileri

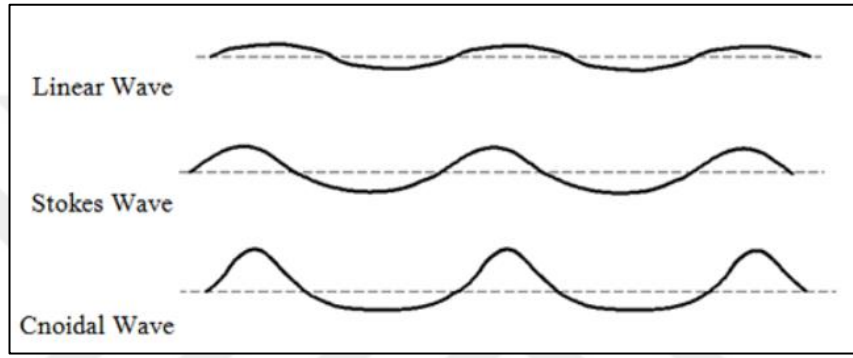
Lineer (Airy) Dalga Teorisi

Dalga yüksekliği; dalga boyu ve su derinliği ile karşılaştırıldığında oldukça küçükse matematiksel ifadeler lineer formda tarif edilebildiğinden literatürde bu tip dalgalar lineer dalga veya Airy dalga olarak isimlendirilmektedir. Büyük genlikli dalgalarda görülen dalga tepesi ve çukuru arasındaki asimetri lineer dalga teorisi ile açıklanamamaktadır. Bu nedenle lineer olmayan teorilerin kullanılması gerekmektedir.

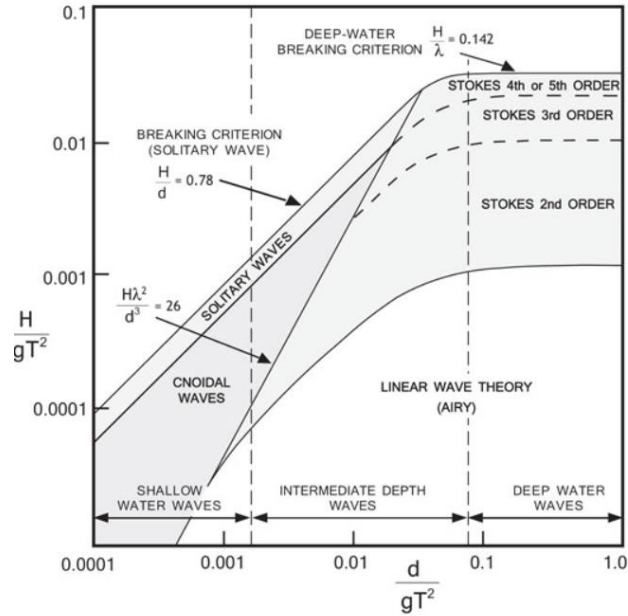
Stokes ve Cnoidal Dalgalar

Lineer dalga teorisi (Airy, 1845) birçok uygulamada kullanılmasına rağmen, lineer olmayan dalga teorileri, dalga genliğinin küçük olmadığı koşullarda, lineer dalga teorisine göre daha belirgin bir gelişme sağlar. Periyodik kararlı dalgalar için, Stokes dalga teorisinin temel parametreleri ilerleme doğrultusundaki tüm değişimler Fourier serisi ile açıklanabilmektedir. Serideki katsayılar, dalga yüksekliği ile artan

parametrelere sahip terimleri içeren pertürbasyon açılımlarıyla yazılmaktadır. Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de gösterildiği gibi Stokes dalgası derin su ve geçiş bölgesinde kullanılan periyodik bir dalgadır. Cnoidal dalga sığ su ve geçiş bölgesinde kullanılan uzun bir periyodik dalgadır ve Stokes dalgasından daha keskin tepelere ve daha düz çukurlara sahiptir. Cnoidal dalgalar sığ su koşullarında lineer olmayan dalgalar Boussinesq tarafından tanımlanmıştır. Bu denklemlerde dikliği daha fazla olan dalga tepesi altında, dalga boyunun su derinliğinden daha fazla olmasına rağmen hidrostatik olmayan basınç dağılımı söz konusudur.



Şekil 5.6 Farklı profillerdeki dalgaların karşılaştırılması



Şekil 5.7 Çeşitli dalga teorilerinin uygulanabilirliği (d: ortalama su derinliği; H: dalga yüksekliği; T: dalga periyodu; g: yerçekimi ivmesi)

BÖLÜM ALTI

SAYISAL MODEL SONUÇLARI

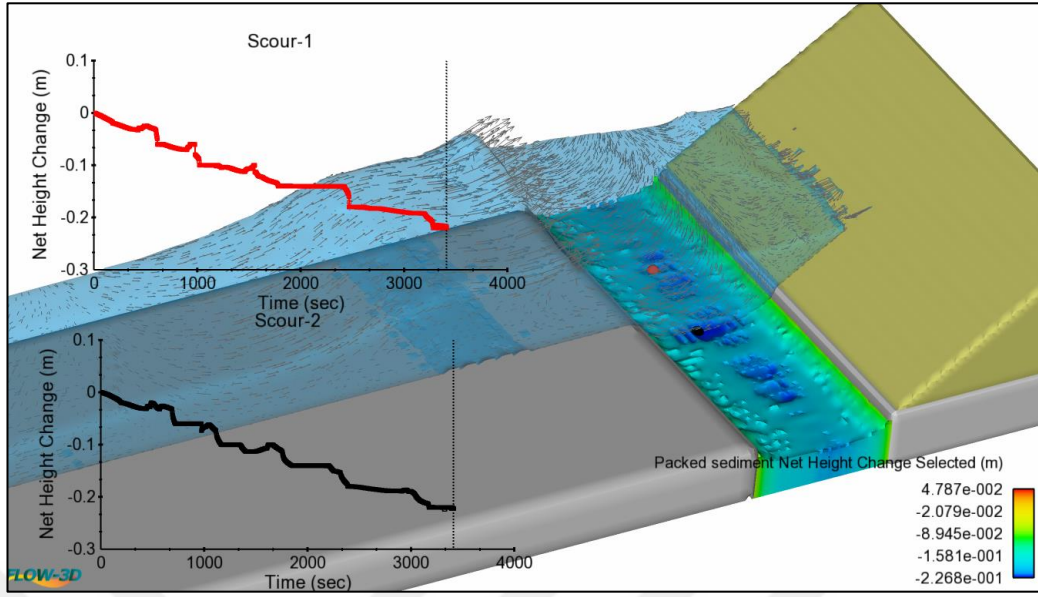
Bu bölümde sunulan sediment oyulma modellemesi, dalga sınır koşullarının tanımlanmasıyla farklı taban malzemeleri ve şev eğimleri durumunda, düzenli ve düzensiz dalga etkisi altındaki oyulmaların etkilerini tahmin etmeyi amaçlamaktadır.

6.1 Düzenli Dalga Sınır Koşullu Model Sonuçları (2:3 Şev Eğimi)

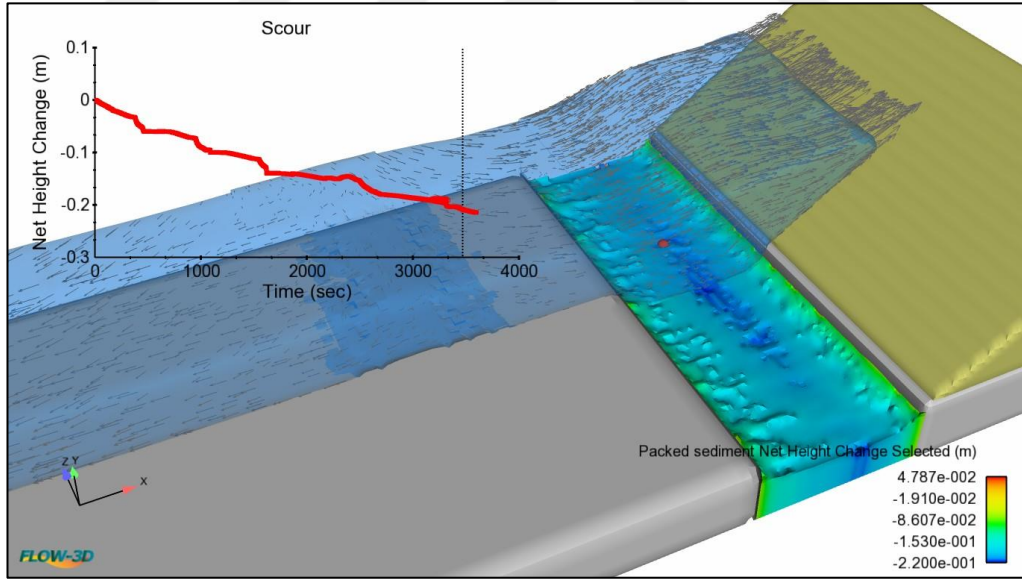
Dalga sınır koşulları model durumunda Airy (Lineer) Dalga teorisi tanımlanmış, 2:3 şev eğimine sahip dalgakıran topuğunda taban malzemesi $d_{50}=1$ mm, 0,55 mm ve 0,20 mm olan analizlere ait oyulma desenleri Şekil 6.1'dan Şekil 6.3'e kadar verilmiştir. Oyulmaların yüksek olduğu yerlerden zaman serileri çekildiğinde $d_{50}=1$ mm olan model sonuçlarında oyulma miktarının düşük olduğu, sediment çapının küçülmesiyle oyulma derinliklerinin arttığı görülmüştür.

6.2 *Düzensiz Dalga Sınır Koşullu Model* bölümünde JONSWAP spektrumundan üretilen düzensiz dalgaların serbest su seviyesi değişimleri zaman serisi analizlerinden eşdeğer dalga yüksekliği ve pik dalga periyodu değerleri elde edilmiştir. Bu dalga değerleri modelde X_{min} sınırından lineer dalga teorisi olarak tanımlanarak aynı dalga karakteristiğinde ($H=0,42$ m $T=3,1$ s) düzenli ve düzensiz dalgaların oyulmaya etkisi araştırılmıştır.

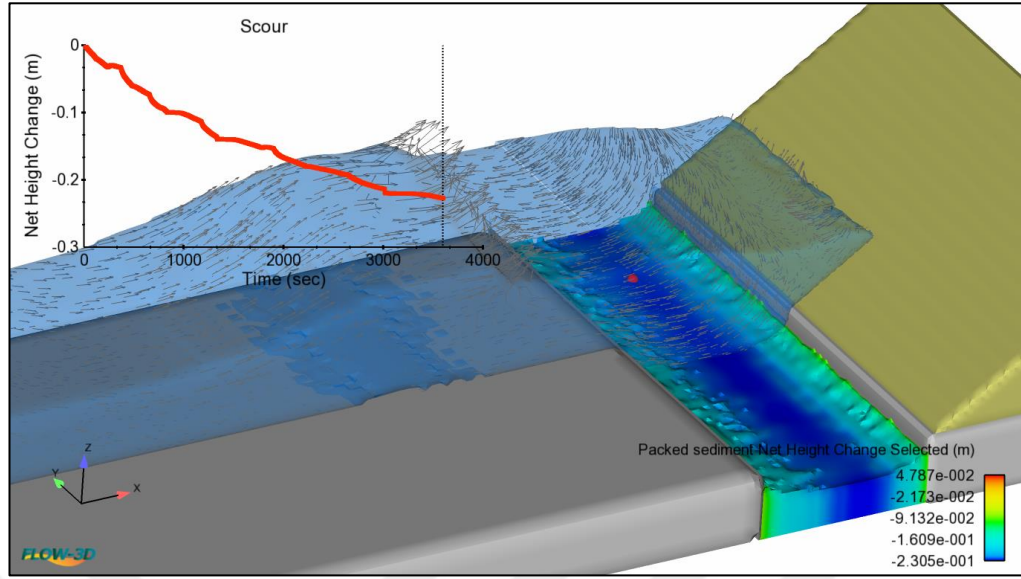
Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de görüldüğü üzere, taban malzemesi çapı 1 mm ve 0,55 mm olan analiz çıktılarında oyulma deseni bölgesel olarak farklılıklar göstermektedir. 1 mm taban malzemesi durumunda bazı bölgelerde oyulma derinliği 15 cm iken bazı bölgelerde maksimum oyulma derinliği 21 cm civarlarında gözlenmektedir. 0,55 mm taban malzemesi durumunda ise alansal olarak oyulma genel bir eğilim göstermiş olup, ortalama oyulmanın 15-16 cm, maksimum oyulmanın 21 cm olduğu görülmektedir. Şekil 6.3'de görülen 0,20 mm dane medyan çaplı taban malzemesi durumunda orta alanda oyulma derinlikleri açık bir şekilde görülmekte olup ortalama oyulma derinliği 23 cm'dir.



Şekil 6.1 Düzenli dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Lineer dalga teorisi, $H_s=0,42$ m $T_w=3,1$ s $d_{50}=1$ mm, 2:3 şev eğimi)



Şekil 6.2 Düzenli dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Lineer dalga teorisi, $H_s=0,42$ m $T_w=3,1$ s $d_{50}=0,55$ mm, 2:3 şev eğimi)



Şekil 6.3 Düzenli dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Lineer dalga teorisi, $H_s=0,42$ m $T_w=3,1$ s $d_{50}=0,20$ mm, 2:3 şev eğimi)

6.2 Düzensiz Dalga Sınır Koşullu Model Sonuçları (2:3 Şev Eğimi)

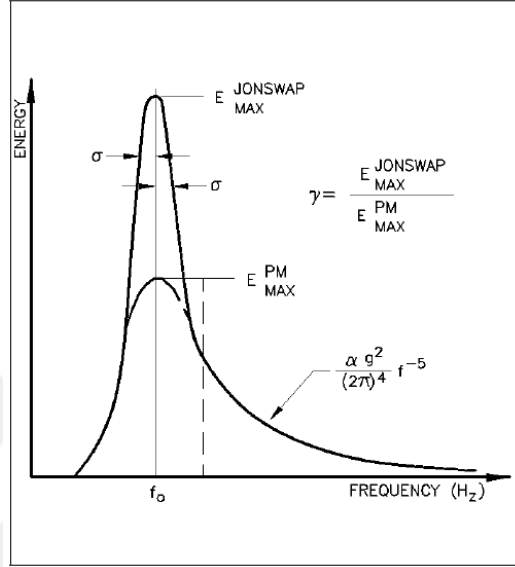
6.2.1 Jonswap Spektrumu

Jonswap spektrumu, İngiltere, Hollanda, Amerika ve Almanya'daki kuruluşlar tarafından "Joint North Sea Wave Observation Project" ismiyle bilinen 1968-1989 yıllarında yapılan yoğun dalga ölçümleri sırasında geliştirilmiş ve bu nedenle bu isim kullanılmıştır. Jonswap spektrumun formülü Pierson-Moskovitz spektrum modelinin değiştirilmesi ile aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[-1,25 \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right)^{-4} \right] \gamma \exp \left[-\frac{(\omega - \omega_p)^2}{2\tau^2 \omega_p^2} \right] \quad (6.1)$$

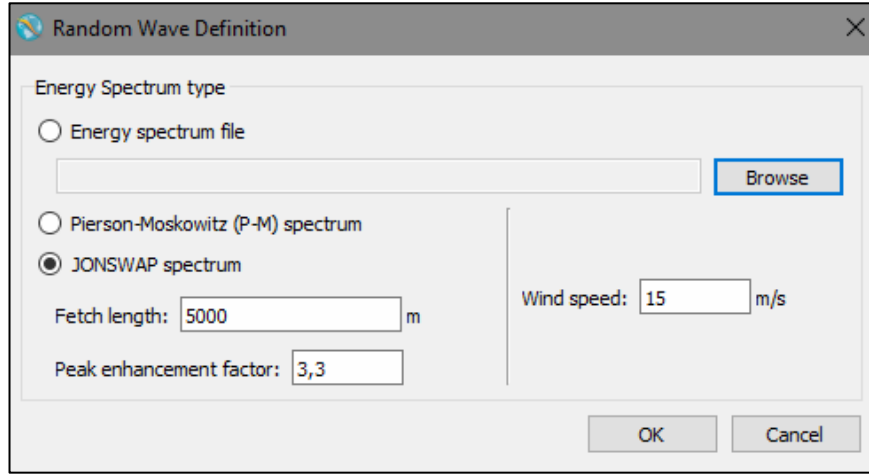
γ (peak enhancement factor) diklik parametresini ifade etmekte olup modelde 3,30 olarak alınmıştır. Spektrum eğrisinin sol tarafı çizilirken $\tau_a=0,07$ değeri ve sağ tarafı çizilirken $\tau_b=0,09$ değeri kullanılmaktadır. Açısal frekansın ω , pik açısal frekanstan küçük olması durumunda ($\omega < \omega_p$) τ_a değeri, ($\omega > \omega_p$) durumunda τ_b değeri denkleme

yerleştirilmektedir. Denklemde α ölçek parametresini, g yer çekimi ivmesini ifade etmektedir. $\gamma=3,30$ belirli bir rüzgar hızı ve verilen bir feç için ortalama bir spektrum vermektedir. Bununla birlikte γ değeri sabit bir rüzgar hızı için rüzgarın esme süresine ve fırtınanın gelişme ve azalmasına bağlı olarak değişecektir.

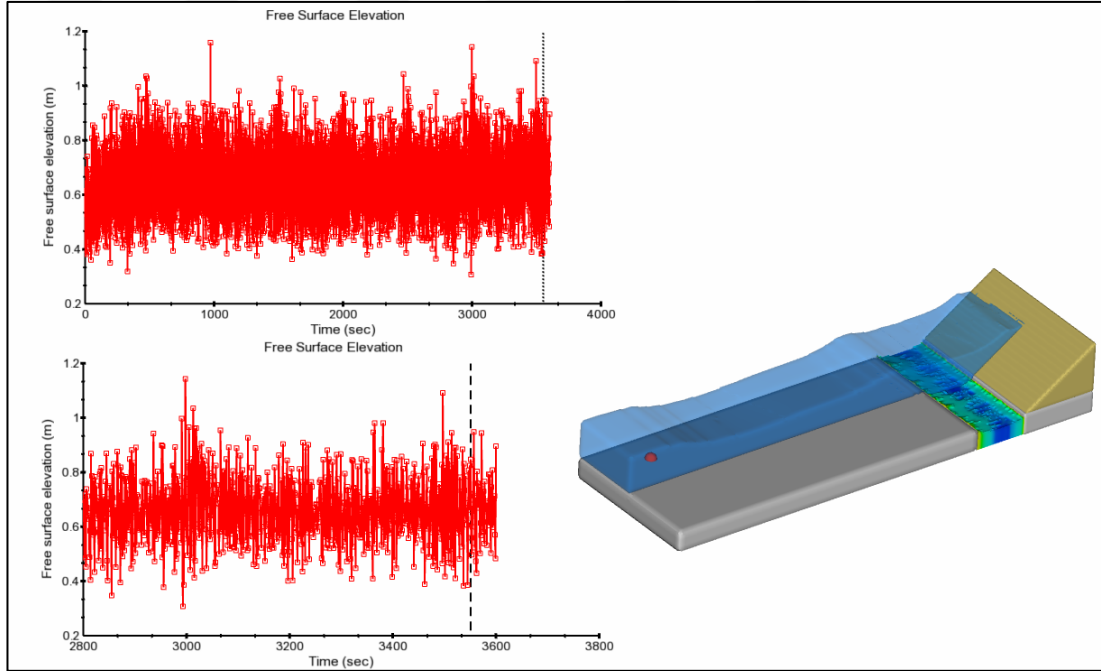


Şekil 6.4 Pierson Moskowitz ve JONSWAP spektrumunun karşılaştırılması

Şekil 6.5’de verilen düzensiz dalga tanımlamasına (JONSWAP spektrumu) ait ara yüzde görüldüğü üzere feç mesafesi 5 km, rüzgar hızı 15 m/s ve diklik parametresi 3,30 olarak girilmiştir. Simülasyon süresince üretilen dalganın yakınından alınan zaman serisiyle serbest su seviyesi değişiklikleri Şekil 6.6’de gösterilmiştir. Düzenli dalga analizleriyle aynı dalga karakteristiğine sahip düzensiz dalga durumunda 2:3 şev eğimi için analiz edilen model çıktıları Şekil 6.8’den Şekil 6.11’e kadar verilmiştir.

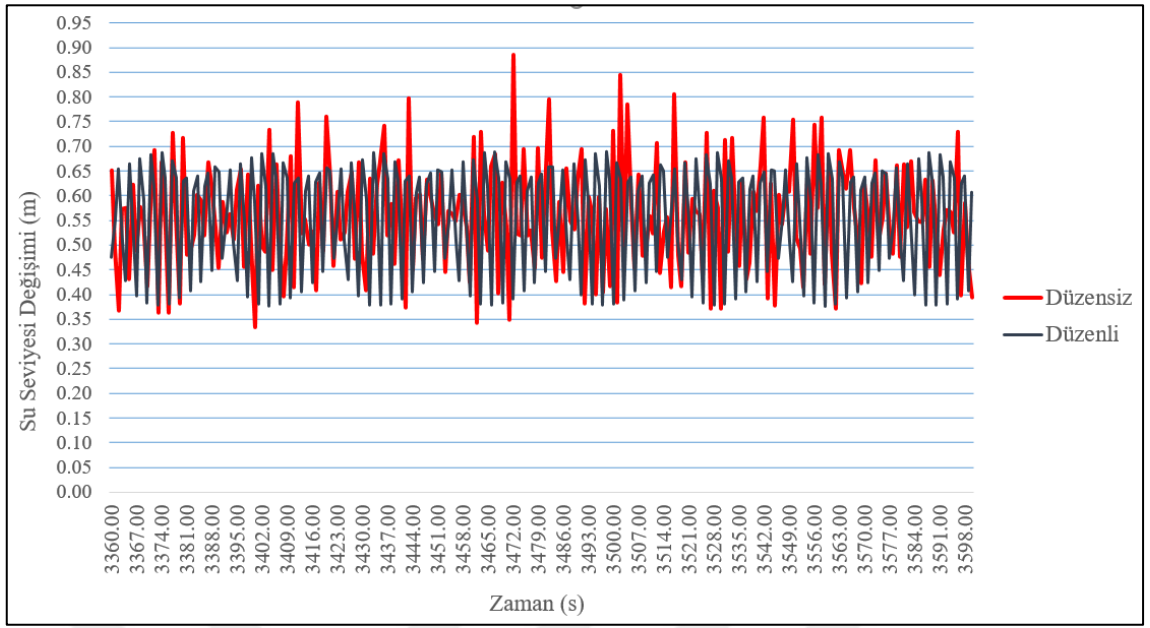


Şekil 6.5 Flow3D düzensiz dalga ara yüzü (JONSWAP Spektrumu)

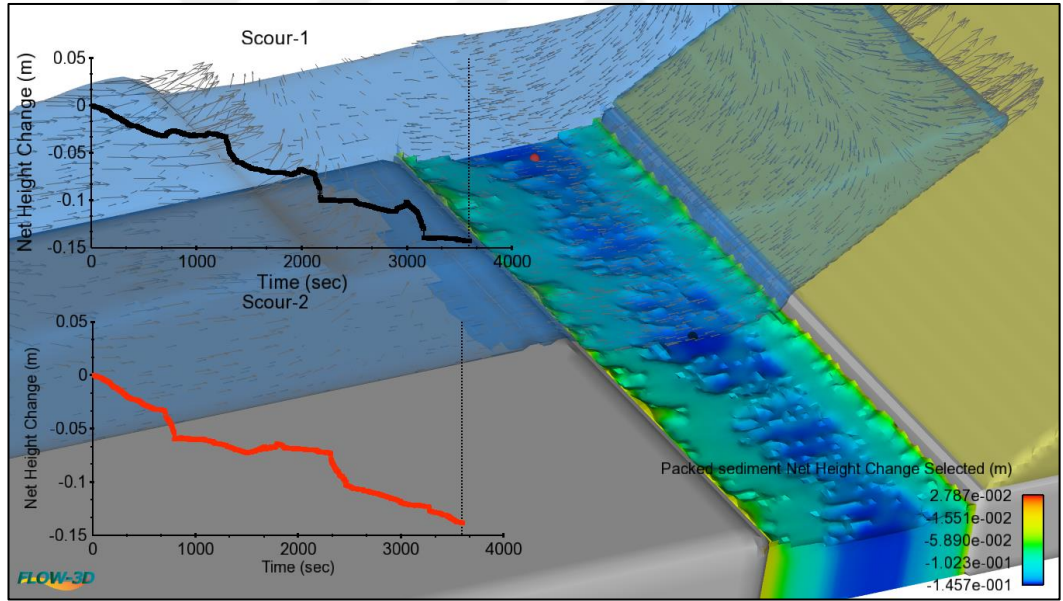


Şekil 6.6 Düzensiz dalga (JONSWAP spektrumu) durumundaki dalga yüksekliği zaman serisi

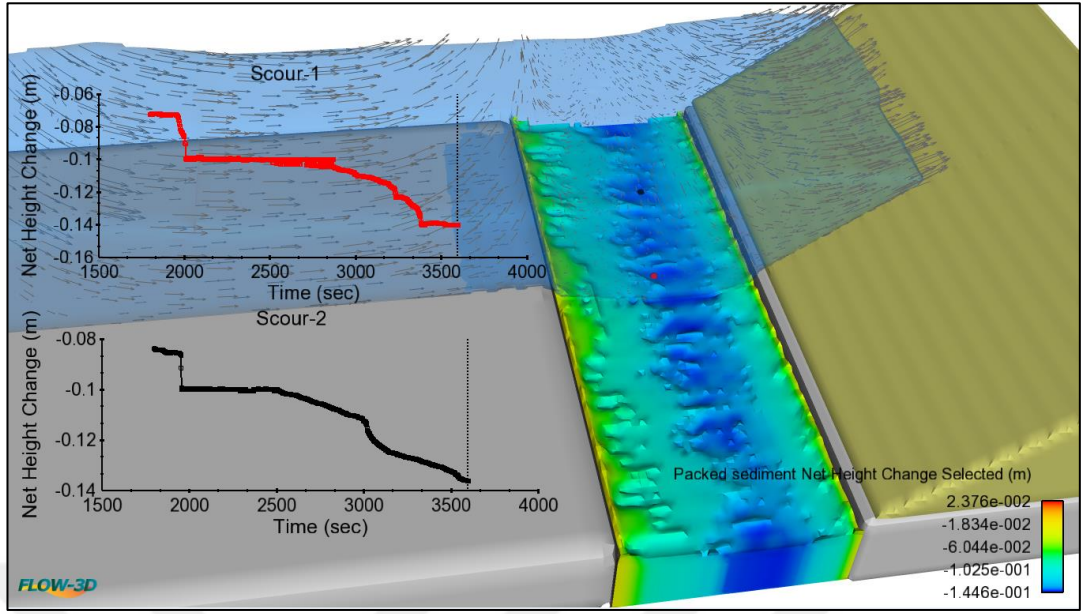
Düzenli ve düzensiz dalga analizlerinde dalga sınırına yakın belirli bir noktadan alınan ve Flow3D yazılımında (.csv) dosyası halinde oluşturulabilen zaman serilerinin birbirlerinin üzerine çakıştırılmış hali Şekil 6.7’de verilmiştir.



Şekil 6.7 Düzenli ve düzensiz dalga modellerindeki su seviyeleri değişimi ($H_s=0,42$ m, $T_w=3,1$ s)

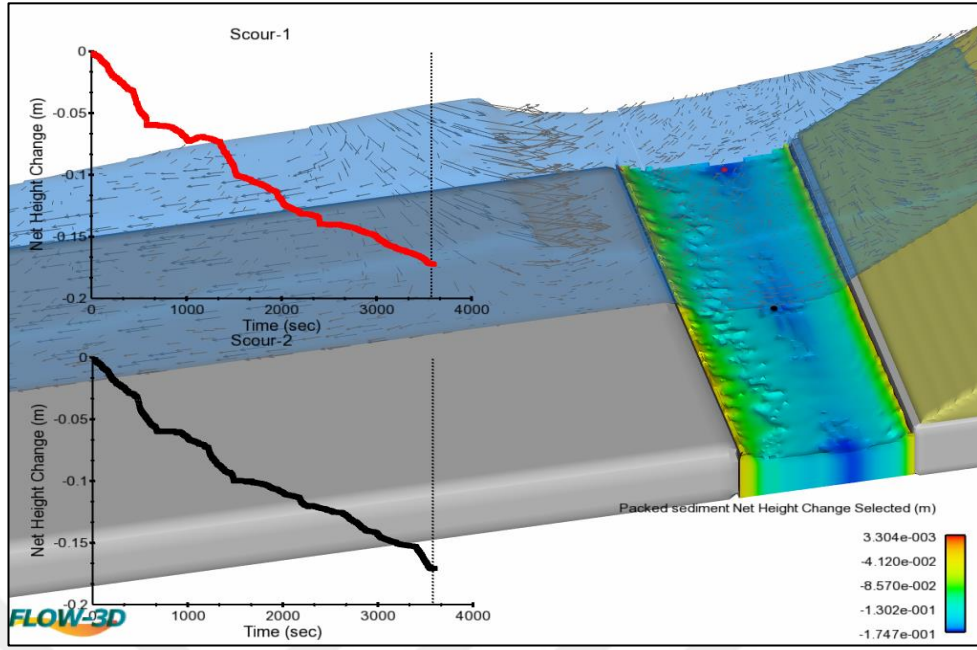


Şekil 6.8 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=1$ mm, 2:3 şev eğimi)

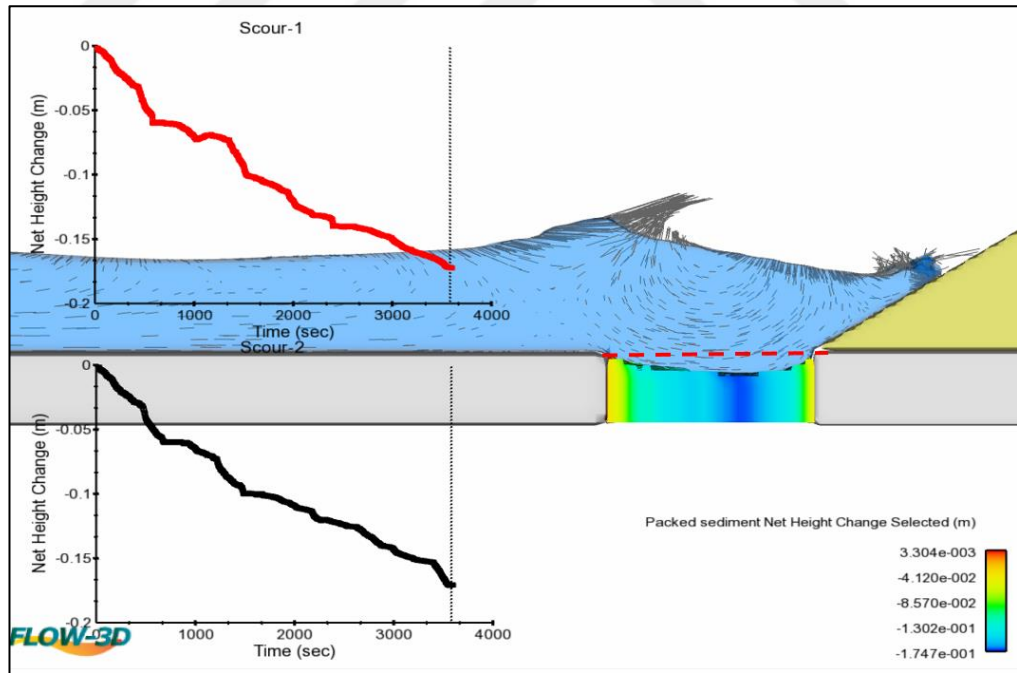


Şekil 6.9 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=0,55$ mm, 2:3 şev eğimi)

Düzensiz dalga etkisi altında taban malzemesi dane medyan çapı 1 mm ve 0,55 mm olan analizlerde oyulma derinliklerinin birbirine oldukça yakın olduğu ve 14-15 cm civarında olduğu gözlenmiştir. 1 mm ve 0,55 mm dane çaplı taban malzemesi analizlerinde oyulma değerlerinin düzenli dalga analizlerindeki sonuçlara yakın olduğu görülmektedir. Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de görülen 0,20 mm çaplı taban malzemesi durumunda ise oyulma derinliğinin 18 cm mertebelerine ulaştığı görülmektedir. Bu oyulma değerinin aynı şev eğimi için düzenli dalga etkisi altında 23 cm değerlerine ulaştığı düzenli dalga sınır koşullu analizlerde daha önceden belirlenmiştir. Taban malzeme çapının küçülmesine bağlı olarak düzenli ve düzensiz dalga etkisindeki oyulma farklılık göstermektedir. Bu durum belli bir periyot içerisinde aynı genlikli dalganın sürekli olarak dalgakırana gönderilmesinden kaynaklanmaktadır.



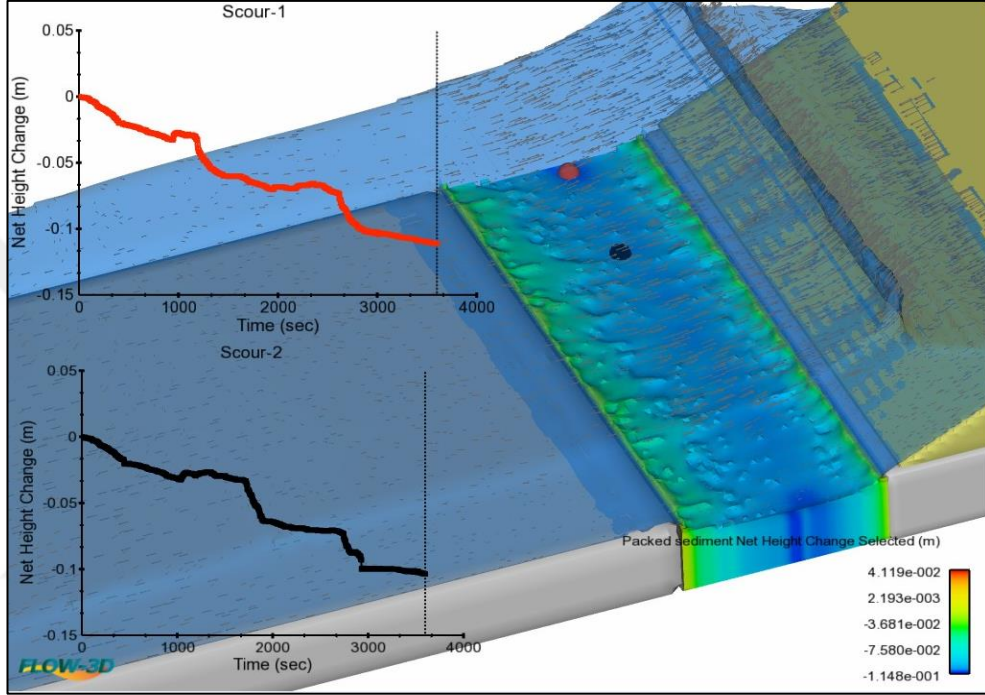
Şekil 6.10 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=0,20$ mm, 2:3 şev eğimi)



Şekil 6.11 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma profili (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=0,20$ mm, 2:3 şev eğimi)

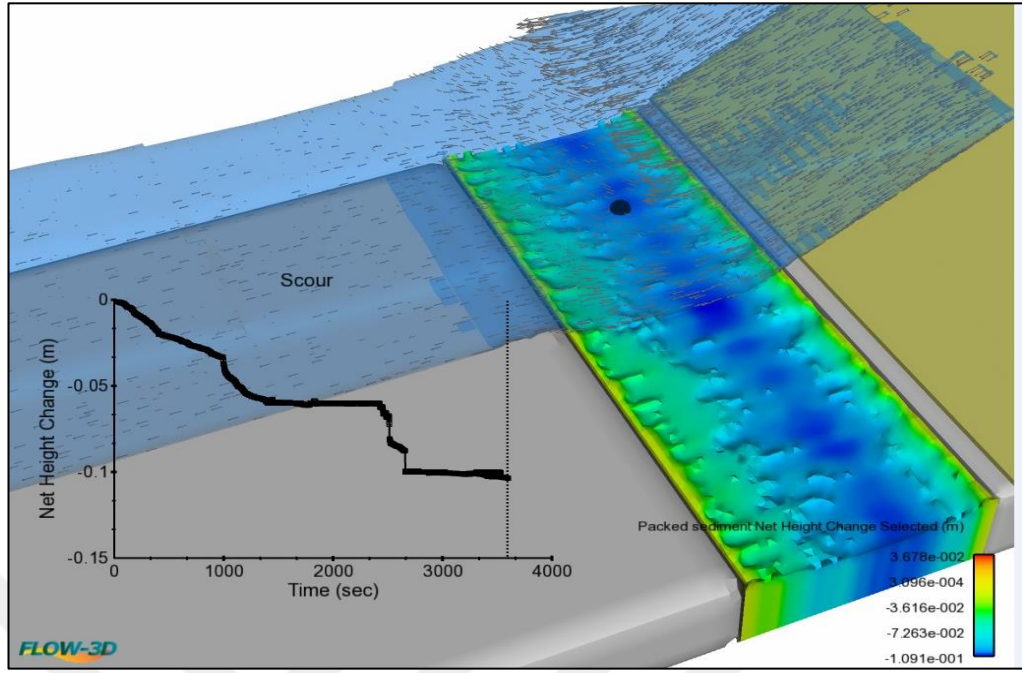
6.3 Düzensiz Dalga Sınır Koşullu Model Sonuçları (1:2 Şev Eğimi)

Şev eğimi 1:2 olacak şekilde analiz edilen model çıktıları Şekil 6.12'dan Şekil 6.15'a kadar verilmiştir. Daha yatık olan bu dalgakıran modelinde oyulma derinlikleri 2:3 şev eğimi analizlerine göre görece olarak daha düşük çıkmıştır.

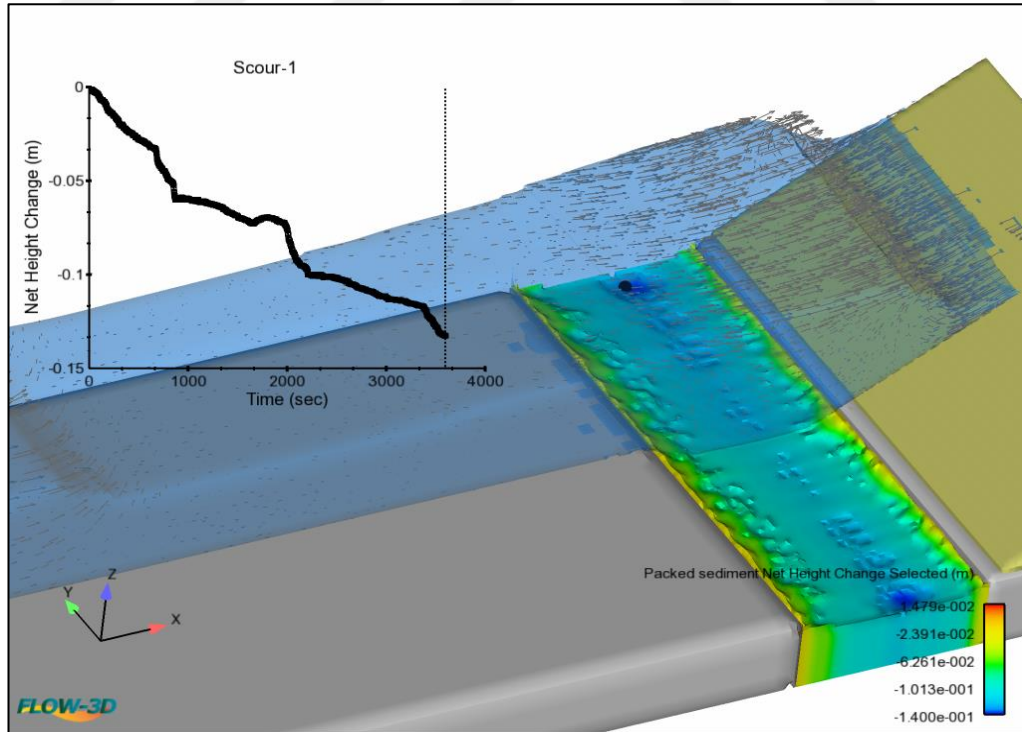


Şekil 6.12 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=1$ mm, 1:2 şev eğimi)

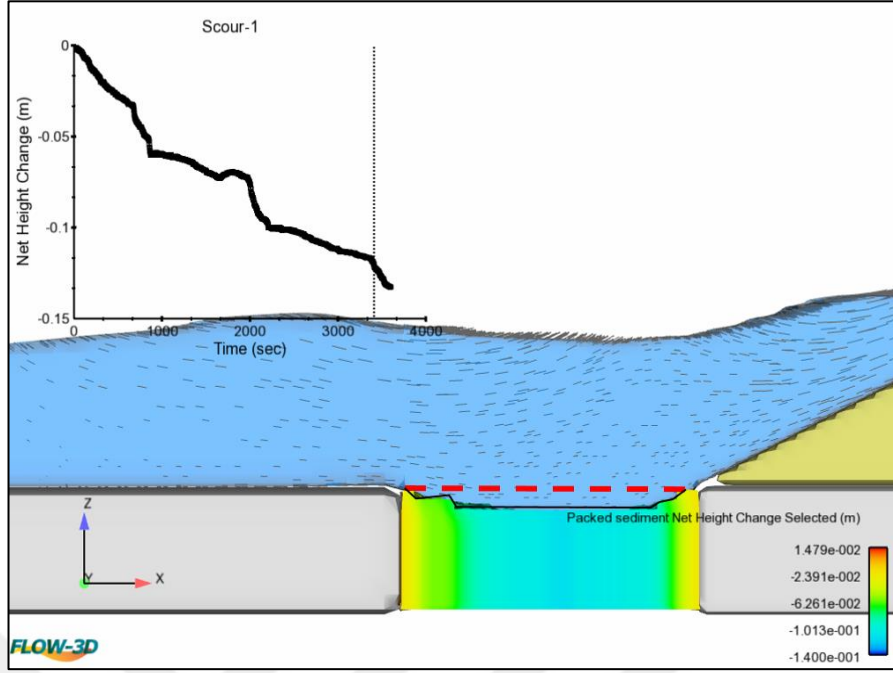
Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'de oyulma desenlerinin ve derinliklerin taban malzemesi 1 ve 0,55 mm olan analizlerde birbirlerine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Oyulma derinlikleri 1 mm ve 0,55 mm taban malzemesi durumunda 10 cm mertebelerinde olduğu görülmektedir. Bu değer düzensiz dalga etkisi altında dalgakıran şev eğiminin 2:3 olması durumundan 4-5 cm daha düşüktür. Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'da 0,20 mm taban malzemeli analizlerde ise maksimum oyulma derinliğinin 14 cm olduğu görülmektedir.



Şekil 6.13 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=0,55$ mm, 1:2 şev eğimi)



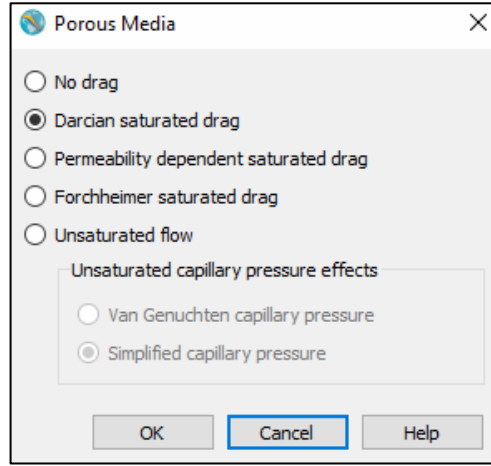
Şekil 6.14 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma deseni (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=0,20$ mm, 1:2 şev eğimi)



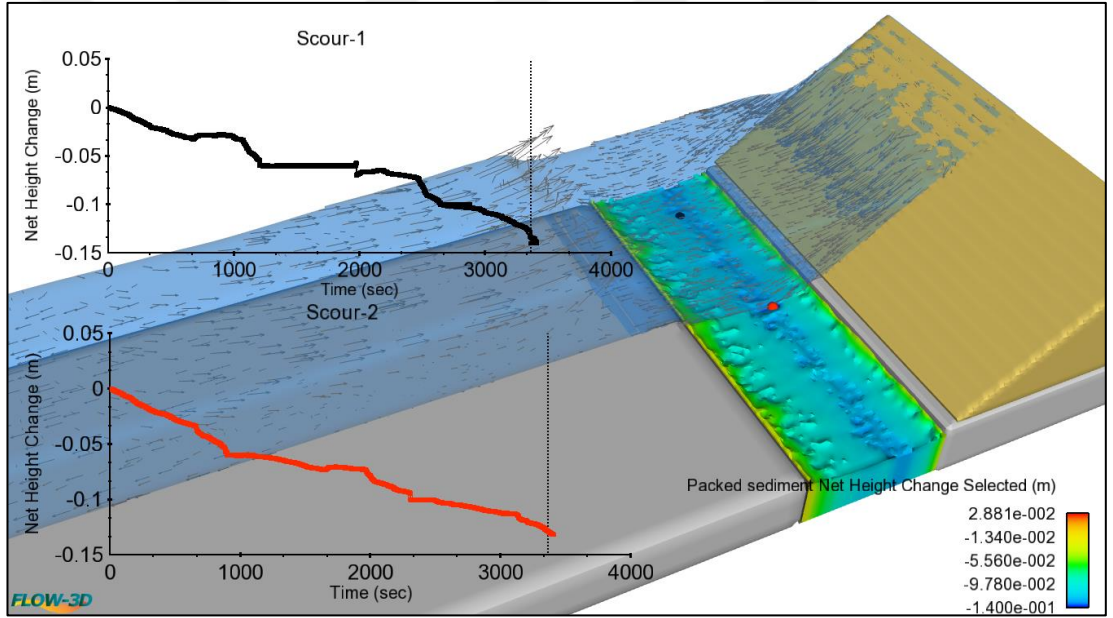
Şekil 6.15 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma profili (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=0,20$ mm, 1:2 şev eğimi)

6.4 Düzensiz Dalga Sınır Koşullu Geçirimli Model Sonuçları (2:3 Şev Eğimi)

Geçirimli dalgakıran modeli için öncelikle rijit şevli dalgakıran gövdesi yerine geçirimli şevli düzlem yüzey tanımlaması yoluna gidilmiştir. Geçirimli dalgakıran modelinde dalgakıranın gövdesinin porozite katsayısı 0,30 girilerek geçirimli ortam (porous media) için Şekil 6.16'da verilen ara yüzde Darcy geçirimlilik kabulleri kullanılmıştır. Geçirimli dalgakırana ait model çıktısı ve oyulma deseni Şekil 6.17'de verilmiştir.



Şekil 6.16 Gözenekli ortam çözüm yöntemi ara yüzü

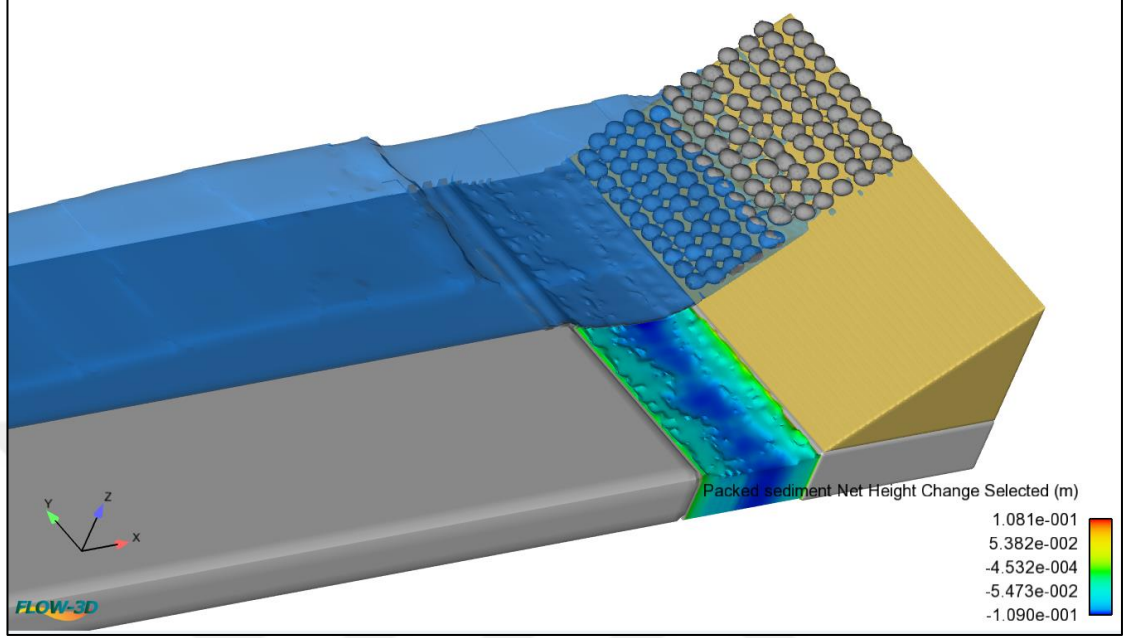


Şekil 6.17 Düzensiz dalga durumunda topukta oluşan oyulma profili (Jonswap Spektrumu, $F=5\text{km}$ $U=15\text{ m/s}$, $d_{50}=0,55\text{ mm}$, 2:3 şev eğimi geçirimli dalgakıran)

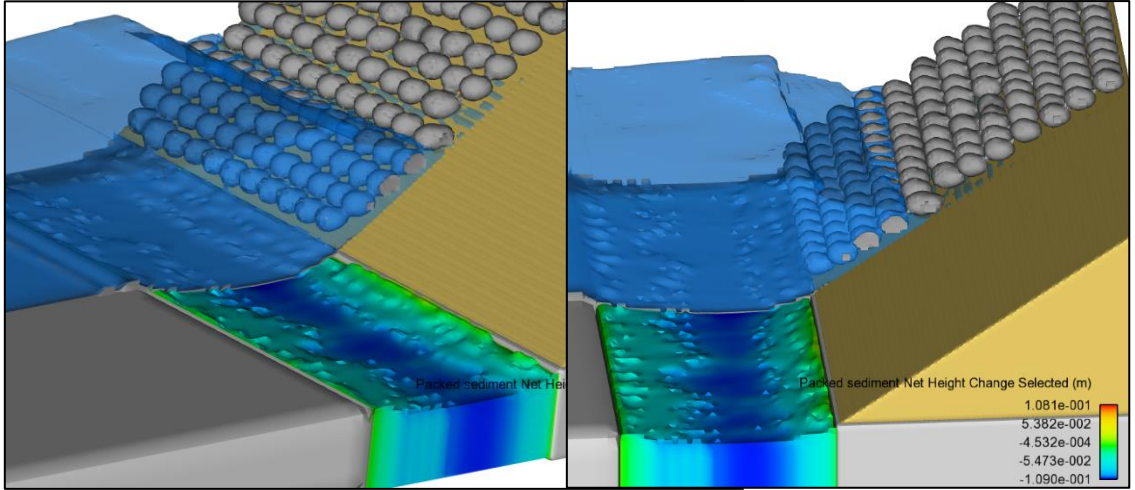
İkinci olarak geçirimli şevli yüzey üzerine taş dolgu dalgakıranın daha doğru bir şekilde yansıtılabilmesi adına 16-18 cm boyutlarında taşlar dizilmiştir.

Geçirimli dalgakıran üzerinde tek sıra halinde çeşitli boyutlarda taş dizilmesiyle oluşturulan modeldeki maksimum oyulma derinliği 11 cm olarak gözlenmiştir. Bu

değer bir önceki sadece geçirimli olan modele göre daha düşük seviyede olduğu görülmektedir.



Şekil 6.18 Taş dolgu dalgakıran önünde oluşan oyulma deseni-1 (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=0,55$ mm, 2:3 şev eğimi geçirimli dalgakıran)



Şekil 6.19 Taş dolgu dalgakıran önünde oluşan oyulma deseni-2 (Jonswap Spektrumu, $F=5$ km $U=15$ m/s, $d_{50}=0,55$ mm, 2:3 şev eğimi geçirimli dalgakıran)

Sunulan çalışmada hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan Flow3D ile uygulamada sıklıkla kullanılan 2:3 şev eğimine sahip düzlemsel ve geçirimli dalgakıran topuğundaki oyulmalar sayısal olarak araştırılmıştır. Her bir analiz gerçekte 3600 saniye süresince çalıştırılmış ve bu süre sonucundaki sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda düzenli dalga etkisi altında 2:3 şev eğimli dalgakıran modelinde 0,55 mm ve 0,20 mm taban malzemeli durumda çok fark olmamasına karşın taban malzemesi 1 mm olan analizdeki oyulmaya göre yüksek çıkmıştır. Düzensiz dalga analizlerinde ise 1 mm ve 0,55 mm taban malzeme durumunda oyulmaların birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Düzenli dalga analizlerinde aynı periyotta düzenli olarak dalga gelmesi nedeniyle düzensiz dalga analizlerindeki oyulmalar düzenli dalga analizlerine göre daha düşük çıkmıştır. Düzensiz dalga etkisi altında 2:3 şev eğimli dalgakıranına göre daha yatık olan 1:2 şev eğimli analizlerdeki oyulma derinliği şev eğimi fonksiyonuna bağlı olarak tahmin edildiği gibi daha düşük gözlenmiştir.

Dalgakıran tipinin belirli bir yüzde ile gözenekli (porous) olarak tanımlanmasıyla çalıştırılan analizlerde aynı şev eğimi ve dalga tipindeki analize göre oyulma miktarının daha düşük olduğu gözlenmiştir. Aynı ($d_{50}=0,55\text{mm}$) taban malzemesi ile şev boyunca tek sıra taşların yerleştirilmesiyle oluşturulan model sonuçlarında ise oyulma miktarının daha da azaldığı görülmüştür.

Modelde kullanılan dalga yüksekliklerine bağlı oyulmaların, (3.12)'de verilen Sumer ve Fredsoe (2000) çalışmasında 31 cm su derinliğinde, dalga yüksekliği 6,3-12,7 cm, dalga periyodu 1,08-3,0 s arasında değişen, dane medyan çapı 0,20 mm olarak gerçekleştirilen fiziksel deneylerden elde edilen denklemler ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Tablo 6.1 Farklı dalga senaryolarındaki maksimum oyulma derinlikleri

Dalga Senaryoları (H=0,42 m T_w=3,1 s)	Şev Eğimi	d₅₀ (mm)	S_{max} (cm)
Düzenli Dalgalar (Lineer Dalga Teorisi)	2:3 ($\alpha = 33,69^\circ$)	1,00	15
Düzenli Dalgalar (Lineer Dalga Teorisi)	2:3 ($\alpha = 33,69^\circ$)	0,55	21
Düzenli Dalgalar (Lineer Dalga Teorisi)	2:3 ($\alpha = 33,69^\circ$)	0,20	23
Düzensiz Dalgalar (JONSWAP Spektrumu)	2:3 ($\alpha = 33,69^\circ$)	1,00	14
Düzensiz Dalgalar (JONSWAP Spektrumu)	2:3 ($\alpha = 33,69^\circ$)	0,55	15
Düzensiz Dalgalar (JONSWAP Spektrumu)	2:3 ($\alpha = 33,69^\circ$)	0,20	18
Düzensiz Dalgalar (JONSWAP Spektrumu)	1:2 ($\alpha = 26,56^\circ$)	1,00	10
Düzensiz Dalgalar (JONSWAP Spektrumu)	1:2 ($\alpha = 26,56^\circ$)	0,55	10
Düzensiz Dalgalar (JONSWAP Spektrumu)	1:2 ($\alpha = 26,56^\circ$)	0,20	14
Düzensiz Dalgalar (JONSWAP Spektrumu)	2:3 ($\alpha = 33,69^\circ$) Geçirimli Dalgakıran	0,55	14
Düzensiz Dalgalar (JONSWAP Spektrumu)	2:3 ($\alpha = 33,69^\circ$) Geçirimli ve Taş Dolgu Dalgakıran	0,55	11

BÖLÜM YEDİ

MODEL SONUÇLARININ DOĞRULANMASI

Sayısal sonuçların doğrulanması için DEÜ Hidrolik Laboratuvarında birtakım deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu fiziksel kanala eşdeğer bir sayısal modeldeki sonuçların deneysel bulgular ile karşılaştırılmasıyla model sonuçların doğrulanması amaçlanmaktadır.

7.1 Deneysel Çalışmalar

Dalga üreticisiyle düzenli dalga oluşturulan deneylerde, 2:3 şev eğimli ve taşlarla oluşturulan dalgakıranın önünde dane medyan çapı 1,85 mm olan taban malzemesi yerleştirilmiştir. Deney boyunca ölçüm donanımlarından su seviyesi değişimi zaman serisinde yola çıkılarak sayısal model girdisi için dalga karakteristiği belirlenmiştir. Ayrıca ölçüm donanımları yardımıyla zamana bağlı kum yüksekliğindeki değişimler gözlenmiştir.

7.1.1 Deney Seti ve Ölçüm Donanımları

Deneyler Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında (DEÜ Hid-Lab) mevcut dalga kanalında gerçekleştirilmiştir. Dalga kanalı, 33 m uzunluğa ve 1,2 m derinliğe sahip olup, harekete dik yönde akım ve zemin hareketlerinin değişiminin araştırılmasına olanak sağlayacak şekilde 3,6 m genişliğe sahiptir. Lazer metre yardımıyla dalgakıranın şev eğiminin doğru teyit edilmiştir. Şekil 7.1’ de dalga kanalı ve oluşturulan 2:3 şevli taş dolgu dalgakıran modeli gösterilmektedir.



Şekil 7.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan dalga kanalının genel görünümü (2:3 şevli oluşturulan deneysel dalgakıran) (Kişisel arşiv, 2017)

Deneysel çalışmalarda, şevli yüzü dalgakıran etrafındaki oyulmanın zamana bağlı olarak incelenmesine olanak sağlayacak ölçüm donanımları kullanılmıştır. Bu donanımlar yüksek frekanslı ses dalgası prensibine göre çalışmakta olup, DEÜ Hidrolik Laboratuvarı envanterinde mevcut durumdadır.

Dalga kanalında üretilen dalgaların karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla deney düzeneğinde kullanılan ölçüm aleti ULS (Ultralab Level System) cihazı ve USS (Ultralab Sound Sensor) algılayıcıları olup Şekil 7.2’de verilmiştir. Algılayıcılar deney esnasında düşey konumda ve suya girmeyecek şekilde yerleştirilmektedir.



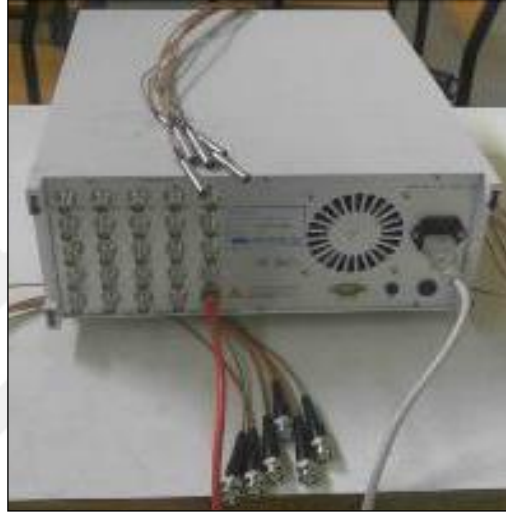
Şekil 7.2 ULS 40-D cihazı ve iki adet USS20130 algılayıcıları (Kişisel arşiv, 2017)

Ana cihaza bağlanan algılayıcılar yardımıyla su yüzeyine yüksek frekansta ses dalgaları gönderilmekte ve geri dönen ses dalgaları algılanarak su yüzeyi ile algılayıcının ucu arasındaki düşey mesafe ölçülebilmektedir. Kalibrasyona ihtiyaç duymayan bu cihaz ile elde edilen veriler eş zamanlı olarak bilgisayar ortamına aktarılmakta ve saklanmaktadır. ULS cihazına ait iki tipte USS algılayıcıları mevcuttur. Bunlardan biri USS635 ve diğeri de USS20130 algılayıcılarıdır. USS kısaltmasının yanındaki rakamlar 'cm' biriminde çalışma aralıklarını göstermektedir.

Tez kapsamındaki deneylerde DEÜ Hidrolik Laboratuvarı bünyesinde mevcut iki adet USS20130 algılayıcıları eş zamanlı olarak kullanılmıştır. Bu şekilde, dalgakıranın bulunduğu kesitteki dalga periyodu (T_w) ve dalga yüksekliği (H_w) değerlerinin yanı sıra iki algılayıcının birlikte kullanılması ile kanalda ilerleyen dalgaların boyları (L_w) da hassas bir şekilde belirlenebilmektedir.

Hidrolik Laboratuvarı bünyesinde ULS cihazı ve USS20130 algılayıcıları yukarıda bahsedilen yöntem ile kullanılmış ve istenilen hassasiyette sonuçlar elde edilmiştir. Tez kapsamındaki deneylerde kullanılan bir diğer ölçüm aleti ise UVP (Ultrasonic Velocity Profiler) cihazı ve bütünleşik algılayıcılarıdır. Şekil 7.3'de gösterilen cihaz, yüksek frekanslı ses dalgalarının sıvı içerisinde hareket eden bir parçacığa çarpıp geri dönmesi ve bu durumun tekrarlı olarak gerçekleşmesi ilkesine dayalı olarak çalışmaktadır. UVP cihazı ve algılayıcıları (UVP-A) yardımıyla doğrudan hedeflenen ölçümler, serbest yüzeyli akıştaki herhangi bir kesitte hız profilinin elde edilmesidir.

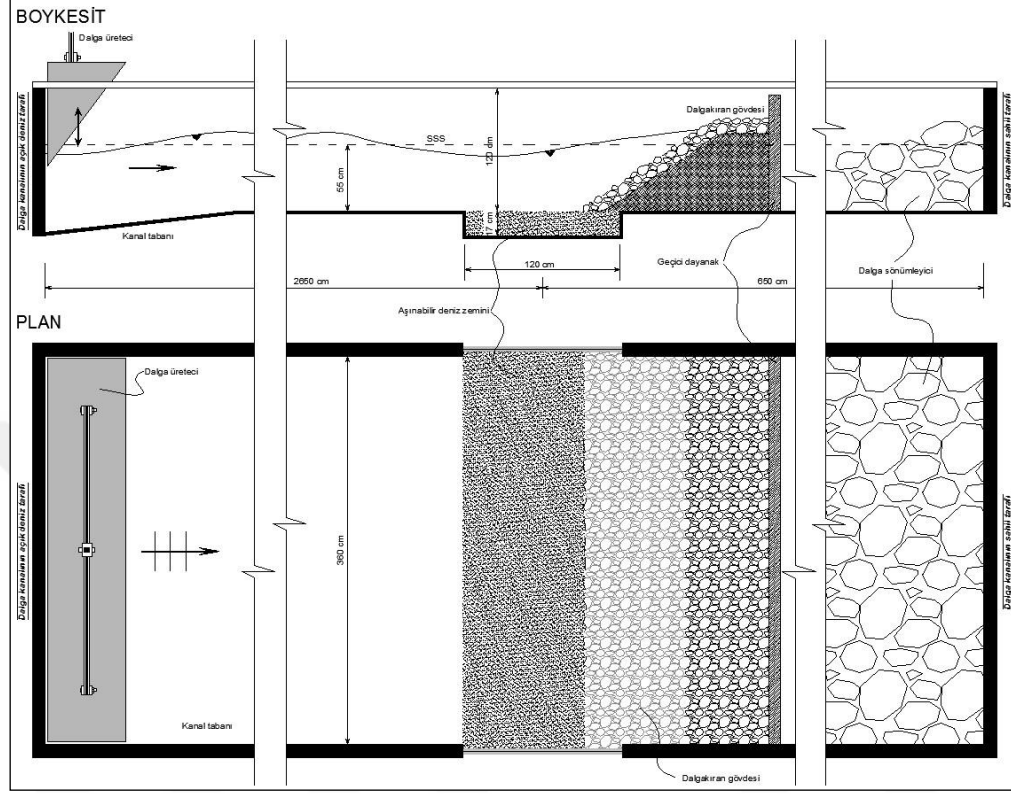
UVP cihazına bağlı olarak çalışabilen beş farklı tipte algılayıcısı bulunmaktadır. Bu algılayıcılar gönderdikleri ses dalgalarının frekanslarına göre sınıflandırılmakta ve gerçekleştirilecek çalışmanın niteliğine göre seçilmektedir. UVP algılayıcılarının mevcut tipleri, 0,5, 1, 2, 4 ve 8 MHz frekanslı olanlarıdır UVP cihazına, frekansları aynı olmak kaydıyla 20 adet algılayıcı aynı anda bağlanabilmekte ve sıralı bir şekilde ölçüm alınabilmektedir.



şekil 7.3 UVP cihazı ve algılayıcıları (Kişisel arşiv, 2017)

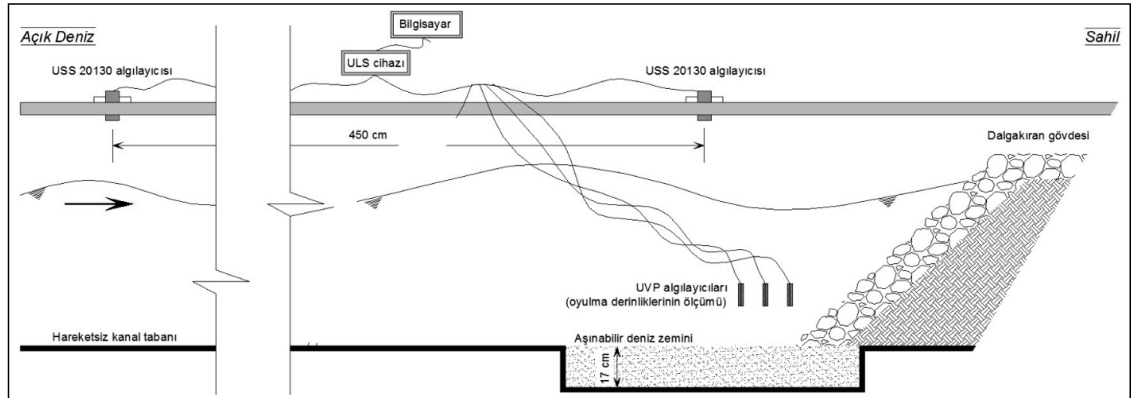
UVP cihazının ikinci bir özelliğinden yararlanılarak zamana bağlı oyulma / yığılma derinlikleri de belirlenebilmektedir (Güney ve diğer., 2013). Tez alışması kapsamında 3 adet 4 MHz UVP algılayıcısı kullanılarak zamana bağlı oyulma derinlikleri ölçülmüştür.

Şekil 7.4’de dalgakıran gövdesi etrafında oluşan oyulmaların ölçülmesi için düzenlenen kanalın kesiti ve planı gösterilmektedir.



Şekil 7.4 Düzenli dalga etkisinde dalgakıran gövde etrafındaki oyulmanın inceleneceği deneylerde dalga kanalının şematik gösterimi

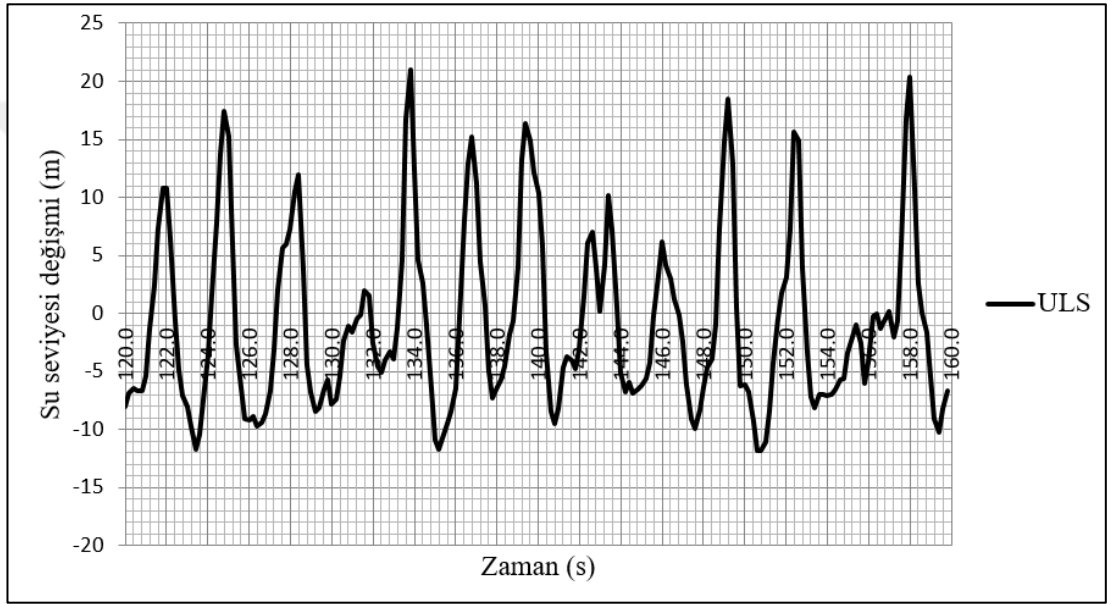
Şekil 7.5’de ise dalga kanalı kesitinde ölçüm cihazı ve algılayıcılarının şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 7.5 Dalga kanalında yer alan ölçüm donanımlarının şematik gösterimi

7.2 Deneysel ve Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması

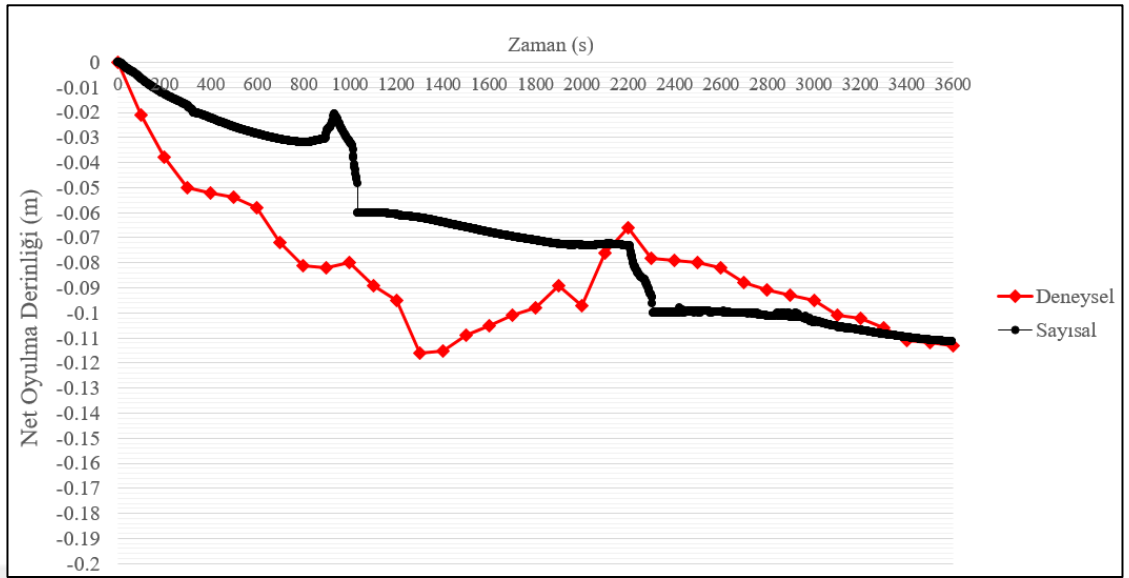
Tez çalışması kapsamında sayısal modelin doğrulanması amacıyla gerçekleştirilen deneylerde dane medyan çapı 1,85 mm olan kum kullanılmıştır. Taş dolgu dalgakıran 2:3 şev eğimi olacak şekilde oluşturulmuştur. Oluşturulan sayısal model hali hazırda fiziksel dalga kanalının modeli olduğundan şartlar son derece uyumludur. Deneylerde ULS algılayıcılarından elde edilen zaman serisi Şekil 7.6'da verilmektedir.



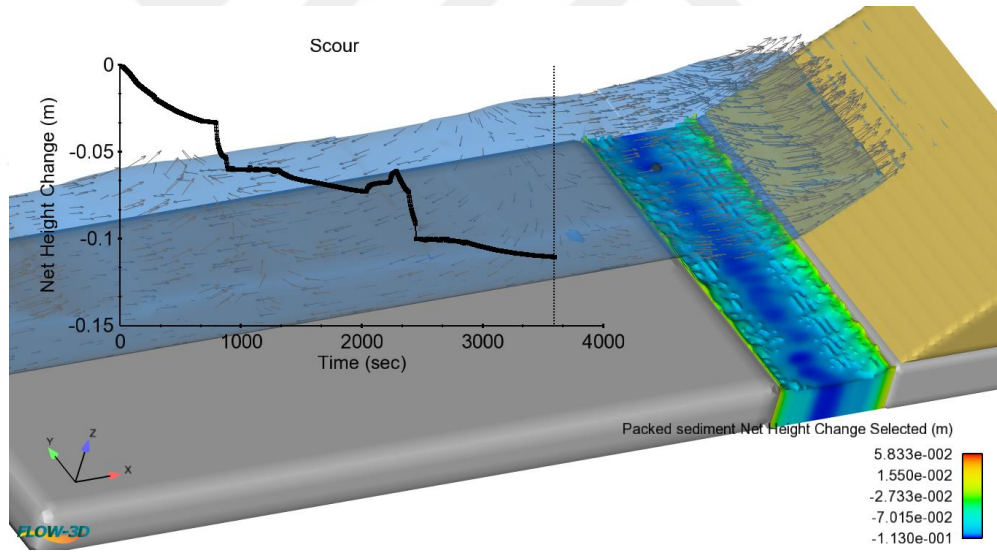
Şekil 7.6 Deney sırasında elde edilen ULS kaydı

Bu grafiğin incelenmesi sonucu deneysel çalışmalarda $H_s = 0,26$ m yüksekliğinde ve $T_w = 3,1$ s periyotlu dalgaların olduğu anlaşılmaktadır. Aynı şartlar Flow3D ile oluşturulan sayısal modelde sağlanıp model çalıştırılmıştır.

Şekil 7.7'de deneysel çalışmada UVP ile kaydedilen zamana bağlı oyulma derinlikleri gösterilmektedir.



Şekil 7.7 Deneyisel çalışmalar sonucu elde edilen UVP değerleri



Şekil 7.8 Düzenli dalga durumunda topukta oluşan oyulma profili ($H=0,26$ m $T=3,1$ s, $d_{50}=1,85$ mm, 2:3 şev eğimi, geçirimli ortam)

BÖLÜM SEKİZ

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sunulan çalışmada hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan Flow3D yazılımı ile yapı-deniz-zemin etkileşimi konusundaki araştırmalara katkıda bulunulmuştur. Düzenli ve düzensiz dalga etkisi altında uygulamada sıklıkla kullanılan 2:3 ve 1:2 şev eğimine sahip düzlemsel ve geçirimli dalgakıran topuğundaki oyulma davranışları sayısal olarak ele alınarak çeşitli senaryolar test edilmiştir. Sayısal olarak test edilen analizlere bağlı çıkarımlar şu şekildedir;

- Dalgakıran şev eğiminin azalmasıyla oyulma derinliği azalmaktadır.
- Dane medyan çapı $d_{50} = 1$ mm ve $d_{50} = 0,55$ mm taban malzemeli analizlerde oyulma derinlikleri birbirine yakın iken, $d_{50} = 0,20$ mm taban malzemeli analizlerde oyulma derinliklerinin görece yüksek olduğu görülmüştür.
- Oyulma derinliği düzensiz dalgalar etkisinde aynı karakteristikli düzenli dalgalara göre daha düşük çıkmaktadır.
- Gerçekleştirilen deneysel çalışma sonuçlarıyla eşit koşullarda analiz edilen sayısal model sonuçları karşılaştırıldığında, nihai oyulma derinliklerinin oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.
- Sayısal modelde dalgakıranın geçirimli ve koruma tabakalı olarak tanımlanmasına bağlı olarak oyulma derinliği azalmaktadır.

Elde edilen bulgular doğrultusunda dalgakıran modelinde oyulmanın, farklı irilikteki taban malzemesi ve kritik shields parametreleri dikkate alındığında daha önce yapılmış olan deneysel çalışmalar sonucu çıkarılmış oyulma denklemlerinden daha az olduğu görülmüştür. Bu durum sunulan çalışmadaki testlerin önceden yapılmış deneysel çalışmalarından daha kısa süreli testler olması ve düzensiz olarak üretilen dalga testlerinin daha fazla olmasıyla açıklanabilmektedir. Kurulan sayısal modelin

doğrulanması amacıyla benzer şartlar altında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlar, sayısal model sonuçlarıyla oldukça uyumludur.

Gerçekleştirilen çalışma yukarıda sunulan sonuçlar yanında dalgakıran etrafında oyulma mekanizmasının sayısal olarak araştırılmaya devam edilmesine değer nitelikte olduğunu göstermektedir. Kıyı bölgesinin fiziksel özellikleri (batimetri, kıyı profili, deniz tabanı özellikleri, liman vaziyet planı vb.) dikkate alındığında bölgenin hidrodinamik özelliklerine bağlı olarak sediment taşınımı ve oyulma miktarlar farklılık gösterebilmektedir. Bu farklılıklar birim genişlikte oluşturulacak olan sayısal modelde farklı sınır koşulları ve batimetri olarak tanımlanabilir. Sayısal modelleme çıktıları ışığında programın (Flow3D) yapı-deniz-zemin etkileşimi üzerindeki performans değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuç olarak Flow3D'nin;

- Kullanılan değişkenlerin yapı-deniz-zemin etkileşimi problemlerini araştırmak açısından yeterli olduğu (hidrolik modelleme sürecine uygun bir yazılım olduğu)
- Çözüm yönteminin Navier-Stokes denklemlerinin çözümü için sonlu hacimler yöntemini kullanması açısından bilimsel bir nitelik taşıdığı;
- Model hazırlık aşamaları, fiziksel ortamın tanımlanması ve modelin çalıştırılması ve yorumlanması açısından etkili bir yazılım olduğu anlaşılmaktadır.
- Program, içinde kıyı mühendisliği ile ilgili STL dosyaları bulundurabilir ve tek tek STL dosyası dizilmesi yerine tanımlanabilir bir katman halinde (filtre ve anroşman tabakası vb.) dalgakıran tabakalarının modelde tanımlanabilmesi ile daha kolay bir hale getirilebilir.

Sayısal modelde yapılacak değişiklikler ile, beton bloklu koruma tabakası kullanımı, düşey yüzlü dalgakıran ve taş dolgulu kazıklı yapılar gibi kompleks deniz yapılarının farklı irilikteki deniz tabanı ile düzensiz dalga durumu gibi değişikliklerin oyulma mekanizması üzerindeki etkileri sayısal olarak araştırılmaya değer niteliktedir.

KAYNAKLAR

Abdi, V. (2014). *Deniz boru hatları etrafındaki yerel zemin hareketlerinin Flow3D ile modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

ANSYS, Inc. (2009). *ANSYS FLUENT user manual version 12.0*. 8 Mart 2017.

Aksoy, E. (2017). *Hesaplama akışkanlar dinamiği programının (FLOW3D) kıyı bölgesinde akım-zemin-yapı etkileşiminin modellenmesindeki performansının araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Aquaveo. (2017). *Software products*. 11 Mayıs 2017, <https://www.aquaveo.com/>

B. M. Sumer ve J. Fredsoe (2000). Experimental study of 2D scour and its protection at a rubble-mound breakwater. *Coastal Engineering* 40, 59-87.

B. M. Sumer ve J. Fredsoe (1997). Scour at the head of a vertical-wall breakwater. *Coastal Engineering* 29, 201-230.

DHI Group (2016). *Software catalogue- MIKE powered by DHI client care*. 9 Mart 2017, <https://www.mikepoweredbydhi.com>

Doğan, M. (2013). *Dalga etkisindeki su altı borusu altında zamana bağlı olarak oluşan oyulmaların araştırılması*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Doğan, M. (2018). *Kazıklı Kıyı Yapıları ile Kıyı Bölgesinde Yer Alan Rüzgâr Türbini Ayakları Etrafında Dalga Etkisi ile Oluşan Zemin Hareketlerinin Deneysel ve Sayısal Araştırması, Oyulmaya Karşı Koruyucu Önlemlerin Denenmesi*. TÜBİTAK Proje Kodu: 3001 Proje No: 215M245

Flow Science Inc. (2008). *Flow3D User Manual Version 9.3*

- Gislason, K., Fredsoe, J. ve Sumer, B.M. (2009). Flow under standing waves Part 2. Scour and deposition in front of breakwaters. *Coastal Engineering* 56, 363–370.
- Guney, M. S., Bombar G., Aksoy. A. Ö. ve Doğan M. (2013). Use of UVP to investigate evolution of bed configuration. *KSCE Journal of Civil Engineering (SCI-Expanded)* 17/5, 1188-1197.
- Myrhaug, D. ve Ong, M.C. (2009). Random wave-induced scour at the trunk section of a breakwater. *Coastal Engineering*, 56, 688–692.
- Myrhaug, D. ve Ong, M.C. (2010). Random wave-induced onshore scour characteristics around submerged breakwaters using a stochastic method. *Ocean Engineering*, 37, 1233–1238.
- Myrhaug, D. ve Ong, M.C. (2016). Random wave-induced onshore scour characteristics around submerged breakwaters on mild slopes. *Journal of Coastal Research*, 75, 103–107.
- Myrhaug, D., Rue, H. ve Torum, A. (2004) Tentative engineering approach to scour around breakwaters in random waves. *Coastal Engineering*, 51, 1051–1065.
- OpenFOAM Ltd. (2004). *OpenFOAM user guide*. 13 Mart 2017, <http://www.openfoam.com/documentation/>
- Pourzangbar, A., Losada M.A., Saber, A., Ahari, L.R., Larroude, P., Vaezi, M. ve Brocchini, M. (2017). Prediction of non-breaking wave induced scour depth at the trunk section of breakwaters using Genetic Programming and Artificial Neural Networks. *Coastal Engineering*, 121, 107–118.
- The SWAN Team (2016). *SWAN user manual cycle III version 41.20AB*. 15 Mart 2017, <http://swanmodel.sourceforge.net/download/zip/swanuse.pdf>

Xie (1981). *Scouring patterns in front of vertical breakwaters and their influences on the stability of the foundation of the breakwaters*. PhD Thesis, TU Delft, Netherlands, 121

Yüksel, Y.(2005). *Deniz tabanı hidrodinamiği ve kıyı morfolojisi*. İstanbul: Arıkan basım.

Yüksel, Y. ve Çevik, E.(2009). *Kıyı Mühendisliği*. İstanbul: Beta basım.

