

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**U ŞEKLİNDEKİ DÜZGÜN SIĞLAŞAN KÖRFEZE GİREN TSUNAMİ
DALGASININ ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebubekir ÇELİK

Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Fizik Mühendisliği Programı

EKİM 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**U ŞEKLİNDEKİ DÜZGÜN SIĞLAŞAN KÖRFEZE GİREN TSUNAMİ
DALGASININ ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ebubekir ÇELİK
(509061103)**

Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Fizik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nazmi POSTACIOĞLU

EKİM 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 509061103 numaralı Yüksek LisansÖğrencisi Ebubekir ÇELİK , ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “U ŞEKLİNDEKİ DÜZGÜN SIĞLAŞAN KÖRFEZE GİREN TSUNAMİ DALGASININ ETKİLERİ”başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Nazmi POSTACIOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. M. Sinan Özeren**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yalçın Yüksel
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 16 Eylül 2019
Savunma Tarihi : 15 Ekim 2019



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın her aşamasında sıkılmadan her konuda desteklerini esirgemeyen hocalarım Nazmi POSTACIOĞLU ve Mehmet SİNAN ÖZEREN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın başlaması ve yürütülmesi aşamasında bana sürekli yol gösteren ve özellikle moral ve motivasyon desteği sağlayan Tolga BİRKANDAN'a, maddi manevi desteğini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma minnettarım.

Eylül 2019

Ebubekir Çelik



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	15
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Sığ Su Denklemleri	2
1.3. ANUGA Hydro	4
1.3.1. Kısıtlar.....	9
1.3.2. Dosya formatları hakkında.....	10
2. DÜZENLİ SIĞLAŞAN U FORMUNDA KÖRFEZDE AÇIK KANAL PROBLEMİ	11
2.1. Açık Kanalda Saint Venant Denklemleri	11
2.2. $z = -\alpha x + \alpha x_0 y^2 / y_0^2$ Formundaki Kanal.....	12
2.3. U Formundaki Körfezde Pelinovski Çözümü	14
2.4. Analitik Çözüm	16
3. UYGULAMA.....	19
3.1. Model ve Domain.....	19
3.1.1. Üçgenleştirme	20
3.1.2. Fiziksel izdüşüm	22
3.2. Topoğrafya	22
3.3. Körfeze Giren Dalga	23
3.4. Sınır Koşulları	25
3.5. Konfigürasyonlar.....	27
4. SİMÜLASYON SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	31
4.1. Körfez ve açık deniz çözünürlüğünün etkisi	38
4.2. Körfez ağzından yansıma	39
4.3. Körfez boyu-dalgaboyu ilişkisinin tırmanmaya etkisi	39
4.4. Sonuç	41
KAYNAKLAR	43
EKLER.....	45
EK A	47
ÖZGEÇMİŞ.....	57



KISALTMALAR

DEM	: Digital Elevation Model (Dijital Yükseklik Modeli)
GIS	: Geographic Information Systems
KAF	: Kuzey Anadolu Fay Hattı
NetCDF	: Network Common Data Form
UTM	: Universal Transverse Mercator





SEMBOLLER

λ	: Dalgaboyu
ω	: Açısal frekans
u_x, u_y	: Mesh üzerindeki momentumlar
x, y, z	: Uzaysal koordinatlar
t	: Zaman
A	: Körfez kesit alanı
Q	: Su akısı
S	: Körfez çapraz kesit alanı
S_o	: Dalga taafından tedirgenmemiş körfez çapraz kesit alanı
x_o	: U formundaki kanalın boyu
y_o	: U formundaki kanalın eni
h	: Açık deniz su derinliği
j_0	: Birinci tür sıfırncı derece Besssel fonksiyonu
η	: Dalga fonksiyonu
R	: Maksimum tırmanma
G	: Dalga genliği
σ	: Gauss dağılımı yarı en değeri
s_o	: Körfez eğimi
g	: Yerçekimi ivmesi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : L/σ oranının maksimum tırmanmaya etkisi	40
Çizelge 4.2: Simülasyon sonuçları karşılaştırma	41





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : x-y düzleminde ilerleyen dalga.	3
Şekil 1.2 : ANUGA Hydro yerleşim yeri su baskını simülasyonu (File:Flood example.jpg, 2009).	5
Şekil 1.3 : Graphical Mesh Generator üzerinde bu çalışmada kullanılan açık kanal üçgen örgünün yakından görünüşü (solda) ve Marmara denizi üçgen örgü örneği(sağda).	6
Şekil 1.4 : Marmara denizi kıyılarını sınır kabul eden domain örneği.	6
Şekil 1.5 : Domain altında farklı çözünürlükte üçgen örgü içeren alt bölge domain (Kırmızı kare içerisindeki bölgede üçgen boyutları daha küçük).	7
Şekil 1.6 : Anuga Viewer ile görselleştirilen açık kanalda dalga görüntüsü örneği. ...	9
Şekil 2.1 : Açık kanal kesiti.	12
Şekil 2.2 : Düzgün sığlaşan U formundaki açık kanalın 3 boyutlu görünüşü.	12
Şekil 2.3 : Düzgün sığlaşan U formundaki açık kanalın çapraz kesit alanı.	13
Şekil 2.4 : Körfez ve açık deniz sisteminin $y=0$ doğrusu üzerindeki enine kesiti.	13
Şekil 3.1 : Model.	19
Şekil 3.2 : Domain içerisinde körfez ve gauss formundaki yükseltinin konumu. Kırmızı renk domain sınırlarını gösterir.	20
Şekil 3.3 : Domain ve üçgen örgü. 1: Tırmanma bölgesi, 2: Körfez 3: Açık deniz... ..	21
Şekil 3.4 : $t=0$ anında derinlik.	23
Şekil 3.5 : $t=0$ anında Gausiye formda tanımlanmış yükselti.	24
Şekil 3.6 : $t=0$ anında Gauss formundaki yükseltinin ikiye ayrılması.	24
Şekil 3.7 : Sınır koşulları.	25
Şekil 3.8 : $t=0$ anında açık kanala dik doğrultuda konumlandırılmış Gausiye formdaki dalga. Şekil z-eksenindeki boyutları abartılarak oluşturulmuştur.	26
Şekil 3.9 : 10 km uzunluğunda ve 1 km genişliğinde U formunda körfez ve 200 m derinliğinde açık deniz.	29
Şekil 4.1 : İnterpolasyon noktaları (yeşil noktalar).	34
Şekil 4.2 : Maksimum tırmanma noktası su yüksekliği -zaman grafiği.	34
Şekil 4.3 : Maksimum tırmanma noktasında hız-zaman grafiği.	35
Şekil 4.4 : Maksimum tırmanma anında hız, derinlik ve tırmanma bölgeleri	36
Şekil 4.5 : Körfez başlangıç noktası su seviyesi.	36
Şekil 4.6 : Körfez başlangıç noktası hız zaman grafiği.	37
Şekil 4.7 : Körfez girişinde su yüksekliğinin zamanla değişimi (x ekseninde kadar içeride).	37
Şekil 4.8 : Körfez girişinde hızın zamanla değişimi.	38
Şekil 4.9 : Körfez ve açık denizde farklı üçgen örgü sıklığının sonuca etkisi.	38
Şekil 4.10 : Yansımalar sonucu oluşan ve gittikçe enerjisi düşen atmalar. Körfez başlangıç noktasındaki dalga yüksekliğini gösterir	39
Şekil 4.11 : L/σ ile maksimum tırmanma ilişkisi.	41



U ŞEKLİNDEKİ DÜZGÜN SIĞLAŞAN KÖRFEZE GİREN TSUNAMİ DALGASININ ETKİLERİ

ÖZET

Tsunami, deniz veya okyanus tabanındaki ani ve büyük değişikliklerin sebep olduğu büyük ve yıkıcı dalgalardır. Oluşum mekanizması sebebiyle okyanus veya açık deniz üzerinde çıplak gözle küçük okyanus dalgalarından ayırt edilmesi zor derecede çok düşük genlikle ve çok hızlı olarak ilerler. Su seviyesi alçaldıkça dalga hızı yavaşlar fakat genliği sürekli artarak kıyılardan karasal kesimlere doğru taşmaya başlar. Her ne kadar okyanuslardaki kadar büyük olmasa da tsunami dalgaları uygun koşullar gerçekleştiğinde küçük denizlerde de meydana gelebilir.

Bu çalışmada esas olarak tsunami dalgalarının bir körfeze girdiğinde etkisinin ne olacağına çalışılmıştır. Yöntem olarak analitik çözüm ve simülasyon bir arada kullanılmıştır. Çalışmanın teorik arkaplanı Pelinovsky ve Postacıoğlu'nun çalışmalarına dayanır.

Çalışma için 1 boyutlu Saint Venant denklemlerinin açık kanal için özelleştirilmiş halinin geçerli olduğu

$$z = -\alpha \left(x - \frac{x_0}{y_0^2} y^2 \right)$$

formunda bir körfez geometrisi ele alınmıştır. Körfezde, en boy oranı oldukça düşük alınmıştır (Tipik modelde 1/20 mertebesinde) . Bu haliyle körfez açık bir kanala benzemektedir. Ayrıca nümerik olmayan çözüm ile karşılaştırılma yapılabilmesi için tam çözüm için de uygun olacak şekilde kanal içerisinde x ekseninde z doğrultusunda oldukça küçük bir eğim açısı tanımlanmıştır. Kullanılan kanal derinleşme eğimi (x ekseni üzerinde) 0.01 mertebesinde dir. Tanımlanan üçgen örgü körfezin bittiği noktadan itibaren körfezin en derin noktası ile aynı olacak şekilde sabit derinlikli açık denize açılır. Kıyı şeridi için dalgaları tam yansıtacak şekilde sonsuz yükseklikte duvar yakınlştırması yapılır.

Bu haliyle körfez içerisinde ilerleyen dalga için kısa x değişimleri altında derinlik ve kesit alanı sabit kabul edilebilir.

Modelleme yapmak amacıyla ANUGA Hydro isimli hidrodinamik modelleme aracı tercih edilmiştir. Bu modelleme aracı düzenlenmemiş üçgen örgü üzerinde sonlu elemanlar yöntemini kullanarak sıg su denklemlerini çözer. ANUGA özellikle kuru zemine su girişi ve ıslak zeminden su ayrılmasını simüle edebilir. Bu güçlü özelliklerine binaen çalışmamız için idealdir.

Modelde, körfeze giren dalgayı oluşturmak için başlangıç koşulu olarak açık denizde Gaussiyen forma su yükseltisi tanımlanmıştır. Bu Gaussiyen formdaki su yükseltisi, zıt yönde ilerleyen iki Gaussiyen dalganın başlangıç anında üstüste binmiş hali gibi kabul edilebilir. Zaman ilerledikçe iki zıt yönde simetrik ilerleyen dalgalardan biri körfeze doğru ilerleyecek, bir kısmı yansıtıcı duvardan yansırken bir kısmı körfeze

girerek ilerleyecek ve kıyıya doğru tırmanacaktır. Simülasyonun tanımlandığı fiziksel ortam olan ANUGA domain, şekil olarak körfez dışında kalan kıyı şeridi boyunca yansıtıcı bağ koşulu olacak şekilde sınırlandırılmıştır.

Diğer taraftan Saint Venant denklemleri 1 boyutlu düzgün sığlaşan körfez için düşük y/x oranı ve düşük eğim için uygun yakınlaştırmalar kullanılarak Legendre ve Bessel serilerine açılmak suretiyle çözülmüştür.

Koşturulan simülasyonlarda, körfez ağzı ve körfez başlangıç noktalarındaki su yüksekliği ve dalganın maksimum tırmanması simülasyon zaman adımları boyunca kaydedilmiştir. Başlangıçtaki dalganın genliği ile tırmanma ilişkisi hemen hemen lineer olduğundan karşılaştırma için maksimum tırmanmanın genliğe oranı (R/G) baz alınmıştır.

Buna göre $x_0/y_0 = 20$ ve $x_0/\sigma = \sqrt{2}$ koşulları esas alınan analitik çalışmada R/G değeri 7.69 olarak hesaplanmıştır.

Aynı oranlar kullanılarak yapılan ANUGA simülasyonlarında 7.59 ile 8.43 arasında değişen ve ortalama 7.97 olan R/G oranı elde edilmiştir.

Analitik çözüm ile simülasyon sonuçları arasındaki fark yaklaşık %3.5 olarak belirlenmiştir. Analitik çalışmadaki yakınlaştırmalar göz önüne alındığında analitik çözüm ile simülasyonlar sonucu arasındaki fark kabul edilebilir. Sonuç olarak analitik çözüm ile ANUGA üzerinde simülasyonla elde edilen sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu sonucuna varılabilir.

THE EFFECTS OF TSUNAMI WAVE ENTERING INTO U SHAPED BAY

SUMMARY

Tsunami waves are massive and destructive waves formed by the sudden changes of a large extent on the ocean or sea bed. Due to its formation structure, it's hard to perceive with naked eye or from the air when it travels on the ocean or offshore. Because, on the ocean or offshore tsunami travels with very low amplitude – in open sea, may lower than meter - and very long wavelength. At the deep ocean, a typical tsunami wave can travel with speed up to 700 km/h and can have a wavelength in excess of 100 km and wave periods may exceed hours.

As the wave approaches shore and water depth decreases, so does the speed of the wave; however, the amplitude increases gradually and overflow to the inland region from the shores. Affected length of coastline may hundreds of kilometers.

Although not as strong as the ones like occurring in the oceans, tsunami waves may occur in small seas if conditions are suitable. These type of tsunamis have shorter wavelength but relatively large amplitude and affects shorter coastline in comparison to far-field tsunamis. However these waves also can be destructive, especially if coast highly populated..

The aim of thesis is to understand the effects of a tsunami waves when it enters a bay. For this purpose, analytical solution and simulation were used as a method. The theoretical background is mainly based on works of Pelinovsky and Postacioglu.

The geometry of the problem is a bay of the form

$$z = -\alpha \left(x - \frac{x_0}{y_0^2} y^2 \right)$$

in which the 1-dimensional Saint Venant equations that generalized from 2 dimensional Saint Venant equation for an open channel is applicable to solve wave equations analytically.

In this work the channel with a width/length ratio of 1/20 has been modeled. With this condition, the bay looks like an open channel. On behalf of analytic solution, model designed as symmetric according to x-z plane.

In addition, in order to be able to make a comparison with the numerical and the analytical solution, a very small angle of gradient/inclination was defined in the channel on the x-axis along the z-direction. The slope of the channel deepening used is at the order of 0.01. The defined triangular mesh opens to the sea with a constant depth that will be the same as the deepest point of the bay from the point where the bay ends.

This assumption is for that, the depth and cross-sectional area can be considered constant under short changes in x for the wave moving in the bay.

ANUGA Hydro hydrodynamic modeling tool was preferred to create computer aided model and simulation. This modelling tool developed by Australian National

University and Geoscience Australia to especially predicating effects of tsunami on terrestrial topography. Also, it can be used to simulate all kinds of hydrological events and hazards like as river flooding. This modeling tool uses the finite element method on unstructured triangular mesh to solve shallow water equations. ANUGA can simulate water entry into the dry ground and water discharge from the wet area. These features are ideal to simulate our specific model.

In the model, wave formation is established by giving a Gaussian water elevation as the initial condition instead of putting boundary conditions. This method has advantages over the boundary conditions method. In that way we don't have to change condition in time, although ANUGA have an ability to change condition on the fly. This Gauss-like elevation may be caused by land slides or sudden changes of seabed, however this is not the part of the problem. Gaussian water elevation may be assumed as sum of two identical Gaussian wave that moving in opposite directions. So, incident wave amplitude is half of the initial Gaussian elevation. After starting time, one of these wave that we are focused on, will move on the bay direction. The other wave will move on the open sea direction.

On the other hand, Saint Venant equations were solved for a 1-dimensional bay that uniformly shoaling, using suitable approximations for low width-height ratio and low inclination by expanding into Legendre and Bessel series. If the bay width small enough in compared to bay length, governing equations can be averaged on symmetry axis x , so can be reduced. This gives an opportunity to simplify equations by reducing from 2-dimensional form to 1-dimensional form..

Governing equations are more complex at the bay toe because, reflection ratio of the waves depends on water depth but water depth changes with x and y . Also incoming waves continuously interacts with reflected waves. To simplify equations low-width height ratio with low-slope approximation should be used. Since the slope of the channel is low, we can assume two points close to each other have the same depth. These assumptions are gives an option to assume bay entrance as like an open channel with static depth..

At the simulations, water elevation, maximum run-up and wave speed were recorded at the bay-mouth, bay-toe, inside the bay, near the bay and near the domain borders, during all the simulation time steps. Since the amplitude of the incoming wave and run-up correlation is almost linear, the ratio of maximum run-up to amplitude (R/G) was used to compare results. Instead of bay length or Gaussian wave wavelength, the ratio of bay length to Gaussian wave half width was used as comparison value.

To prevent boundary effects, domain created wide enough and transmissive boundary conditions was given.

According to analytical study, based on $x_0/y_0 = 20$ and $x_0/\sigma = \sqrt{2}$ conditions, the maximum run-up value was calculated as 7.69.

Using the same conditions with analytical study, ANUGA yields R/G ratio between 7.59 and 8.43 and on average 7.97.

Given results based on extracted value from netCDF files with SWW extension. However, on maximum run-up points, extracting data using ANUGA functions mostly provides smaller value than run-time records that extracted from node points. This is because of ANUGA extraction functions based on interpolation. However,

with increasing resolution on maximum run-up region, it is possible to reduce error on maximum run-up measurement to insignificant level.

The difference between the analytical solution and the simulation results was approximately 3.5%. Considering that the analytical solution gives an approximate result due to serial expansions and other approximations, the difference between the analytical solution and the result of the simulations is acceptable. As a result, it can be concluded that the results obtained by simulation on ANUGA with analytical solution are compatible with each other.





1. GİRİŞ

Tsunami, genellikle su altındaki büyük depremlerden dolayı meydana gelir fakat meteorolojik olaylardan, toprak kaymalarından volkanik patlamalardan ve nadiren de olsa nükleer testler gibi insan kaynaklı eylemlerden dolayı meydana gelebilir (Goff & Dominey-Howes, 2013). Tsunami özellikle okyanus kıyısında olan bölgeleri tehdit eder. Dünyada birçok büyük şehir ve sayısız yerleşim bölgesi deniz, okyanus veya ırmak kıyılarında veya uzakta bile olsa büyük su kütlelerinin olası olumsuz etkilerine açık konumlarda bulunur.

26 Aralık 2004 tarihinde Hint okyanusunda meydana gelen 9.0 şiddetindeki deprem, sonrasında Hint okyanusunda kıyısı bulunan bütün ülkeleri etkisi altına almış, deprem ve tsunami sonucu çoğunluğu tsunami kaynaklı 280.000 insanın hayatını kaybetmesine(Sieh, 2006) ve 1 milyondan fazla insanın evsiz kalmasına yol açmıştır (Ramalanjaona, 2011). Mart 2011 Tōhoku depremi sonucu meydana gelen tsunami sonrası Japonya en sonunda Fukushima Nükleer santralinin hasar görmesi ile nükleer felakete evrilen bir dizi sorun yaşamıştır (Tobita & Iai, 2006). Bu ve benzeri olaylar sonucunda tsunami popüler bir konu haline gelmeye başlamıştır

Türkiye açısından bu konu özellikle Marmara denizi ve çevresindeki şehirler için özel bir konuma sahiptir. Marmara denizi küçük bir iç deniz olmakla birlikte oldukça derindir. En derin noktasında 1370 m derinliğe ulaşır. Oldukça aktif bir fay hattı olan Kuzey Anadolu Fay Hattının Kuzey Kolu Marmara denizini kuzey kıyılarına paralel olarak boydan boya katederek Saros körfezinde sonlanır (Yaltırak, 2015). Bu faylar tarihsel olarak İstanbul ve çevresinde büyük tahribatlara sebep olmuş depremler yaratmıştır. 450 ila 1900 yılları arasındaki 1450 yıl içerisinde 287 deprem kayıtlara geçmiştir(Yaltırak 2015). Depremler sadece sarsıntı ile değil deprem kaynaklı büyük dalgalar ile de büyük yıkıma sebep olmuştur (Altınok et al, 2003).

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışma esas olarak tsunami adı verilen büyük su dalgalarının düzenli ve düşük bir eğim ile azalan körfez geometrisi içerisinde etkilerini araştırmaktır. Çalışmada ayrıca olarak Saint-Venant denklemlerinin 1-boyutta seçilmiş olan geometri için üretilen analitik çözümü ile nümerik çözümünün paralel olmasını bekliyoruz.

Bu çalışmanın konusu düzenli alçalan bir körfezin olası bir tsunami dalgası altında nasıl etkileneceğini incelemektir

Çalışmanın teorik altyapısı Saint-Venant denklemleri olarak da bilinen sığ su denklemlerine dayanır.

İncelenen geometri basitleştirilmiş bir körfez yapısı olarak U şeklindeki ve düzgün derinleşen, boyu enine oranla oldukça uzun, eni doğrultusunda simetrik bir yapıda ve körfez sonrası açık denizin sabit derinlikli olduğu bir geometri ele alınmıştır.

Sığ su denklemlerinin geçerli olduğu aralığa uygun olarak körfeze gireceği varsayılan dalganın dik doğrultuda körfeze girdiği ve dalga boyunun açık deniz dalga boyuna oranla yeterince uzun olduğu senaryolar dikkate alınmıştır.

Nümerik analiz ve simülasyon için ANUGA Hydro Hidrodinamik modelleme aracı kullanılmıştır.

1.2. Sığ Su Denklemleri

Tsunami dalgalarında dalga boyu sıvı derinliğine göre ve genliğe göre çok büyüktür. Derin okyanusta meydana gelen ve 150 km/h hızla hareket eden tipik bir tsunami dalgasının genliği 0.5 m civarındadır; buna karşın dalgaboyu 150 km yi aşabilir.(Goff & Dominey-Howes, 2013). Okyanus her ne kadar derin olsa da dalgaboyu ile karşılaştırıldığında küçüktür. Bunun gibi yatay ölçeğin dikey ölçekle kıyaslandığında çok büyük olduğu akışkan yüzey üzerinde üzerindeki akışı tanımlamak için Sığ Su Denklemleri kullanılır. Sığ su denklemleri bir dizi hiperbolik kısmi diferansiyel denklemden oluşur.

Sığ su denklemleri, yatay ölçeğin dikey ölçeğe göre çok küçük olduğu yakınlştırması kullanılarak 3-boyutlu Navier-Stokes denklemlerinin derinlik üzerinden integral alınması ile elde edilen özel bir halidir.

Akışın tek yönlü olduğu durumlarda Navier-Stokes denklemleri, Saint-Venant denklemleri olarak bilinen daha basit bir forma dönüşür. Saint Venant denklemlerinin açık kanal problemlerini çözmek üzere 1 boyuta indirgenmiş hali 1-d Saint Venant denklemleri olarak bilinir. 1-boyutlu Saint Venant denklemleri hidrodinamik modelleme yapan bilgisayar uygulamaları tarafından sıklıkla kullanılır.

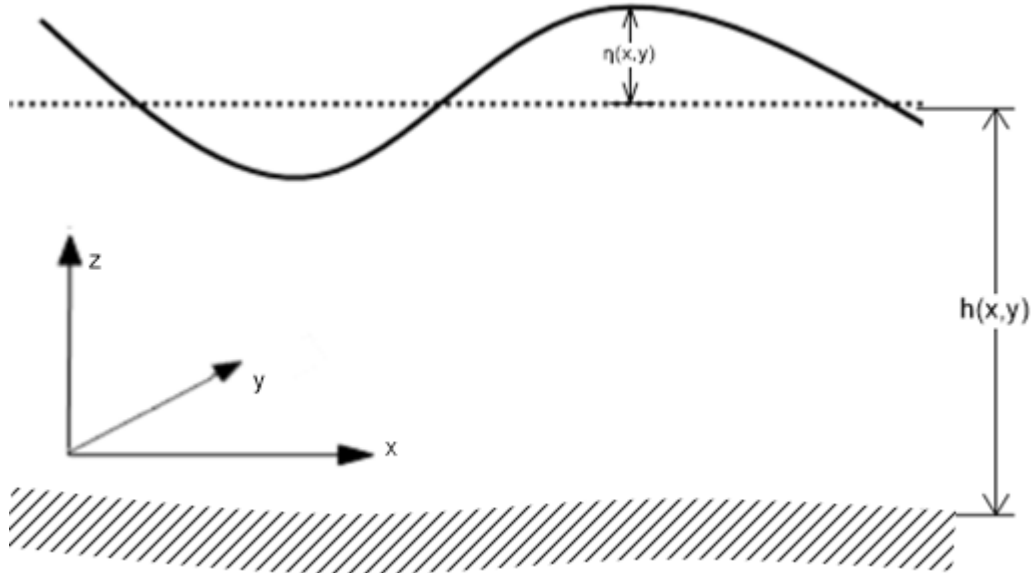
Sıg su denklemleri Navier-Stokes denklemlerinden kütle korunum ve momentum korunum yasaları esas alınarak türetilir.

Şekil 1.1 'de z dikey eksen, x ve y yatay eksenler ve t zaman koordinatı olmak üzere η dalga fonksiyonunu; h , durgun sıvının derinliğini gösterir. Buna göre Sıg Su Denklemleri aşağıdaki şekilde elde edilir;

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad (1.1)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial(\eta u + hu)}{\partial x} + \frac{\partial(\eta v + hv)}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (1.3)$$



Şekil 1.1: x-y düzleminde ilerleyen dalga.

Bu denklem takımında u , x eksenine yönündeki hızı; v , y eksenine yönündeki hızı ve g yerçekimi ivmesini göstermektedir. (1.1) ve (1.2) denklemleri x ve y doğrultusundaki momentum korunumunu gösterir. Ön kabul olarak suyun sıkışmasız olduğu kabul edilerek kütle korunumu, hacim korunumuna indirgenir. (1.3) denkleminde $\eta u + hu$ ve $\eta v + hv$ yatay akıyı göstermek üzere (1.3) denklemi özetle kütle korunumuna denktir.

Bu çalışmanın konusu olan geometride (1.1), (1.2) ve (1.3) denklemlerinden oluşan Sığ su denklemlerinin lineerleştirilmiş 1-boyutlu özel hali geçerlidir.

1.3. ANUGA Hydro

ANUGA Hydro hidrodinamik modelleme aracı, Geoscience Australia ve Australian National University işbirliği ile geliştirilmiş açık kaynak kodlu ve ücretsiz bir hidrodinamik modelleme aracıdır. Tsunami, nehir taşkınları, baraj yıkılması, fırtına gibi hidrolojik afetlerin etkilerini tahmin etmek/modellemek üzere geliştirilmiştir.

ANUGA, sonlu elemanlar yöntemi ile yapılandırılmamış örgü üzerinde sığ su denklemleri kullanarak çalışır. ANUGA'nın altyapısında bulunan akışkanlar dinamiği modülü üçgen örgü üzerindeki zamana bağlı adımlar halinde her üçgen üzerinde sığ su denklemlerini çözer, su derinliği ve momentum gibi parametreleri kaydeder ve bir sonraki zamana aktarır (Roberts, Nielsen, Gray, Sexton, & Davies, 2015).

ANUGA'nın su olmayan zemine su girişini ve su olan zeminde su çekilmesini modelleyebilmesi güçlü yönlerinden birisidir. Bu sayede su baskınlarının etkilerini modelleyebilir. Su girişi var olan bir su kaynağından taşma şeklinde olabileceği gibi yağmur şeklinde de olabilir (Rigby, 2008)

ANUGA ayrıca yerleşim bölgelerindeki su baskını etkilerini detaylı inceleyebilmek için uygun bir araçtır. Güçlü modelleme yeteneği ile binalar, altından su geçebilen köprü ve benzeri yapılar tanımlanabilir. Şekil 1.2'de Geoscience Australia tarafından hazırlanmış yerleşim yeri barındıran örnek bir sel simülasyonundan görüntü bulunmaktadır.



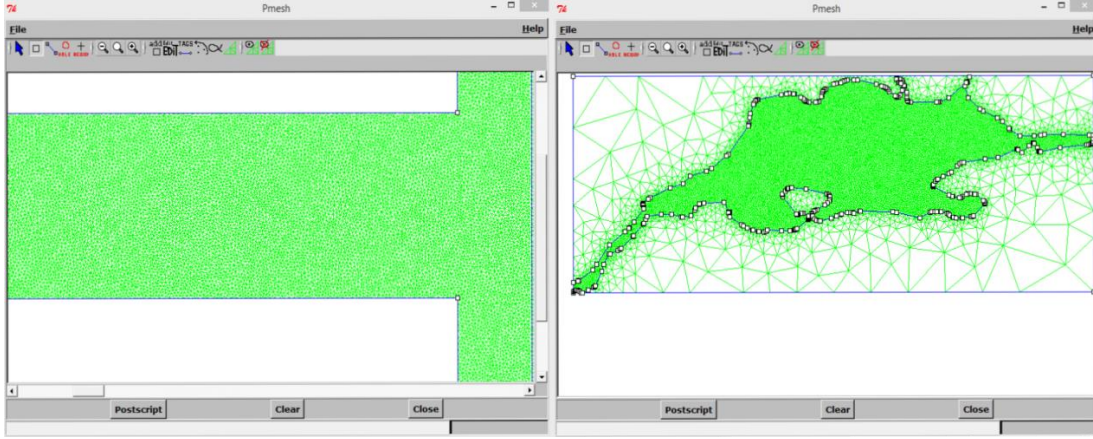
Şekil1.2:ANUGA Hydro yerleşim yeri su baskını simülasyonu (Flood example, 2009).

ANUGA üzerinde uygulama, Python programlama dili ile geliştirilir.

Simülasyonun gerçekleştirileceği ortamı tanımlamak için “domain” adı verilen kapalı çokgenler tanımlanır. Domain, üçgenleştirme işlemi uygulanarak oluşturulur ve kaydedilir. ANUGA, ASCII formatında TSH veya NetCDF formatında MSH örgü dosyalarını destekler.

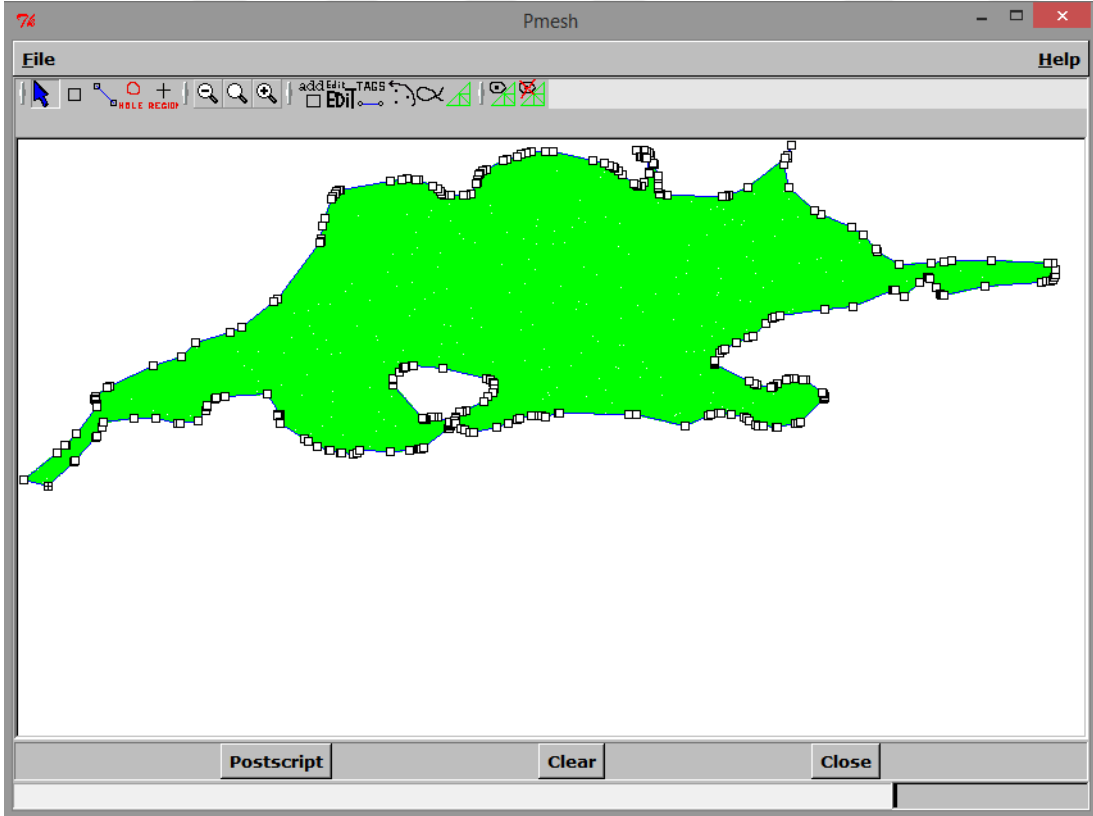
Bu çalışmada sadece domain görselleştirmek için kullanılmış olmakla birlikte ANUGA altında bulunan graphical mesh generator ile de üçgen örgü (mesh) yaratılabilir. Şekil 1.3’de **Graphical Mesh Generator** altında bu çalışma için yaratılan örgünün bir kısmının görüntüsü ve Marmara denizini modelleyen örnek bir örgü verilmiştir.

ANUGA domain en basit hali ile dikdörtgen olabilir. İncelemeye konu alanı içerdiği müddetçe domain tanımının şekli önemsizdir Domain’i oluşturan noktalar birbirini kesen doğrular üretmediği müddetçe her formda domain tanımlanabilir.



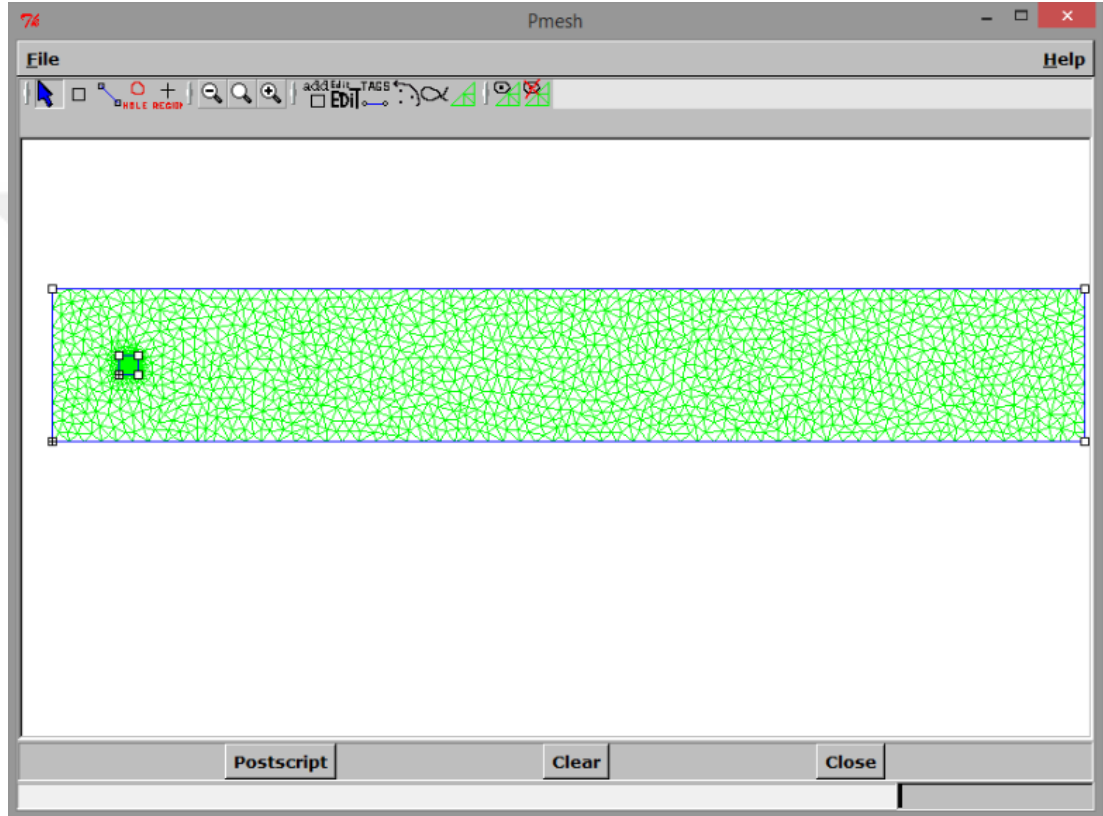
Şekil 1.3:Graphical Mesh Generator üzerinde bu çalışmada kullanılan açık kanal üçgen örgünün yakından görünüşü (solda) ve Marmara denizi üçgen örgü örneği(sağda).

Şekil 1.4’de Marmara denizi kıyılarını sınır kabul eden bir domain örneği gösterilmiştir.Şekil 1.3’de sağda yer alan domain gene Marmara Denizi üzerindeki bir çalışmayı gösterir fakat domain sınırları kıyılardan uzakta alınmıştır.Üçgen örgü sayısının çokluğu çalışma süresini uzattığından ve oluşan çıktı dosyalarının boyutunu artırdığından domain için çalışma konusu olmayan bölgeleri içermeyecek veya en az içerecek şekilde tanımlama tercih edilebilir.



Şekil 1.4:Marmara denizi kıyılarını sınır kabul eden domain örneği.

Domain içerisinde gene her türlü şekilde olabilen alt poligonlar tanımlanabilir ve bu alt poligonlarda domain bazında geçerli olan ölçekten farklı ölçeklerde üçgen örgü yaratılabilir. Böylece hassas çalışılmak istenen noktalar Şekil 1.5’deki gibi daha yüksek çözünürlükte, daha az hassasiyet gerektiren alanlar daha düşük çözünürlükte tanımlanarak simülasyon üretilme süresi azaltılabilir. Şekil 1.3’de sağda yer alan domain örneğinde daha kompleks bir alt bölge örneği görülebilir.



Şekil 1.5:Domain altında farklı çözünürlükte üçgen örgü içeren alt bölge domain (Kırmızı kare içerisindeki bölgede üçgen boyutları daha küçük).

ANUGA,UTM¹formatında küresel koordinatlaragöre hesaplama yapma kabiliyetindedir.Domain, dünya üzerinde fiziksel koordinatlar ile ilişkilendirilebilir. Fakat bu konuda bazı kısıtlamaları vardır. UTM’nin kendi kısıtları yanında 1 UTM bölgesinden (6° *boylam*) daha geniş alanlar için uygun değildir.

¹**UTM** : UTM (Universal Transverse Mercator) Projeksiyonu 2 boyutlu kartezyen koordinat sistemi ile dünya üzerindeki koordinatları göstermek için kullanılan bir projeksiyon türüdür. Dünya üzerindeki bir noktanın, ekvator çizgisini çevreleycek şekilde dünya etrafındaki varsayımsal silindire izdüşümü ile elde edilmiştir. ANUGA küresel koordinatlarda UMT birimlerini kullanır

Bir senaryoyu oluşturmak için domain yaratılması ile birlikte domain sınırlarında bağ koşulları tanımlanmalıdır. Bağ koşulları, sistemin dış dünya ile ilişkisini kurar. Bağ koşulları ayrıca senaryoyu süren bir etken olarak mesela sisteme dalga-momentum girişi, sistem içine veya dışına doğru akıntı veya yansıtıcı duvar olarak kullanılabilir. ANUGA'da ön tanımlı olarak ;

reflective_boundary(yansıtıcı sınır),

transmissive_boundary (aktarıcı sınır),

dirichlet_boundary (Dirichlet sınır koşulu),

time_boundary(zamanla değişen sınır

koşulu), Transmissive_stage_zero_momentum_boundary

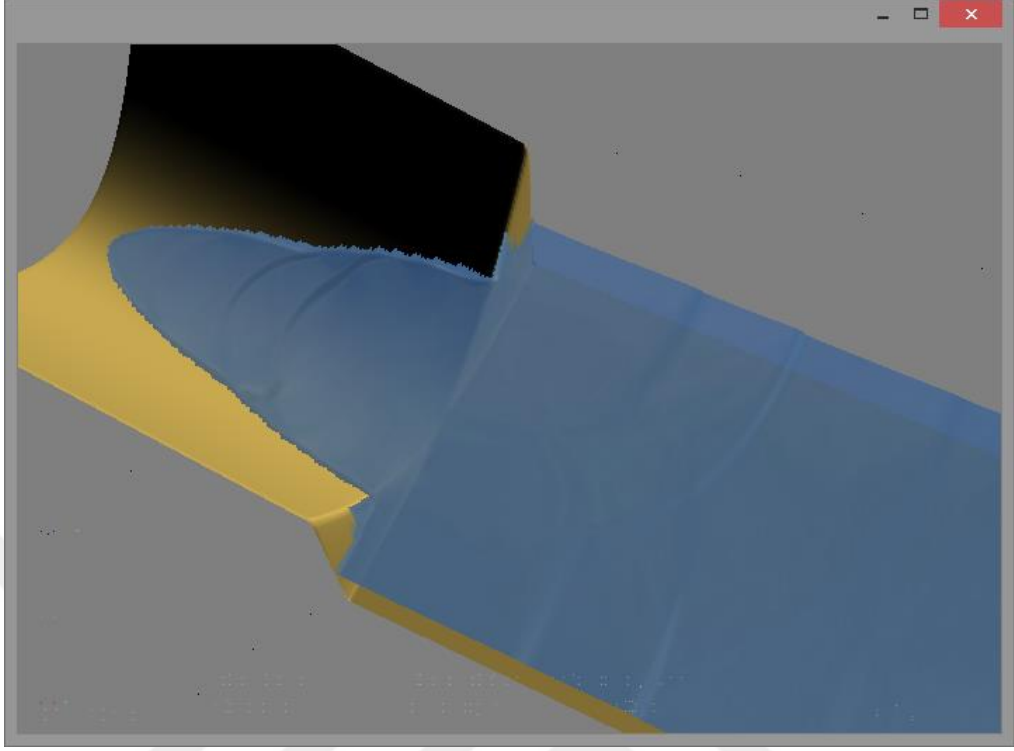
sınır koşulları fonksiyonları bulunur. Bu fonksiyonların yanında kullanıcı kendi amaçlarına uygun sınır koşulları yaratabilir.

Bunlara ek olarak, ANUGA çoğunlukla NetCDF formatında dosyalar kullanır. Bu sayede NetCDF formatı kullanan uygulamalarla uyumlu çalışır. Ayrıca NetCDF kütüphaneleri veri işlemede kullanılabilir. Bunlara ek olarak DEM formatını PTS formatına, SWW formatını DEM formatına vs dönüştürebilir.

ANUGA ile gerçekleştirilen simülasyon SWW uzantısıyla NetCDF formatında kaydedilir. SWW dosyasında simülasyonun her zaman adımına ait hız, momentum, su yüksekliği gibi bilgiler bulunur. Çeşitli kütüphaneler vasıtasıyla SWW dosyasından simülasyonun herhangi bir anına ve örgünün herhangi bir noktasına ait veri çekilebilir. Ayrıca, simülasyon çıktı dosyası (SWW), ANUGA'nın bir parçası olan Anuga Viewer aracı ile görselleştirilir. Anuga viewer, simülasyonu farklı bakış açılarından gösterme, yatay ölçeği değiştirme, örgü üzerinde veya gerçekçi gösterme gibi yeteneklere sahiptir. Genellikle dalga genliği yanında çalışılan domain boyutu çok büyük olduğundan simülasyonda dalgaları gözle seçebilmek için ölçek değiştirmek özelliği işlevsel olmaktadır.

Bu çalışmada üretilen test amaçlı simülasyonlardan birinin **Anuga Viewer** altındaki görünüşü örnek olarak aşağıda (Şekil 1.6) verilmiştir.

Python ile geliştirme yapılması, kolay kullanımı ve su olmayan zeminde su akışını modelleyebilmesi, yaygın kullanılan dosya formatlarıyla çalışabilmesi gibi özellikleri sebebi ile ANUGA Hydro, bu çalışmanın spesifik ihtiyaçlarına uygun gelmektedir



Şekil 1.6 : Anuga Viewer ile görselleştirilen açık kanalda dalga görüntüsü örneği.

1.3.1. Kısıtlar

Güçlü özelliklerine karşın ANUGA'nın uygulama aşamasında dikkat edilmesi gereken bazı kısıtları vardır(Roberts, Nielsen, Gray, Sexton, & Davies, 2015).

- Sürtünmeler için Manning denklemleri kullanılır. Sürtünme etkin sistemlerde sistemin davranışı çok iyi bilinerek ve çok dikkatli kullanılmalıdır.
- 2-boyutlu sığ su denklemlerini kullandığından dalga kırılması gibi etkileri yoksayar. Bu etkilerin önemli olduğu durumlarda kullanılmamalıdır
- En iyi sonuçları 1 UTM'nin altındaki büyüklükteki bölgeler için verir. Daha geniş alanlar için kullanılması mümkündür fakat tüm alan 1 UTM alan içerisine ölçeklenmek zorundadır. Bu da hassasiyeti düşürür

Çalışmamızın gerçek dünya üzerinde bir nokta ile ilişkilendirilmemiş ve ölçeği 1UTM'ye göre oldukça küçük alınmıştır. Ayrıca sürtünmeler yok sayılmıştır. Körfez en boy oranı çok küçük alındığından simetrik, uzun ince ve sığ bir kanal görünümündedir. Bu haliyle maksimum tırmanma için dalga kırılması önemli olmamaktadır. Şu durumda kısıtlar çalışmamıza bir engel teşkil etmez.

1.3.2. Dosya formatları hakkında

ANUGA, ASCII ve NetCDF formatlarını kullanabilir. Program simülasyon çıktılarını netCDF formatında olarak ürettiği sww dosyasına kaydeder. Ayrıca oluşturduğu üçgenleştirilmiş örgüyü de NetCDF formatında msh dosyasına kaydedebilir.

Program yükselti verisi olarak esasen NetCDF formatında pts dosyası kullanır fakat ASCII formatında asc dosyalarını NetCDF formatında dem dosyasına ve dem dosyasını da pts formatına dönüştürerek kullanabilir.

ASCII ne NetCDF formatları dışında çeşitli konfigürasyon veya girdileri kullanıcı tanımlı csv veya text dosyalarından okuyabilir.



2. DÜZENLİ SIĞLAŞAN U FORMUNDAKÖRFEZDE AÇIK KANAL PROBLEMİ

2.1. Açık Kanalda Saint Venant Denklemleri

Açık kanal geometrisi (Şekil 2.1) Saint-Venant denklemlerinin tamçözümünün mümkün olduğu nadir problemlerden biridir. Nümerik çözüm için kullanılan denklemler 2- boyutlu Saint-Venant denklemlerinin 1-boyuta indirgenmiş halidir. Temel olarak kanal boyunca dalga'nın özellikleri y ekseninde ortalama alınan değerde kabul edilir. 1-boyutlu Saint-Venant denklemleri açık kanal geometrisinde,

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (2.1)$$

şekline girer (Rybkin, Pelinovsky, & Didenkulova, 2014). Bu denklemlerde A , açık kanalın $y - z$ kesit alanıdır. Kanal kesiti alanı x -ekseni ile birlikte değişebilir. Q , su akışını verir. x ve t ise koordinatı ve zamanı belirtir. Momentum korunumu denklemi ise;

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{(\partial Q^2 / A)}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(s_0 - s_f) = 0 \quad (2.2)$$

şeklindedir. Burada s_0 , kanal eğimini, s_f sürtünmeyi verir. 1-boyutlu Saint Venant denklemleri suyun sıkışmasız olduğunu, akışın tek yönlü olduğunu, dikey ivmelenmenin önemsiz olduğunu ve kanal eğiminin düşük olduğunu kabul eder.

Hızın bağlı değişken olduğu durumlarda denklem,

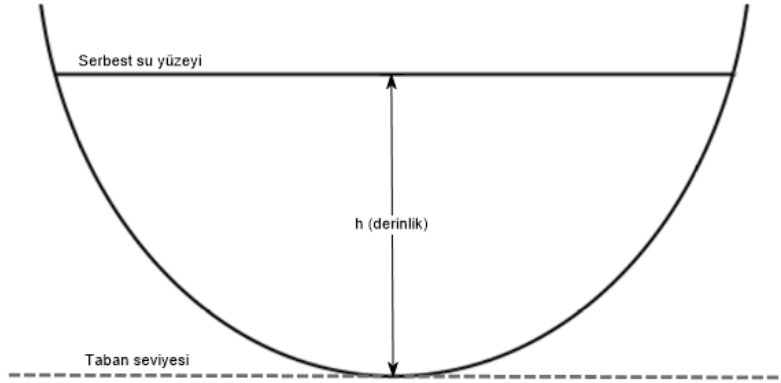
$$\frac{\partial V(y)}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (2.3)$$

$$V \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (2.4)$$

haline dönüşür.

Açık kanal denklemleri ve yakınlştırması sıklıkla bilgisayar destekli modellerde kullanılır. Rüzgar dalgaları, baraj çökmesi, ırmak taşması gibi konuları modellemek

için sıkça kullanılır. Çalışmamızın konusu olan düzgün alçalan körfez geometrisi de 1-boyutlu Saint-Venant denklemlerinin uygulanması için uygundur.



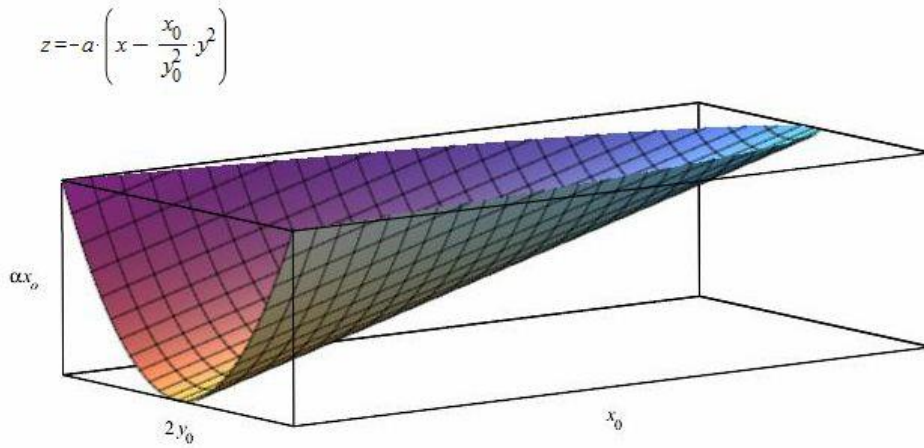
Şekil 2.1: Açık kanal kesiti.

2.2. $z = -\alpha x + \alpha x_0 y^2 / y_0^2$ Formundaki Kanal

Çalışmaya konu olan körfez geometrisi aşağıdaki denklemle verilmiştir;

$$z = -\alpha \left(x - \frac{x_0}{y_0^2} y^2 \right) \quad (2.5)$$

Körfezin 3 boyutlu geometrisi Şekil 2.2 deki gibidir (aşağıda).

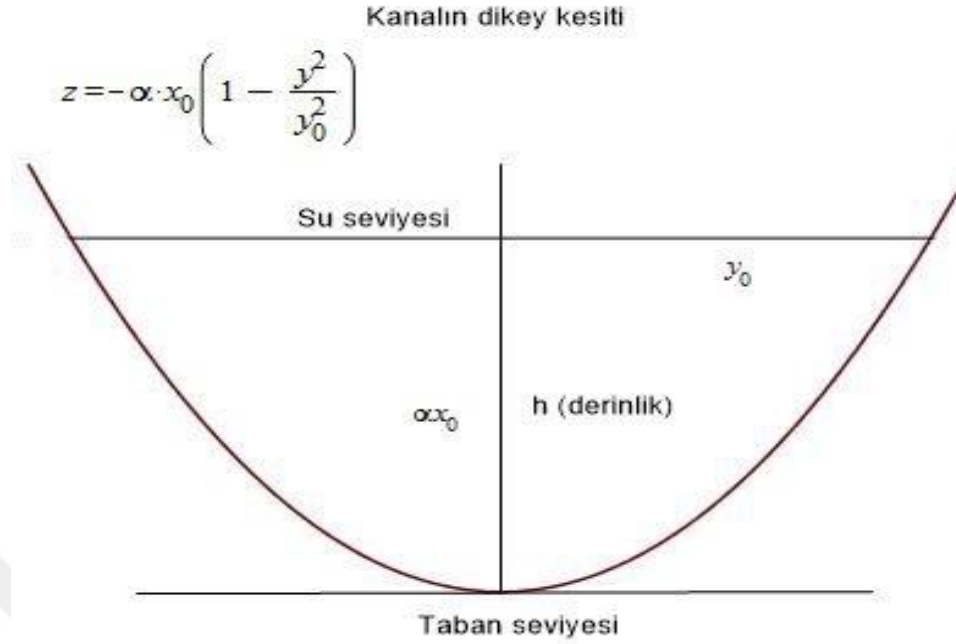


Şekil 2.2: Düzgün sığlaşan U formundaki açık kanalın 3 boyutlu görünüşü.

Körfezin en geniş olduğu nokta $x = x_0$ konumudur. Bu noktada körfez $2y_0$ genişliğindedir. $x = x_0$ konumunda körfezin kesiti;

$$z = y^2 \left(\frac{\alpha x_0}{y_0^2} \right) - \alpha x_0 \quad (2.6)$$

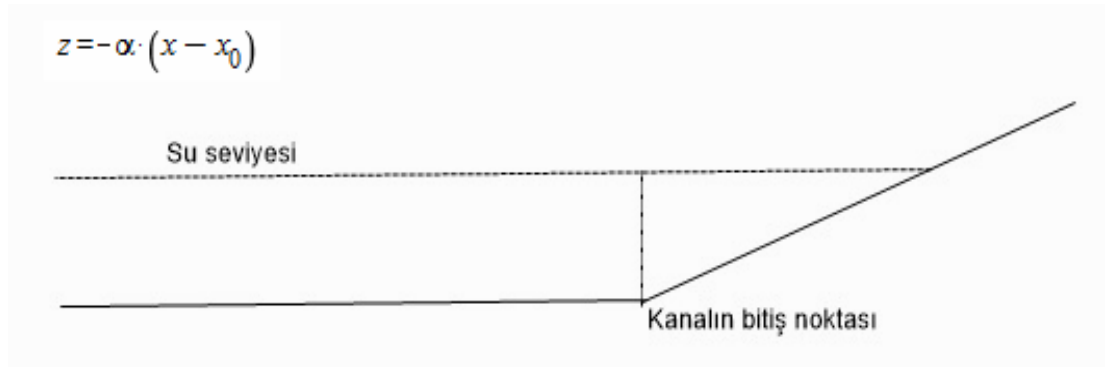
denklemleri ile verilir. Körfezin kesit alanı Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3:Düzgün sığlaşan U formundaki açık kanalın çapraz kesit alanı.

Buna göre yüzeyde yani $z = 0$ durumunda x ile y arasında $x = (x_0/y_0^2)y^2$ şeklinde parabolik bir ilişki bulunur.

Körfez, $x = x_0$ noktasından biter. Bu noktada körfezin en derin noktasının derinliği olan $z_{\min} = (-\alpha)x_0$ derinliğinde yarı açık deniz devam eder. Buna göre körfez ve açık deniz sisteminin x -ekseni üzerinde (körfezin orta doğrusu) enine kesiti aşağıdaki gibidir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Körfez ve açık deniz sisteminin $y=0$ doğrusu üzerindeki enine kesiti.

2.3. U Formundaki Körfezde Pelinovski Çözümü

$$z = -\alpha x + y^2/y_0^2 \quad (2.7)$$

formundaki körfezi ele alalım. Eğer körfezin eni körfeze giren dalga boyuna göre yeterince küçük ise y eksenini boyunca ortalama alınabilir. y -eksenine göre simetrik körfez üzerinde y bağımlılığını kaldıracak şekilde ortalama alındığında sıg su denklemleri;

$$\frac{\partial}{\partial t} u(t, x) = -g \frac{\partial}{\partial x} \eta \quad (2.8)$$

$$\omega_0(x) \frac{\partial}{\partial t} \eta(t, x) + \frac{\partial}{\partial x} [S_0(x) u(t, x)] = \omega_0(x) \frac{\partial}{\partial t} h(t, x) \quad (2.9)$$

şeklinde lineerleştirilmiş forma dönüşür. Burada S_0 , dalga tarafından tedirgenmemiş haliyle körfezin çapraz kesit alanıdır. (2.9) denkleminin sağ tarafı su tabanının yükselme miktarıdır. Yükselme miktarı içerisinde geçen ω_0 ise körfezin deniz seviyesindeki ($z = 0$) genişliğidir. (2.6) denklemiyle verilen parabolik körfez için ;

$$\omega_0(x) = 2\sqrt{\alpha x y_0} \quad (2.10)$$

şeklindedir. Parabolik körfez için kanal eni boyunca integral alınarak S_0 ;

$$S_0(x) = \int_{-\sqrt{\alpha x y_0}}^{\sqrt{\alpha x y_0}} dy (\alpha x - y^2/y_0) = 0.75 \cdot \alpha^{3/2} x^{3/2} y_0^{1/2} \quad (2.11)$$

elde edilir.

Körfezin simetri eksenini üzerindeki derinlik D_0 olarak adlandırılır ise ;

$$D_0 = \alpha x \quad (2.12)$$

(2.11) denklemindeki S_0 ;

$$S_0 = \frac{2}{3} D_0(x) \omega_0(x) \quad (2.13)$$

şeklinde sadeleşir. (2.9) denklemi böylece;

$$\omega_0(x) \frac{\partial}{\partial t} \eta(t, x) + \frac{\partial}{\partial x} [S_0(x) u(t, x)] = \omega_0(x) \frac{\partial}{\partial t} h(t, x) \quad (2.14)$$

Bu denklemden $u(t, x)$ yi yoketmek için zamana göre integrali alındığında ve (2.8) denklemi kullanıldığında;

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} \eta - \frac{2}{3} g \alpha \frac{\frac{\partial}{\partial x} [x^{3/2} \partial_x \eta]}{x} = \frac{\partial^2}{\partial t^2} h(t, x) \quad (2.15)$$

şeklinde lineer dalga denklemi elde edilir. Şimdi bu denklemin homojen hali için asimptotik bir çözümünü arayalım.

$$I(x) \exp \left(i \omega t + i \int_x k(x') dx' \right) \quad (2.16)$$

$$k(x') \gg \frac{1}{x} \quad (2.17)$$

formunda bir gelen dalgayı ele alalım.(2.16) ile tanımladığımız dalga , büyük x değerleri için ;

$$k(x) = \frac{\omega}{\sqrt{\frac{2}{3} \alpha g x}} \quad (2.18)$$

koşuluyla (2.15) denkleminin bir çözümüdür. Bu koşul yardımıyla (2.16) ile tanımladığımız dalga ;

$$I(x) \exp \left(i \omega \left(t + \sqrt{6x/\alpha g} \right) + i \Phi \right) \quad (2.19)$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki Φ keyfi faz değeridir.

Gelen dalganın x bağımlılığını, genişliği x eksenı boyunca değişen körfez boyunca enerji akısının korunumu belirler. Enerji akısı, $u g \eta S_0$ 'ın zaman ortalama değeridir. Burada,

$$S_0 \propto x^{3/2}$$

$$u \eta \propto |I(x)|^2 k(x) \quad (2.20)$$

ilişkilerini göz önüne alırsak, enerji akısının korunumu $I(x)$ için aşağıdaki eşitliği gerektirir.

$$I(x) = I_1 \sqrt{x_1/x} \quad (2.21)$$

Burada I_1 , herhangi bir $x = x_1$ koordinatındaki genliği temsil etmektedir. Böylece (2.15) denkleminin homojen asimptotik çözümü ;

$$\eta_i^{(w)}(t, x) = I_1 \sqrt{x_1/x} e^{i \omega \left(t + \sqrt{6x/\alpha g} \right)} \quad (2.22)$$

Herhangi bir anda $y = 0$ doğrusu üzerindeki iki nokta arasındaki faz farkı ω 'nın lineer bir fonksiyonudur. Bundan yararlanarak gelen dalganın nasıl evrildiğini yazabiliriz. (2.23) şeklinde tanımlanmış gelen dalga paketi için (2.24) eşitliği sağlar

$$\eta_i(t, x) = \int d\omega I(\omega) \frac{e^{(i\omega t + i\omega\sqrt{6x/\alpha g})}}{w\sqrt{6x/\alpha g}} \quad (2.23)$$

$$\eta_i\left(t - \frac{\sqrt{x_2} - \sqrt{x_1}}{\sqrt{\alpha g}}, x_2\right) = \sqrt{x_1/x_2} \eta_i(t, x_1) \quad (2.24)$$

$x = 0$ noktasında akının sıfır olması koşulunu yerine getirebilmek için yansıyan dalgayı gelen dalgaya eklememiz gerekir. Akının sıfır olması koşulu;

$$x \rightarrow 0 \quad \text{için} \quad S_0(x)u(t, x) \rightarrow 0 \quad (2.25)$$

şeklinde ifade edilebilir. Yansıyan dalgayı, gelen dalganın ayna görüntüsü olarak tanımlayabiliriz. Bu durumda $x = 0$ noktasında tekillik oluşacaktır. Gelen dalgadan giden dalgayı çıkarmak bu noktadaki tekilliği kaldırır. Sonuçta;

$$\eta = \int d\omega \frac{I(\omega)}{w\sqrt{6x/\alpha g}} \left[\exp(i\omega t + i\omega\sqrt{6x/\alpha g}) - \exp(i\omega t - i\omega\sqrt{6x/\alpha g}) \right] \quad (2.26)$$

Burada köşeli parantez içerisindeki birinci terim gelen dalgayı, ikinci terim yansıyan dalgayı temsil eder. Bu üstel ifadeyi j_0 küresel Besel fonksiyonunu kullanarak tekrar yazabiliriz. Sonuç olarak dalga fonksiyonu aşağıdaki şekle dönüşür

$$\eta = \int d\omega \, 2i \, I(\omega) j_0(w\sqrt{6x/\alpha g}) e^{i\omega t} \quad (2.27)$$

2.4. Analitik Çözüm

Boy - en oranının yeterince büyük olduğu durumlarda dalga tek boyutlu kabul edilebilir Didenkulova'ya göre e göre bu noktada dalga denklemi

$$\eta = \tilde{r}(\omega) j_0\left(\frac{\omega}{\sqrt{g\alpha}} 6x\right) e^{i\omega t} \quad (2.28)$$

ile verilir (Rybkin, Pelinovsky, & Didenkulova, 2014). Körfez ağzında körfeze giren dalgalar kırılmadan dolayı açık denizin etkilerine açıktırlar. Bu sebeple körfez ağzında 1-boyutlu Saint Venant denklemi kullanılamaz, 2 boyutlu Saint Venant denkleminin ise bu notada analitik çözümü zordur. Fakat eğer x doğrultusunda düzgün derinleşme eğimi yeterince küçük ise açık deniz etkilerinin sürdüğü dar bir

bölgede körfez derinliği sabit kabul edilebilir. Böylece 1-boyutlu Saint-Venant denklemleri geçerliliğini sürdürür.

Körfezin açık deniz etkilerinin sürdüğü noktada x ile derinliğin değişmediğini varsayarak

$$\eta = \sum_p B_p e^{(\kappa_p(\omega)x - \phi)} f_p(y, \omega) e^{i\omega t} \quad (2.29)$$

şeklinde bir çözüm önerebiliriz.

Bu çözüm önerisi şayet,

$$\begin{aligned} \omega^2 f_p(y, \omega) - g\kappa_p^2 \left(\alpha x_0 \left(1 - \frac{y^2}{y_0^2} \right) f_p(y) \right) \\ - g \frac{d}{dy} \left(\alpha x_0 \left(1 - \frac{y^2}{y_0^2} \right) \frac{d}{dy} f_p(y, \omega) \right) = 0 \end{aligned} \quad (2.30)$$

eşitliği sağlanıyor ise çözümdür. Bu denklem $\pm y$ noktalarında tekildir. Bu noktalarda da geçerli bir çözüm olması κ 'nın alabileceği değerleri sınırlar. Bu değerleri bulabilmek için (2.30) denklemi Legendre polinomları cinsinden yazılabilir.

Şayet $\frac{\omega y_0}{\sqrt{gH_0}} < 2.5$ koşulu sağlıyorsa κ için çözüm olabilen tek bir değer bulunmalıdır

Tüm problemin çözümü ;

$$r(t) = \lim_{D \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{2iD\tilde{I}(\omega) \exp(i\omega t)}{w \left(-2\sqrt{\frac{x_0}{j_1 g \alpha}} + iDj_0 \sqrt{\frac{6x_0}{g \alpha}} \right)} \quad (2.31)$$

şeklindedir. Buradaki $r(t)$; maksimum dalga tırmanmasını, $\tilde{I}$ gelen dalganın körfez ağzındaki Fourier açılımını, D ise derinliği temsil eder.

Körfez geometrisini temsil eden (2.5) denkleminde;

$$x_0/y_0 = 20 \quad (2.32)$$

ve

$$x_0/\sigma = \sqrt{2} \quad (2.33)$$

ölçeği kullanıldığında (2.31) çözümü ile maksimum tırmanmanın gelen dalğanın genliğine oranı (R/G) değeri 7.69 olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca, maksimum tırmanma gelen dalğanın ilk periyodunda gerçekleşmektedir.

Maksimum tırmanma, gelen dalğanın genliğine hemen hemen lineer bağımlı olduğundan maksimum tırmanma yerine maksimum tırmanmanın genliğe oranı dikkate alınmıştır.

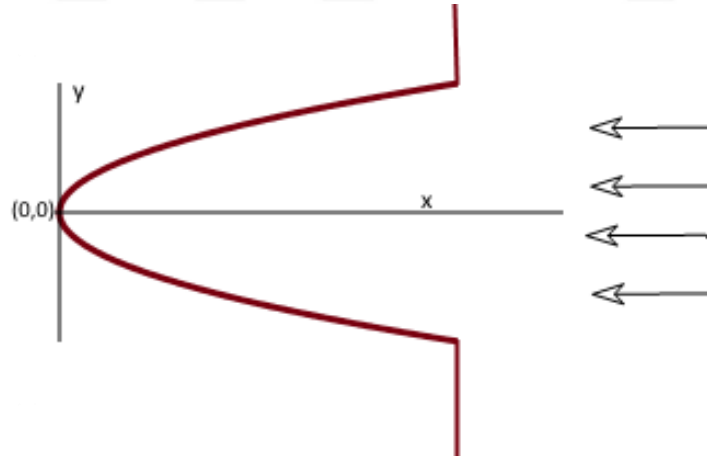


3. UYGULAMA

3.1. Model ve Domain

Model, (2.5)denklemleri ile verilen bir körfe ve körfezin devamında körfezin en derin noktası ile aynı ve sabit derinlikte devam eden açık deniz içerir. Başlangıç anında açık denizde Gauss formunda bir su yükseltisi bulunur. Su yükseltisi² deniz tabanındaki ani şekil değişikliklerinden veya toprak kaymalarından oluşabilir. Fakat bu su yükseltisinin oluşma mekanizması çalışmanın konusu değildir. Yükseltinin oluşma mekanizmasına bakılmaksızın hazır olduğu an başlangıç anı olarak kabul edilmiştir. Ayrıca sürtünme katsayısı 0 kabul edilmiştir.

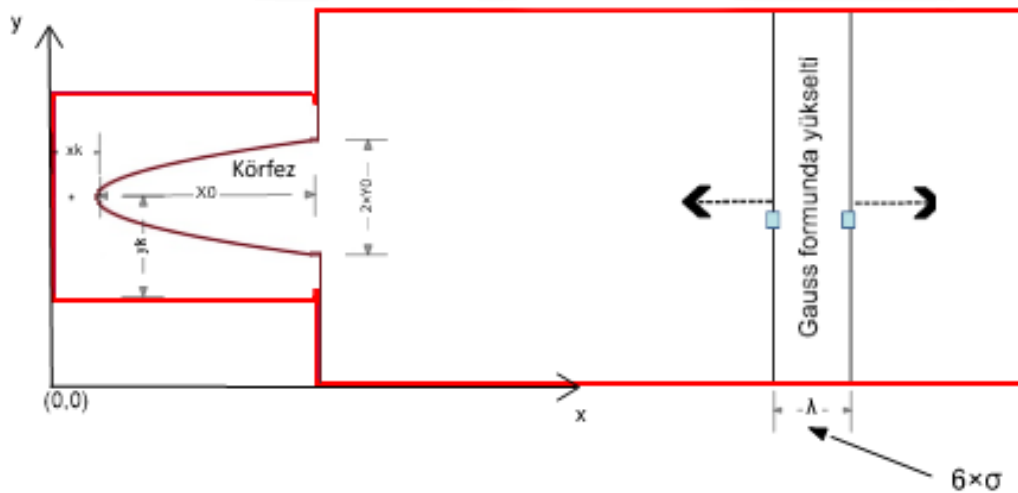
Modelin şematik gösterimi Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Körfez, (0,0) noktasında başlayarak x eksenini doğrultusunda uzanacak şekilde konumlandırılmıştır. Başlangıç anında ($t=0$) Açık denizde x-eksenine dik olarak gauss formunda yükselti bulunur.



Şekil 3.1: Model.

Simülasyonun gerçekleştirildiği fiziksel ortama tekabül eden ANUGA domaini Şekil 3.2’deki gibi tanımlanmıştır. Domain dikdörtgen olarak da tanımlanabilir fakat oluşan örgü dosyasının (.msh) ve üretilen SWW dosyasının boyutunu küçük

² Anuga’da elevation terimi ile deniz seviyesi referans alınarak zeminin rakımı veya dikey koordinatı, dept (derinlik) terimi ile herhangi bir noktadaki su kütlelerinin zeminden yüksekliği, stage (su seviyesi) terimi ile herhangi bir noktadaki su yüzeyinin deniz seviyesinden farkı (elevation +dept) kastedilir.



Şekil 3.2:Domain içerisinde körfez ve gauss formundaki yükseltinin konumu. Kırmızı renk domain sınırlarını gösterir.⁴

3.1.1. Üçgenleştirme

ANUGA, üçgen örgü yaratmak için Delaunay üçgenleştirme yöntemiyle çalışan bir algoritma kullanır. Delaunay üçgenleştirme ile 2-boyutlu üçgen yaratırken en küçük açılarını maksimize edecek, en büyük açılarını minimize edecek şekilde çalışır. Böylece her bir üçgenin iç açılarını birbirine yakın hale getirir (Bern & Eppstein, 1995). Üçgen sayısı üçgenleştirme işlemi sonrasında belirli hale gelir. Üçgen boyutları değişebilmekle birlikte maksimum üçgen boyutu `anuga.create_domain_from_regions` fonksiyonuna `maximum_triangle_area` parametresi verilerek belirlenir. Her bir alt bölge için maksimum üçgen boyutları ayrıca tanımlanır.

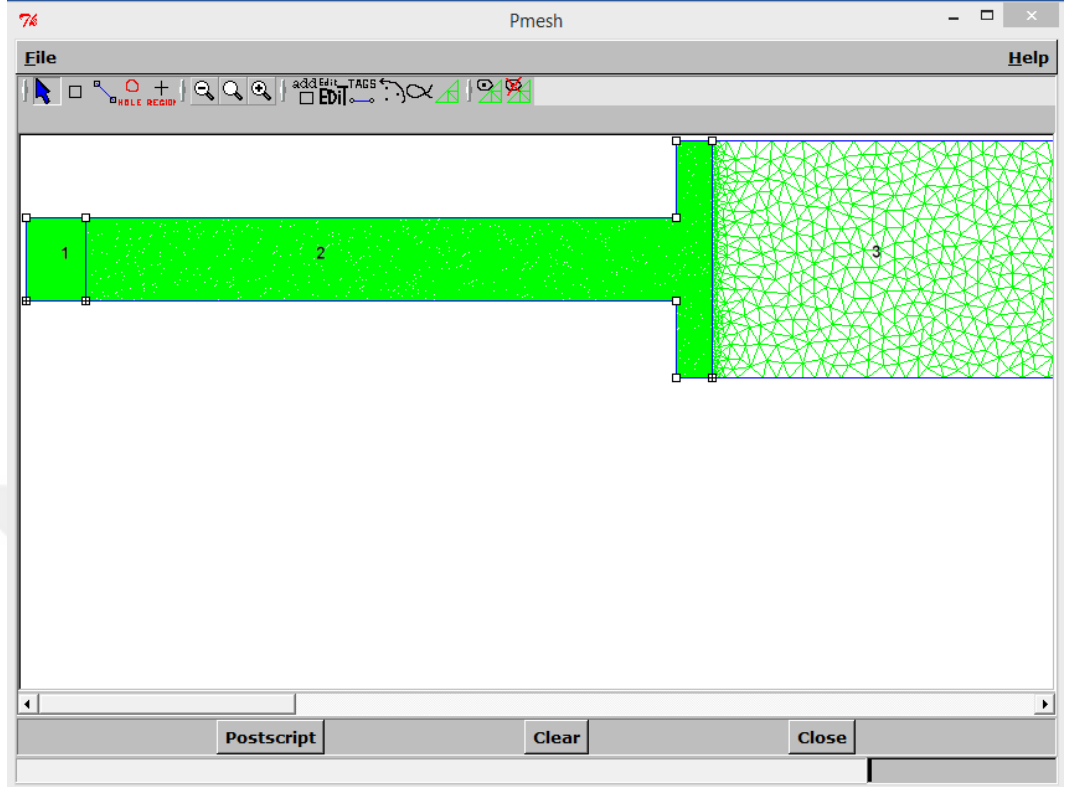
SWW dosyasında üçgen örgü centroid (merkez) noktaları için momentum ve su seviyesi ve değerleri saklanır. Herhangi bir noktadaki su seviyesi değeri interpolasyon ile elde edilmekle birlikte üçgen örgü sıklığı⁵ölçümün hassasiyetinde etkilidir. Bu sebeple maksimum tırmanmanın gerçekleşmesi beklenen bölgede daha

³ Bu çalışmadaki bazı simülasyonlar dikdörtgen şeklinde domain üzerinde koşturulmuştur.

⁴ Model ve şematik çizimlerde gerçek ölçüler kullanılmamıştır.

5 Üçgen örgü sıklığı veya çözünürlüğü maksimum üçgen alanı (maximum_triangle_area) ile ters orantılıdır.

düşük olacak şekilde domain altında 3 alt bölge tanımlanarak her bölge için farklı bir maksimum üçgen alanı tanımlanmıştır(Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Domain ve üçgen örgü. 1: Tırmanma bölgesi, 2: Körfez 3: Açık deniz.

Domain ve mesh oluşturmak için *create_domain_from_region* fonksiyonu kullanılır;

```
domain = anuga.create_domain_from_regions
        (bounding_polygon,
         boundary_tags,
         mesh_filename=prj_output_dir + os.sep + mesh_file,
         interior_regions=interiors,
         use_cache=p_cache,
         verbose=p_verbose
        )
```

Burada, *bounding_polygon* dizisi ile domain çizilir ve *interiors* dizisi ile domain alanı; tırmanma bölgesi, körfez ve açık deniz şeklinde farklı hassasiyetlerde 3 alt bölgeye ayrılır (Şekil 3.3).

Maximum_triangle_area uzunluk biriminin karesi cinsinden tanımlıdır. Simülasyonlarda, tırmanma bölgesi için *maximum_triangle_area* olarak 50 veya 100 değerleri kullanılmıştır. Bu değerler $50 m^2$ ve $100 m^2$ alana karşılık gelmektedir.

Maksimum tırmanmanın körfezin merkez doğrusu istikametinde gerçekleştiği ve üçgenlerin eşkenar olduğu varsayılarak körfez merkez doğrusu üzerinde $100 m^2$ alana sahip eşkenar bir üçgenin iki ucu arasında en fazla $0.152 m$ yükseklik farkı

oluşabilir. Bu değer bu bölgede alınan maksimum tırmanma için hata üst sınırı olarak kabul edilebilir⁶.

3.1.2. Fiziksel izdüşüm

Domain fiziksel bir ortam ile ilişkilendirilmeden ve ölçü birimi belirtilmeden oluşturulmakla birlikte tanımlanan model fiziksel olarak 1 birim 1 metreye denk düşecek şekilde model oluşturulmuştur. Bu durumda 10.000 birim uzunluğunda ve 500 birim genişliğindeki kanal, 10 km boyunda ve 500 m genişliğinde kanala karşılık gelmektedir. Aynı şekilde maksimum üçgen alanı tanımları m^2 şeklinde tanımlanmaktadır.

3.2. Topoğrafya

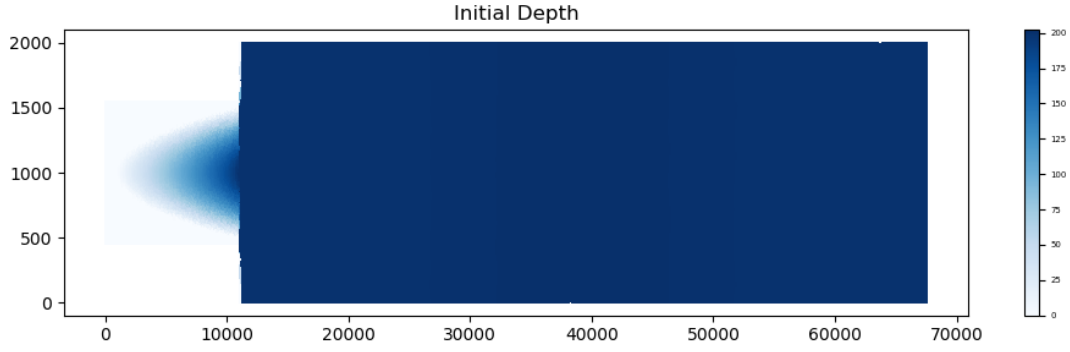
Problemin modellemesinde ANUGA üzerinde (2.5)denklemini kullanılarak düzgün derinleşen ve sonrasında sabit derinlikli olarak devam eden açık deniz şeklinde bir yüzey tanımlanmıştır.

Topoğrafya tanımı için aşağıdaki fonksiyon kullanılmıştır;

```
def topography(x, y):
    z = 0 * x
    n = len(x)
    for i in range(n):
        if x[i] < X0 + xk :
            z[i] = -bay_slope * ((x[i] - xi) - (X0 / Y0 ** 2.) *
            (y[i] - yi) ** 2.)
        else:
            z[i] = z0
    return z
```

Bu tanıma göre simülasyon öncesinde deniz seviyesi 0 olmak üzere derinlik aşağıdaki şekildedir (Şekil 3.4)

⁶ Üçgenleştirmede herhangi bir üçgenin yaklaşık eşkenar olması konusunda bir garantisi yoktur fakat Delaunay üçgenleştirme üçgenleri benzer yaratmaya çalışır. Burada bahsedilen ölçü sadece bu bölgeye tırmana dalga ile sınırlıdır. Diğer bölgelerdeki örgü sıklığının sonuca etkisi konusunda bir fikir vermez.



Şekil 3.4: $t=0$ anında derinlik.

Topoğrafyada, (2.5)denklemleri ile oluşturulan körfez ile sabit derinlikli açık deniz birleştirildiğinde, birleşme noktasında keskin bir geçiş oluşur. Şekil 3.4’ de körfez ile açık denizin sadece körfez orta çizgisi üzerinde doğrusal birleştiği görülebilir. Budurum dalganın körfeze girdiği sınırdaki körfezin y ekseninde, merkezden kenarlarına doğru artan şekilde istenmeyen bir kırılmaya sebep olur. Üçgen örgü sebebiyle bu geçiş tam dik olmayıp, çok küçük bir miktarda yumuşar.

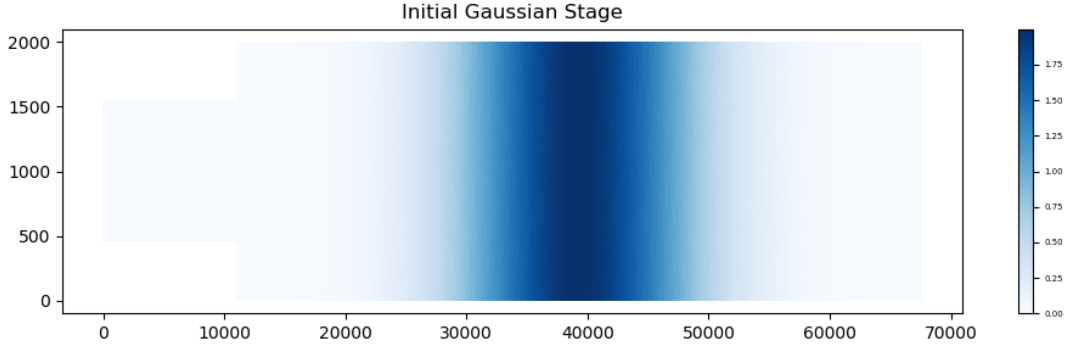
3.3. Körfeze Giren Dalga

Sisteme dalga girişi tercihen zamanla değişen sınır koşulu verilerek tanımlanabilir fakat bu çalışmada başlangıç anında su yükseltisi tanımlanması tercih edilmiştir.

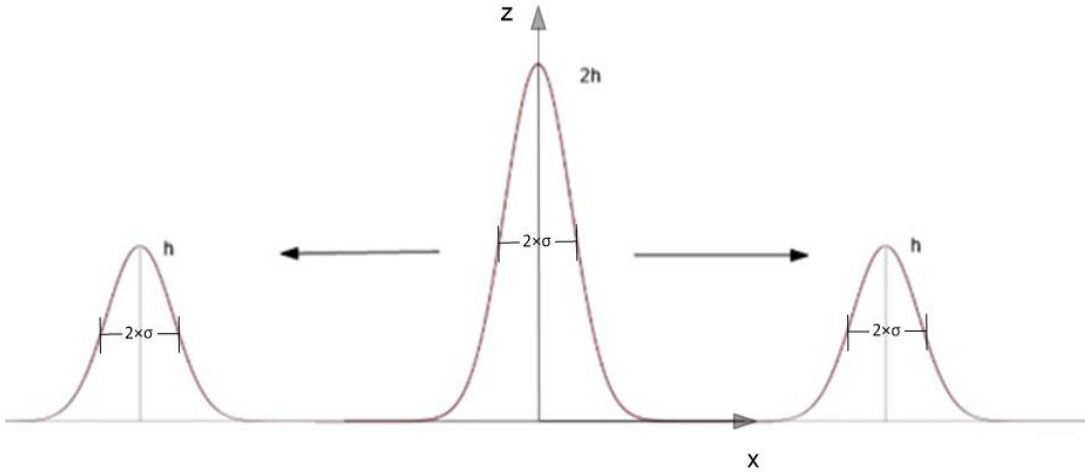
Kanal ağzı doğrultusunda ($-x$ yönünde) doğrusal ilerleyecek bir dalga tanımlamak amacıyla kanal ağzının dik doğrultusunda kanala ilerlemesi istenen dalganın iki katı genliğe sahip Gausiye formda bir su yükseltisi $t = 0$ anı için tanımlanmıştır (Şekil 3.5). Bu Gauss dağılımı formundaki su yükseltisi, birbirine doğru ilerleyen Gauss dağılımı formundaki iki atmanın $t=0$ anında üst üste binmiş hali gibi düşünülebilir⁷.

Zaman ilerledikçe bu su yükseltisi birbirine zıt yönde ilerleyen ve simetrik yapıdaki iki atmaya ayrılır. Bu atamalar başlangıçtaki Gauss formundaki yükseltiyle aynı dalga boyunda ve yarı genlikte olurlar (Şekil 3.6). Bu iki dalgadan $+x$ yönünde ilerleyen dalga ilgi alanımıza girmez ve açık denize doğru ilerler ve domain’in dışına çıkar. Bu sebeple domain’in sağ kenarı Anuga’nın ön tanımlı sınır koşullarından “transmissive boundary” (geçişken) olarak tanımlanmıştır.

⁷ Yeterince büyük dalgaboyu için geçerlidir.



Şekil 3.5: $t=0$ anında Gausiyen formda tanımlanmış yükselti.



Şekil 3.6: $t=0$ anında Gauss formundaki yükseltinin ikiye ayrılması.

Gauss formundaki su yükseltisini üretmek için kullanılan dalga fonksiyonu;

```
def gaussian(x, xmean, sigma, amplitude):
    """
        Gaussian dalga fonksiyonu. x noktasındaki y değerini üretir.
        Gauss dağılımının orta noktası 'mean'
        Normalize Gauss g area kadar genişletilir
    """
    return amplitude * np.exp(-(x - xmean) ** 2 / (2 * (sigma ** 2)))
```

şeklindedir.

Burada Gauss fonksiyonu normalize değildir. Bu şekilde normalizasyon katsayısı yerine kullanılan amplitude parametresi ile oluşturulan Gauss formundaki su yükseltisinin genliği belirlenir . Bu fonksiyon $t = 0$ anında su seviyesini (stage) atamak amacıyla aşağıdaki fonksiyonda kullanılır.;

```
def initial_stage(x, y):
    z = 0 * x
```

```

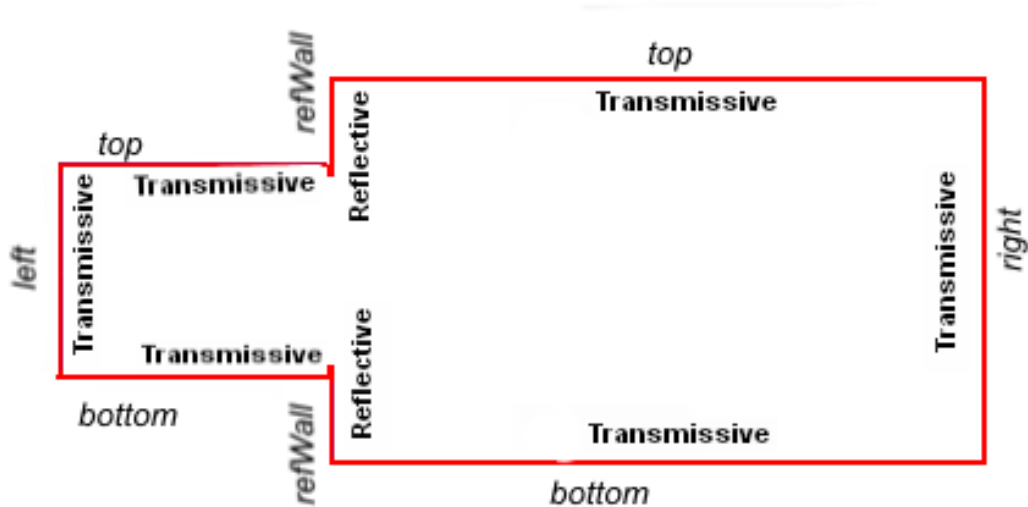
n = len(x) # x koordinatındaki nokta sayısı
for i in range(n):
    if gauss_x - sigmaG * 2.5 + ww <= x[i] <= gauss_x + sigmaG * 2.5 - ww: #
        gauss duvara dayanmasın
        z[i] = gaussian(x[i], gauss_x, sigmaG, eta0)
    else:
        z[i] = 0
return z

```

Gauss fonksiyonu $-\infty$ ile $+\infty$ arasında tanımlıdır. Körfez içerisinde ve yansıtıcı duvarlar civarında bir başlangıç yükseltisi oluşturmamak amacıyla gauss fonksiyonu x doğrultusunda yaklaşık $5 \times \sigma$ kadarlık bir aralığa sınırlandırılmıştır. Bu alan dışında su seviyesi (stage) değeri değiştirilmez.

3.4. Sınır Koşulları

Sınır koşulları, çalışma alanının dış çeperlerinde tanımlanır. Körfezin devamında yansıtıcı duvar oluşturmak amacıyla bu bölgede (Şekil 3.7’de refWall) reflective_boundary (yansıtıcı sınır koşulu) kullanılmıştır.



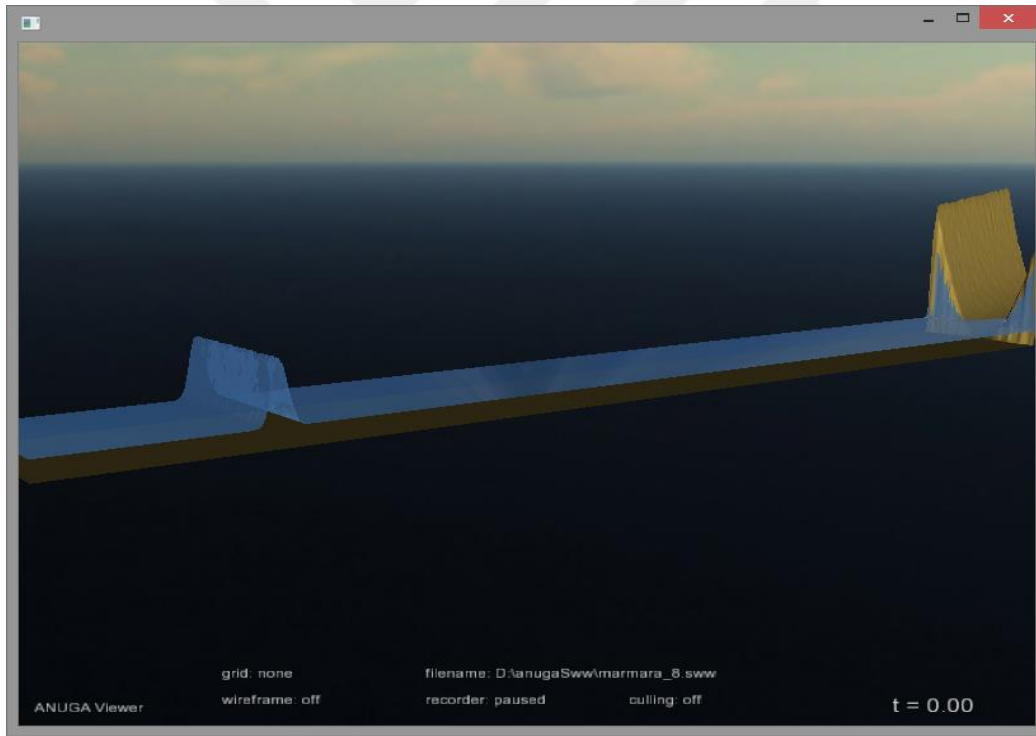
Şekil 3.7:Sınır koşulları.

Körfez çevresi, bağ koşullarından etkilenmediğinden tanımlanan bağ koşulu önemsizdir. Açık denizde Gauss dalgasının ikiye bölünmesi ile oluşan ve istenmeyen ikinci dalganın sistem dışına çıkmasına izin vermek amacıyla domain’in sağ çeperine (Şekil 3.7’de right) açık deniz sınır koşulu olarak da adlandırabileceğimiz transmissive_boundary (geçişken sınır koşulu) tanımlanmıştır. Domain’de açık

denizin alt ve üst çeperleri ise(Şekil 3.7’de top ve bottom) açık deniz anlamında transmissive_boundary şeklinde tanımlanmıştır.

Domain tanımında açık deniz, körfeze oranla yeterince geniş tutulularak alt ve üst çeper sınır koşullarının ilk giren dalgayı etkilememesi amaçlanmıştır. Transmissive boundary sınırdaki komşu olduğu domain hacmi ile aynı korunan büyüklükleri döndürür. Başlangıç anında tanımlanan gauss formundaki yükseltinin yanlara doğru devam etmesi istendiğinden Transmissive boundary kullanılmıştır. Transmissive boundary amacımıza uygun olmakla birlikte akışın sabit olmadığı durumlarda momentum replikasyonu sebebiyle simülasyonda kararsızlığa sebep olabilir(Roberts, Nielsen, Gray, Sexton, & Davies, 2015). Zaman zaman alt veya üst sınır koşulları sebebiyle simülasyonda kararsızlık gerçekleşebilmektedir.

Aşağıda (Şekil 3.8) Gausiye formundaki dalganın ve modelin görüntüsü $t = 0$ anı için ölçekleri gözle rahat görülebilir şekilde oranları değiştirilmiş olarak verilmiştir.



Şekil 3.8 : $t=0$ anında açık kanala dik doğrultuda konumlandırılmış Gausiye formundaki dalga. Şekil z-eksenindeki boyutları abartılarak oluşturulmuştur.

Çalışılan ölçülerde kanalın eğimi çok düşük (1/50 mertebesinde) ve Gausiye formundaki yükselti oldukça basıktır. (Gauss denkleminin σ değeri körfezin boyu mertebesinde ve genliği 1’dir)

3.5. Konfigürasyonlar

Her ne kadar ANUGA'nın hesaplama yöntemi, modelin sığ su denkleminin geçerlilik koşullarını sağlayıp sağlamadığından bağımsız olarak sığ su denklemleri olsa da analitik çözüm sığ su denklemlerinin geçerli olduğu aralıkta gerçekleştirildiğinden uygulamada da sığ su denklemlerinin geçerlilik aralığına dikkat edilmiştir. Uygulamada şu bağ koşulları kullanılmıştır

$$\lambda \times 0.05 \geq h \quad (3.1)$$

$$x_0 \geq 20 \times y_0 \quad (3.2)$$

$$0.01 \geq h/x_0 \quad (3.3)$$

(3.1) koşulu sığ su denklemlerini geçerli olması için gereklidir

(3.2) koşulu 1-boyutlu Saint Venant denklemlerinin açık kanalda geçerli olması için gereklidir

(3.3) eşitsizliği ile verilen koşulu 1-boyutlu Saint Venant denklemlerinin kanal ağzına yakın bölgelerde (2.8) denklemi ile verilen ve Bessel fonksiyonları ile yapılan yakınlaştırmının geçerli olması için gereklidir.

Bu koşullar uygun ve varsayılan olarak kullanılabilecek konfigürasyon dosyası aşağıdaki gibidir.

```
# -*- coding: utf-8 -*-
from math import sqrt

##### Model parametreleri#####

X0 = 1.e4          # Körfezin boyu
Y0 = X0 / 20.0     # Körfezin yarı eni
sigmaG = X0/sqrt(2.) # t=0 anında tanımlı Gauss yükseltisinin yarı
eni

eta0 = 2.0         # t=0 anında tanımlı Gauss yükseltisinin
genliği
Z0 = -2.e2         # Körfezin en derin noktası ve açık deniz
derinliği

##### Uygulama adımları kontrol parametreleri#####

p_stepCheckSW = True    # Bağ koşulları kontrolünü yap
p_stepMesh = True       # Mesh yarat
p_stepSWW = True        # Simülasyonu çalıştır
p_stepReport = True     # SWW dosyasından bilgi çek
p_stepGauge = True      # Gauge dosyası oluştur
p_stepGaugeChart = True # Gauge noktaları için grafikler çiz
```

```

##### Çalışma zamanı parametreleri #####

timestep1 = 5.           # 1. kademe zaman adımı
timestep2=1.           # 2. kademe zaman adımı
duration1= 1000         # 1. kademe süresi
duration2 = 1500        # 2. kademe süresi

##### Çözünürlük #####

max_tri_area_base  = 5.e3 # Domain'in varsayılan maksimum üçgen alanı
(m^2)
max_tri_area_focus = 5.e2 # Körfez ve yansıtıcı duvar yakınları için
maksimum üçgen alanı
max_tri_area_inu   = 5.e1 # Tırmanma bölgesi maksimum üçgen alanı

#####

flow_alg = 'DE2'        # Kullanılan algoritma
p_friction =0.          # Sürtünme
infgcx = 4.0            #Gauss başlangıç konumunun körfezden
ağzından uzaklığı (sigma cinsinden)

p_minimum_storable_height=0.001 # SWW dosyasına kaydedilen minimum
su yüksekliği
ww=60                   # Duvar kullanılıyor ise genişliği

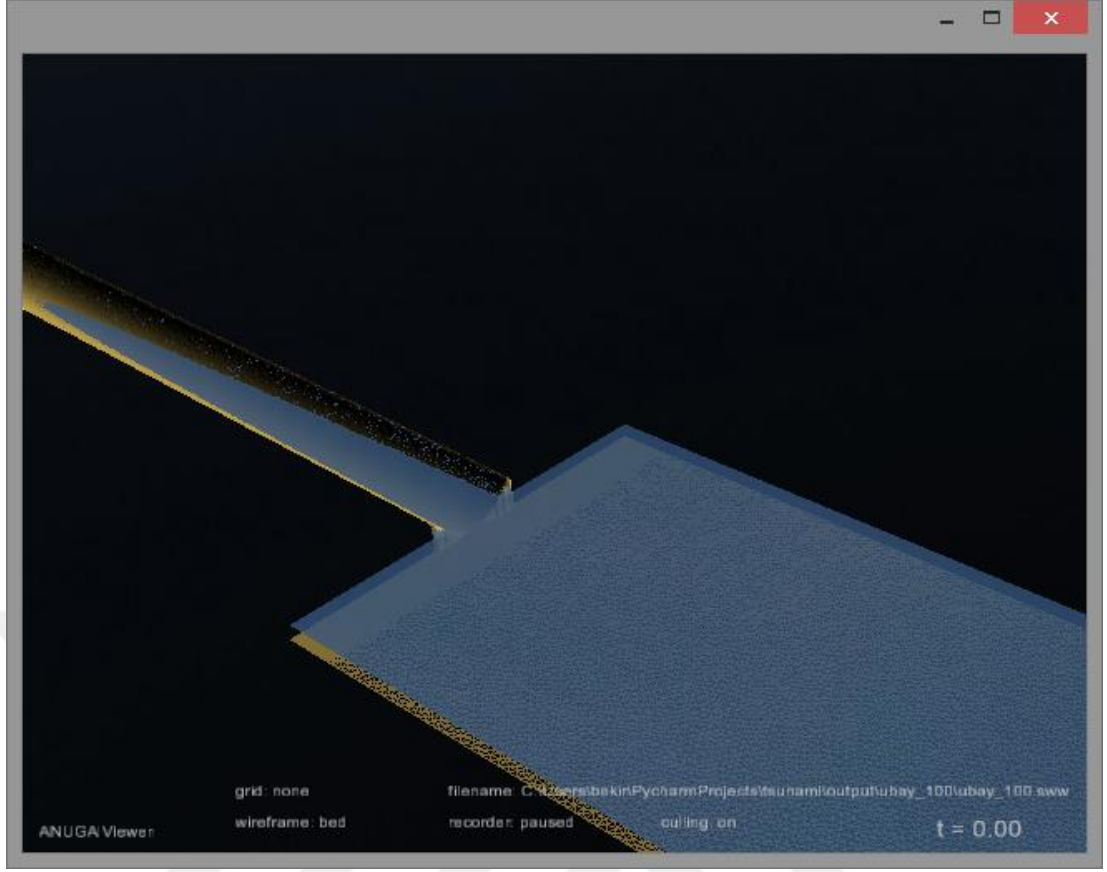
#####

p_cache = False
p_verbose = True

#####

```

Bu konfigürasyonlara göre oluşan SWW dosyasının AnugaViewer ile alınmış bir yakın görüntüsü Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9: 10 km uzunluğunda ve 1 km genişliğinde U formunda körfez ve 200 m derinliğinde açık deniz.



4. SİMÜLASYON SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Varsayılan konfigürasyonlara göre körfez, 10 km uzunluğunda ve 1km genişliğinde, körfezin en derin noktası ve açık denizin sabit derinliği 200 m, körfeze ilerleyen dalganın genliği 1 m (gauss formunda tanımlı başlangıç su yükseltisi 2 m) ve Gauss'un yarı yükseklikte eni (σ değeri) yaklaşık 7071 m ($10.000/\sqrt{2}$) olduğunda ve Gauss formundaki yükselti başlangıçta körfez ağzından $4 \times \sigma$ uzaklığa (körfez başlangıcından yaklaşık 20 km ileriye) yerleştirildiğinde;

Maksimum tırmanmaya ait çıktılar şöyledir;

max runup	:8.360758
max runup location	:1591.708 , 2992.4421
max runup time	:1073.0

Max runup location, domain koordinatlarına göre verilir. Körfez başlangıç noktasının (x, y) değerleri bu simülasyonda (2.000, 3.000) şeklindedir.

Başlangıç koşulları, kullanılan parametreler, domain ve üçgenleştirme sonuçları ve zaman adımı istatistiklerini içeren çıktılar;

Notes :default run	
Main parameters ;	
Bay length (X0)	:10000.0
Bay width (YO)	:500.0
Open sea depth(Z0)	:-200.0
Gauss wave sigma	:7071.06781187
Gauss amplitude(A/2)	: 1.0
Bay toe (x,y_up,y_down):	12000.0,3500.0,2500.0
Boundaries ;	
refWall	: Reflective_boundary
top	: Transmissive_boundary(<anuga.shallow_water.shallow_water_domain.Domain instance at 0x0000000007AEB4C8>)
right	: Transmissive_boundary(<anuga.shallow_water.shallow_water_domain.Domain instance at 0x0000000007AEB4C8>)

```

bottom :
Transmissive_boundary(<anuga.shallow_water.shallow_water_domain.Domain instance at
0x0000000007AEB4C8>)
left : Transmissive_boundary(<anuga.shallow_water.shallow_water_domain.Domain
instance at 0x0000000007AEB4C8>)
Timestep :5.0-->1.0
Simulation time :1000-->2000
Algorithm :DE2
Mesh coords;
[[0, 2300.0], [12000.0, 2300.0], [12000.0, 0], [68568.54249492381, 0],
[68568.54249492381, 6000.0], [12000.0, 6000.0], [12000.0, 3700.0], [0, 3700.0]]
Bay start coords : (2000.0 , 3000.0)
Gauss initial x coord :40284.2712475
X0/Z0 :0.02
Mesh ;
length x width :68568.5424949 x 6000.0
area (km2) :356.21125496954284
max triangle base :5000.0
max triangle focus :500.0
max triangle inund :50.0
triang. cnt :244651
extends :(0.0, 68568.54249492381, 0.0, 6000.0)
-----
Mesh statistics:
Number of triangles = 244651
Extent [m]:
x in [0.00000e+00, 6.85685e+04]
y in [0.00000e+00, 6.00000e+03]
Areas [m^2]:
A in [1.12561e+01, 4.99995e+03]
number of distinct areas: 244651
Histogram:
[1.12561e+01, 5.10125e+02[: 140751
[5.10125e+02, 1.00899e+03[: 266
[1.00899e+03, 1.50786e+03[: 63
[1.50786e+03, 2.00673e+03[: 1313
[2.00673e+03, 2.50560e+03[: 16866
[2.50560e+03, 3.00447e+03[: 26626
[3.00447e+03, 3.50334e+03[: 22372

```

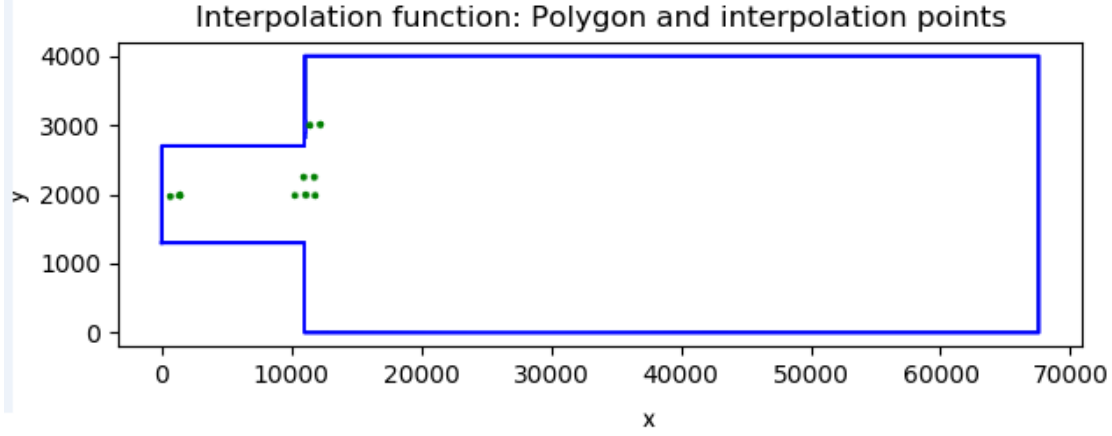
```

[3.50334e+03, 4.00221e+03[: 18221
[4.00221e+03, 4.50108e+03[: 11824
[4.50108e+03, 4.99995e+03]: 6349
Percentiles (10 percent):
24465 triangles in [1.12561e+01, 2.72599e+01]
24465 triangles in [2.72599e+01, 3.33645e+01]
24465 triangles in [3.33645e+01, 4.11760e+01]
24465 triangles in [4.11760e+01, 2.55756e+02]
24465 triangles in [2.55756e+02, 3.52798e+02]
24465 triangles in [3.52798e+02, 2.22202e+03]
24465 triangles in [2.22202e+03, 2.72413e+03]
24465 triangles in [2.72413e+03, 3.21739e+03]
24465 triangles in [3.21739e+03, 3.81065e+03]
24465 triangles in [3.81065e+03, 4.99995e+03]
1 triangles in [4.99995e+03, 4.99995e+03]
Boundary:
Number of boundary segments == 2463
Boundary tags == ['refWall', 'top', 'right', 'left', 'bottom']
-----
..
Time = 1072.0000, delta t in [0.07194211, 0.07194222], steps=14 (14s)
Time = 1073.0000, delta t in [0.07194223, 0.07194233], steps=14 (13s)
Time = 1074.0000, delta t in [0.07194234, 0.07194242], steps=14 (14s)
..
Time = 1999.0000, delta t in [0.07193599, 0.07193637], steps=14 (13s)
Time = 2000.0000, delta t in [0.07193640, 0.07193673], steps=14 (13s))

```

şeklindedir.

Simülasyonda maksimum tırmanmanın oluştuğu kordinatla birlikte körfez başlangıç noktasında, körfez ağzında ve yakın bölgelerinde momentum, su yüksekliği ve hız bilgileri ölçülmüştür.Şekil 4.1’de yeşil nokta ile gösterilen koordinatlar ölçüm yapılan noktaları göstermektedir.

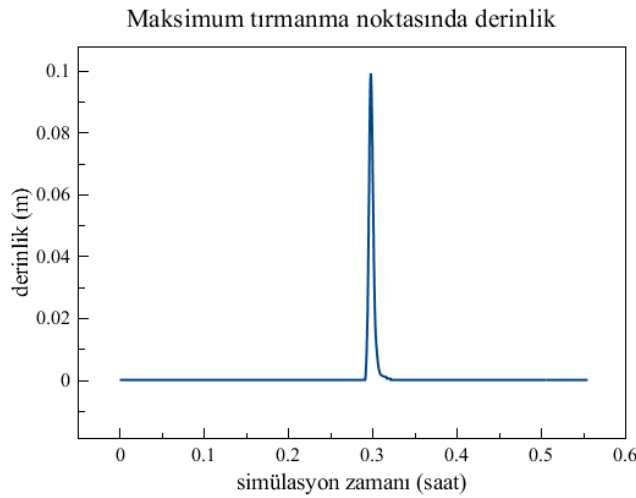


Şekil 4.1:İnterpolasyon noktaları (yeşil noktalar).

Domain koordinatlarına göre körfez (2.000, 3.000) noktasında başlar ve +x eksenini doğrultusunda 10.000 metre uzar. Maksimum tırmanma, körfezin başlangıç noktasından içeride (-x yönünde) ve yaklaşık 8.36 molarak gerçekleşmektedir.

Maksimum tırmanmanın olduğu nokta hemen hemen körfezin merkez doğrusu üzerinde gerçekleşmektedir. Fark tek bir üçgen mertebesinde.

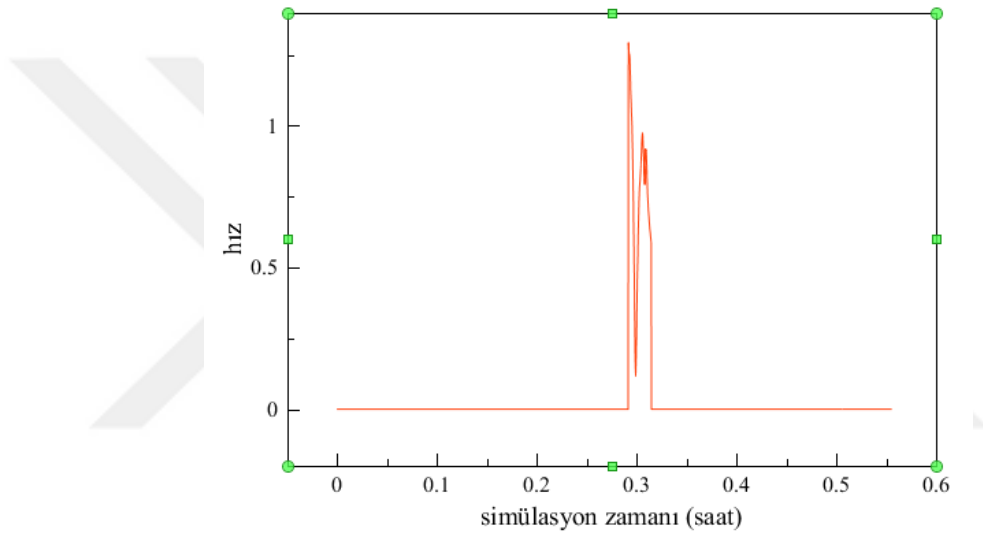
Maksimum tırmanma konumu körfez ucundan yaklaşık 409 metre içeridedir. Şekil 4.2 de maksimum tırmanma noktasındaki su seviyesi ve Şekil 4.3’de hız grafiği verilmiştir.



Şekil 4.2 : Maksimum tırmanma noktası su yüksekliği -zaman grafiği.

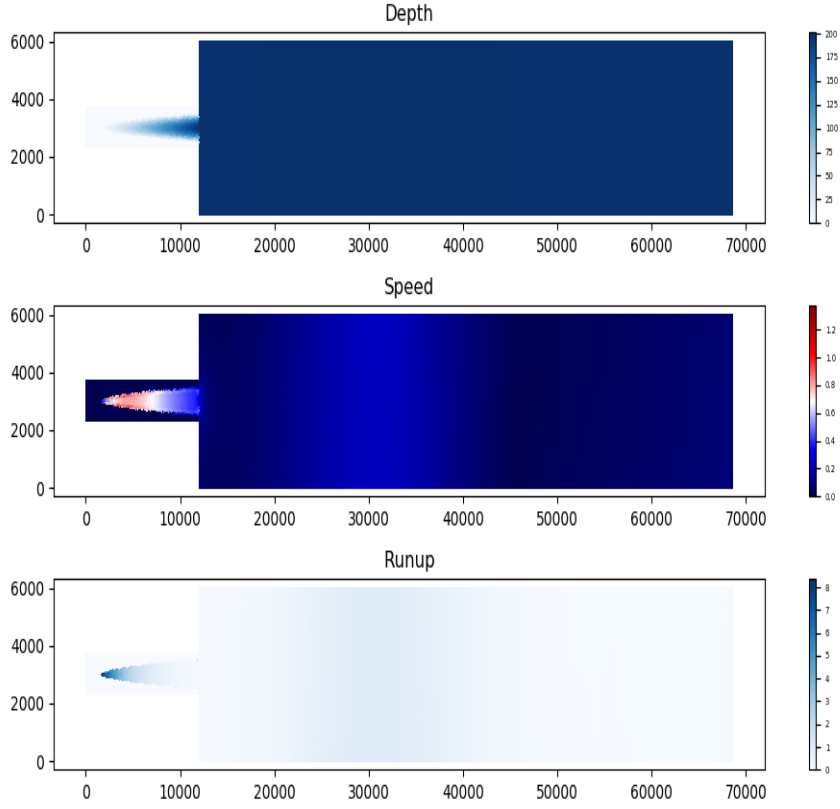
.Şekil 4.2’de maksimum tırmanma noktasının su seviyesi ile birlikte deniz seviyesinden yüksekliği (stage)-zaman grafiğine göre maksimum tırmanma başlangıç anından 18 dk sonra vuku bulmakta ve bu noktadaki – çevre noktalardan interpolasyon yoluyla üretilen- su seviyesi yaklaşık 10 cm olmaktadır. Bu notanın deniz seviyesinden yüksekliği olan 8.23 m ve üçgen örgünün hassasiyet derecesi göz önüne alındığında maksimum tırmanma noktası hemen hemen suyun ıslatmayı başarabildiği en ileri nokta olmaktadır.

Maksimum tırmanma noktasındaki hız-zaman grafiği ise su yüksekliği grafiğindeki paralel şekilde ilerler (Şekil 4.3).



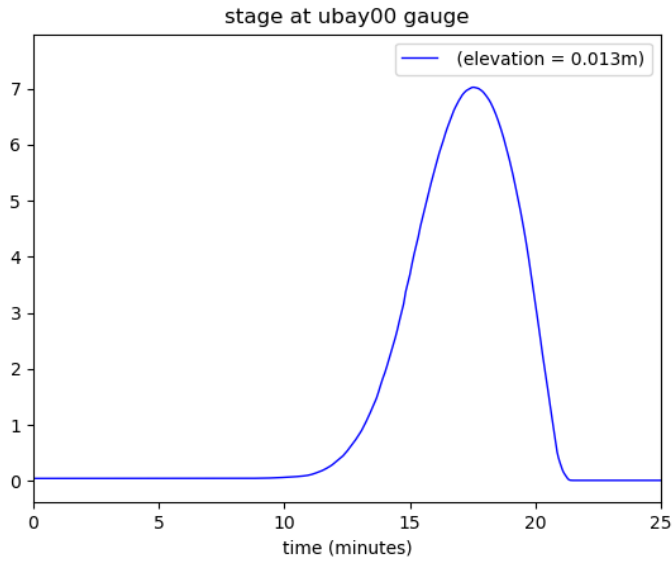
Şekil 4.3 : Maksimum tırmanma noktasında hız-zaman grafiği.

Maksimum tırmanmanın gerçekleştiği 17.8 inci dakikada tüm sistem genelinde derinlik, hız ve tüm kıyı boyunca suyun tırmanma miktarı Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Maksimum tırmanma ilk dalga tepesiyle birlikte gerçekleştiğinden körfez ağzında gerçekleşen kırılmalar ve girişimler ve açık deniz sınır koşullarından etkilenmez.



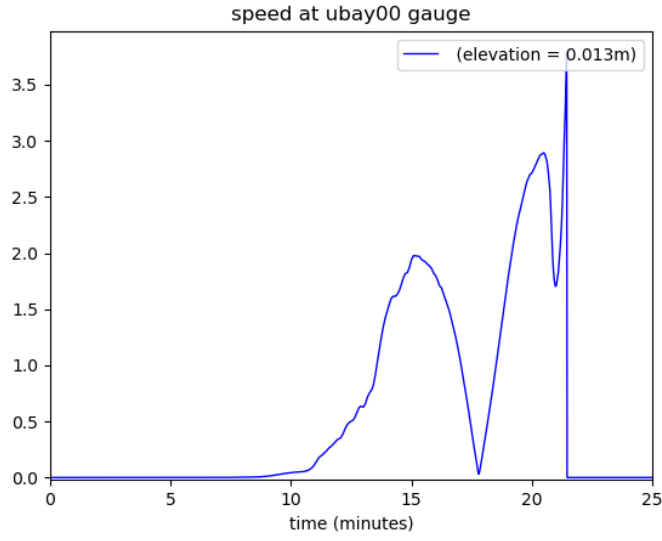
Şekil 4.4 : Maksimum tırmanma anında hız, derinlik ve tırmanma bölgeleri

Körfezin başlangıç noktasında su seviyesinin zamanla değişimi Şekil 4.5de gösterilmiştir. Körfez başlangıç noktasının rakımı 0 olduğundan bu grafik doğrudan bu noktadaki dalga yüksekliğidir. Bu noktadaki su seviyesi ayrıca dalganın karada ulaştığı en büyük dalga yüksekliği değerini verir.



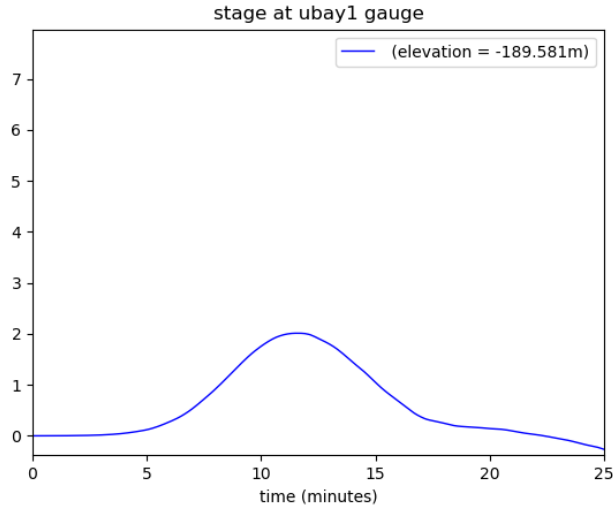
Şekil 4.5 : Körfez başlangıç noktası su seviyesi.

Körfezin başlangıç noktasındaki dalga hızının zamanla Şekil 4.6'daki gibidir. Burada yansıyan dalgalar ve ilerleyen dalgalar içiçe geçmektedir.

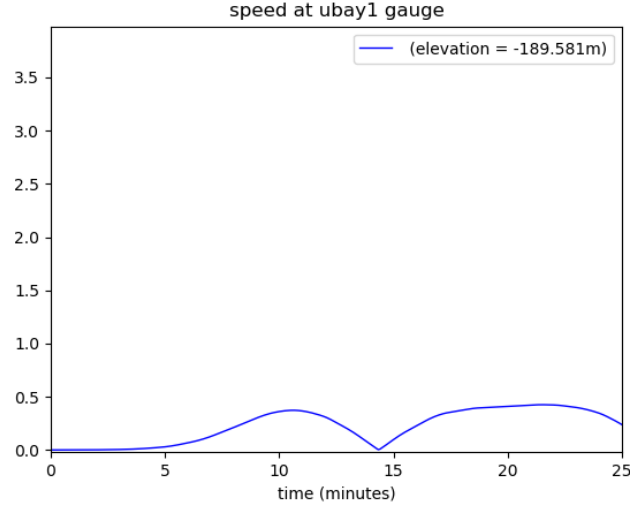


Şekil 4.6 : Körfez başlangı noktası hız zaman grafiği.

Dalga körfeze girdiği andan itibaren sığlaşma ile birlikte hızı azalmaya başlar. Örnek olarak körfezin girişinden bir miktar ileride su seviyesi zaman grafiği Şekil 4.7 ile ve hız-zaman grafiği Şekil 4.8 ile gösterilmiştir. Gauss formundaki su yükseltisi iki parçaya ayrıldıktan sonra 1 m genlikte bir atma körfeze dik doğrultuda ilerler. Yansıtıcı duvarlarda dalga tam yansımaya uğrar. Körfez ağzında daha kompleks bir yansıma ve girişim gerçekleşir.



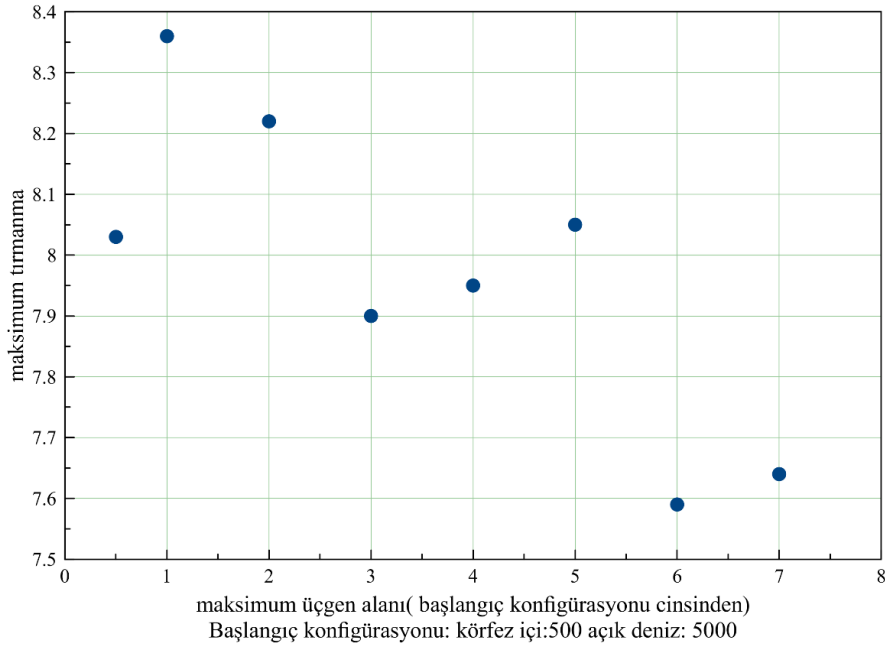
Şekil 4.7 : Körfez girişinde su yüksekliğinin zamanla değişimi (x ekseni üzerinde kadar içeride).



Şekil 4.8 : Körfez girişinde hızın zamanla değişimi.

4.1. Körfez ve açık deniz çözünürlüğünün etkisi

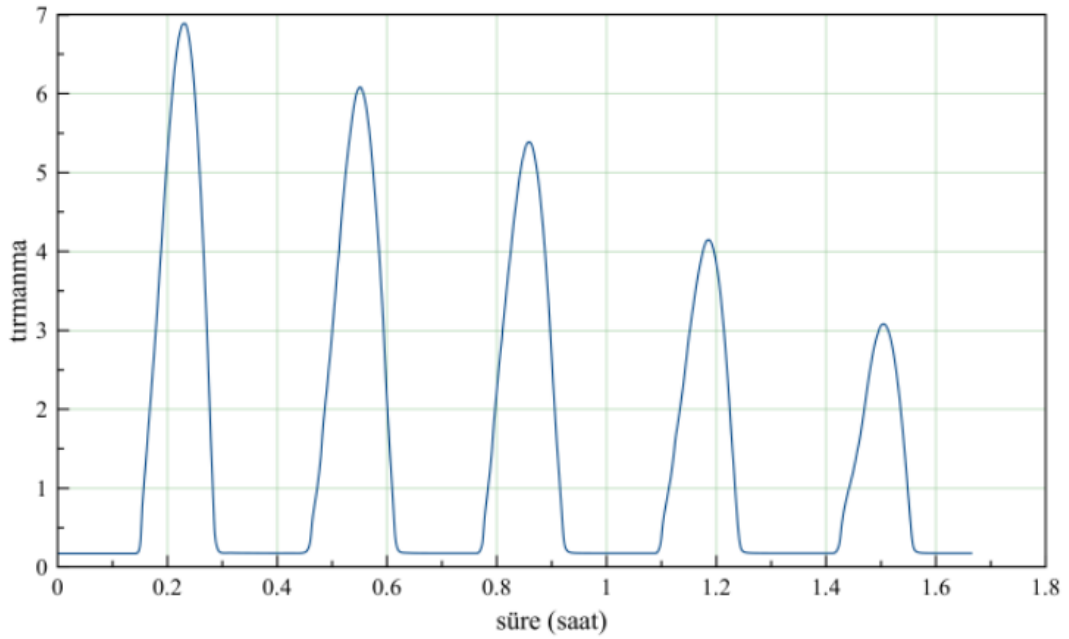
Maksimum tırmanma bölgesinde maksimum üçgen alanı olarak $50 m^2$ sabit tutularak açık deniz ve körfez örgü sıklığı düşürüldüğünde maksimum tırmanma miktarı Şekil 4.9'daki gibideğişkenlik göstermektedir. Çözünürlük değişimi hem interpolasyon noktalarındaki hassasiyeti etkilemekte hem de gelen dalganın genliğinde fark yaratmaktadır.



Şekil 4.9: Körfez ve açık denizde farklı üçgen örgü sıklığının sonuca etkisi.

4.2. Körfez ağzından yansımalar

Başlangıç koşullarında tek bir atma körfeze ilerlemekle birlikte körfez ağzındaki yansımalar dolayısıyla gittikçe enerjisi azalan bir şekilde dalga tepeleri tekrarlamaktadır.Şekil 4.10'da körfez başlangıç noktasındaki maksimum tırmanmanın zamanla grafiği verilmiştir. Buna göre ilk dalga tepesi körfez ucunda en yüksek seviyesine ulaştıktan yaklaşık 19.3 dk sonra ikinci bir dalga sahilde maksimum seviyeye ulaşır ve her seferinde genliği düşerek gelmeye devam eder.



Şekil 4.10: Yansımalar sonucu oluşan ve gittikçe enerjisi düşen atmalar. Körfez başlangıç noktasındaki dalga yüksekliğini gösterir

4.3. Körfez boyu-dalgaboyu ilişkisinin tırmanmaya etkisi

Analitik çözüm, körfez boyu-dalga boyu oranının (L/σ) tek bir değeri için üretilmekle birlikte, simülasyonlarla L/σ oranının farklı değerleri için maksimum tırmanma değerleri karşılaştırılarak maksimum tırmanmanın L/σ oranına bağımlılığı araştırılmıştır.

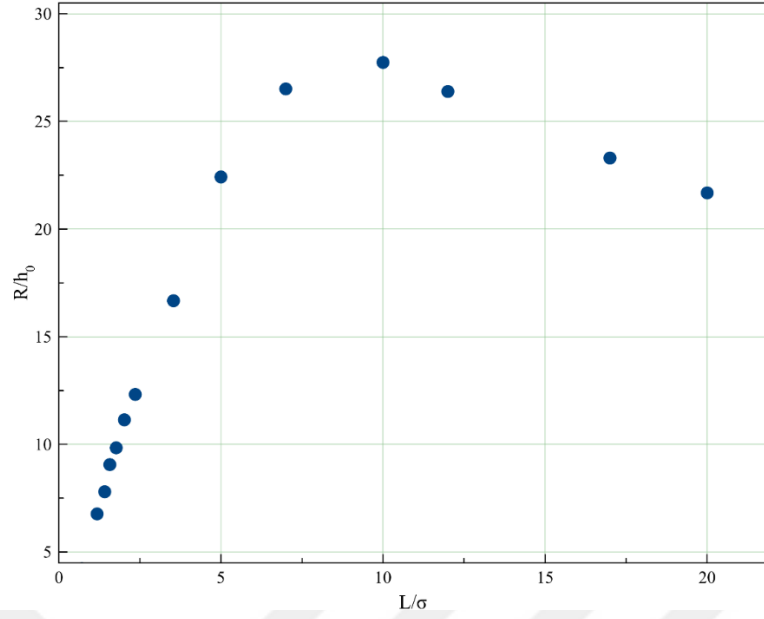
Çizelge 4.1 'de verilen simülasyonlarda farklı L/σ değerleri için maksimum tırmanma büyüklüğü, maksimum tırmanmanın y-ekseninden sapma miktarı ile birlikte karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada kanal boyu sabit tutularak σ değeri küçültülmüştür. Analitik çözümde L/σ değeri yaklaşık 1.41'dir. ubay_130 simülasyon kodu ile verilen simülasyon bu oranı kullanmıştır. Dalganın genliği maksimum

tırmanmaya hemen hemen lineer etkilediğinden karşılaştırmaya konu olarak maksimum tırmanmanın genliğe oranı (R/h_0) esas alınmıştır.

Çizelge 4.1: L/σ oranının maksimum tırmanmaya etkisi

<i>simülasyon kodu</i>	L/σ	R/h_0	<i>Körfez ekseninden sapma</i>
ubay_137	0.71	4.23	10.58
ubay_136	1.18	6.77	-0.50
ubay_130	1.41	7.80	2.85
ubay_31	1.57	9.06	-3.39
ubay_131	1.77	9.84	-2.48
ubay_33	2.02	11.14	3.14
ubay_132	2.36	12.32	0.67
ubay_133	3.54	16.67	3.14
ubay_144	5.00	22.42	2.11
ubay_142	7.00	26.51	8.80
ubay_143	10.00	27.74	3.35
ubay_145	12.00	26.39	-3.02
ubay_147	17.00	23.30	5.44
ubay_148	20.00	21.68	-0.38

Maksimum tırmanma, L/σ oranı büyüdükçe Şekil 4.11'deki gibi azalan bir oranda artmaktadır. L/σ oranı 10 de maksimum 27.7 ye ulaşmış, sonra düşme trendine girmiştir.



Şekil 4.11: L/σ ile maksimum tırmanma ilişkisi.

4.4. Sonuç

Analitik çözüm için kullanılan oranlar,

$$x_0/y_0 = 20 \quad (3.1)$$

$$x_0/\sigma = \sqrt{2} \quad (3.2)$$

şeklinde dir. Bu oranlar ile gerçekleştirilen sümülasyonlardaki maksimum tırmanma/genlik oranı diğer parametreler ile birlikte karşılaştırmalı olarak aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 4.2: Simülasyon sonuçları karşılaştırma

<i>simülasyon kodu</i>	<i>Körfez maks. üçgen alanı (m²)</i>	<i>Alan (km²)</i>	<i>Üçgen adedi</i>	<i>Körfez ekseninden sapma</i>	<i>R/G</i>
ubay_100	500	356	244,651	7.56	8.36
ubay_101	1500	157	117,169	9.30	7.90
ubay_103	1500	314	234,072	16.27	8.00
ubay_104	1500	627	467,512	-65.87	7.73
ubay_106	1000	157	132,495	-11.24	8.22
ubay_107	1500	157	117,169	9.30	7.90
ubay_108	2000	157	109,393	1.40	7.95
ubay_109	2500	157	104,945	-0.01	8.05
ubay_110	3000	157	102,026	-19.62	7.59

ubay_113	3500	157	99,780	3.97	7.64
ubay_121	250	123	168,713	6.54	8.03
ubay_15	500	125	71,854	0.37	7.69
ubay_16	100	125	271,986	8.19	7.91
ubay_17	500	125	70,138	1.53	8.43
ubay_18	1000	125	51,524	7.84	8.30
ubay_19	2000	125	26,210	-6.85	7.86
ubay_50	500	242	101,408	1.15	7.96

Baz çözünürlük ve konfigürasyonlar ile maksimum tırmanma 8.36 elde edilmektedir. x_0/σ değerinin $1/\sqrt{2}$ olduğu tüm simülasyonların R/G değeri ortalaması 7.97 elde edilmiştir. Analitik çözüm ile karşılaştırıldığında (7.69), simülasyon sonucu yaklaşık aynı sonucu vermektedir. Simülasyon sonucu ile Analitik çözümden yaklaşık %3.5 fazla çıkmıştır. Üçgenleştirmenin hassasiyet derecesi ve analitik çözümde kullanılan yakınlaştırmalar göz önüne alındığında analitik çözüm ile ANUGA simülasyonları birbirleri ile uyumludur.

Analitik çözüm üretilirken (3.1) ve (3.2) denklemleri ile verilen koşullar başta olmak üzere çeşitli yakınlaştırmalar yapılmıştır. Bu yakınlaştırmalar ile birlikte simülasyon sonuçları ile teori uyumlu çıkmaktadır.

Burada analitik çözüm için tek bir oran baz alınarak çalışılmıştır. Simülasyonlar ile analitik çözümün uyumluluğu bahsedilen kısıtlar altında, ele alınan değerler ve yakın değerleri için geçerlidir fakat uyumluluğun sınırları net değildir. L/σ değerinin tırmanma ile ilişkisinde L/σ değeri büyüdükçe çözünürlük ihtiyacı yükselmektedir. Daha yüksek L/σ değerleri için daha yüksek çözünürlüklerde çalışma tekrarlanarak analitik çözümün geçerlilik aralığı ve L/σ ilişkisini maksimum tırmanmaya etkisi daha iyi anlaşılabilir. Ayrıca ANUGA simülasyonları ile analitik çözüm farklı kanal genişlikleri ve σ değerleri için ve daha yüksek çözünürlükte tekrarlanarak analitik çözümün geçerliliğinin diğer parametrelere bağımlılığı tespit edilebilir.

KAYNAKLAR

- Altinok, Y. A.** (2003). Sarköy-Mürefte 1912 Earthquake's Tsunami, extension of the associated faulting in the Marmara Sea, Turkey. *Journal of Seismology*, 7(3), 329-346.
- Bern, M., Eppstein, D.** (1995). Mesh generation and optimal triangulation. D.-Z. Du, & F. K. Hwang içinde, *Computing in Euclidean Geometry* (s. 23-90). World Scientific.
- Flood example.** (2009, 11 13). 05 1, 2019 tarihinde https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flood_example.jpg. adresinden alındı.
- Goff, J., Dominey-Howes, D.** (2013). Tsunami. J. Shroder içinde, *Treatise on Geomorphology* (Cilt 13, s. 204-218). San Diego: Academic Press.
- Gunawan, H. P** (2015) *Numerical simulation of shallow water equations and related models* (doktora tezi) Université Paris-Est
- Ramalanjaona, G.** (2011). Impact of 2004 Tsunami in the Islands of Indian Ocean: Lessons Learned. *Emergency Medicine International*, Article ID 920813, 3 pages 201.
- Rigby, E. V.** (2008). ANUGA: A new free and open source hydrodynamic model. *Proceedings of Water Down Under 2008*. Modbury, Australia: Engineers Australia.
- Roberts, S., Nielsen, O., Gray, D., Sexton, J., & Davies, G.** (2015). *ANUGA User Manual, Release 2.0*. Canberra, Australia: Commonwealth of Australia (Geoscience Australia) and the Australian National University.
- Rybkin, A., Pelinovsky, E., Didenkulova, I.** (2014). Nonlinear wave run-up in bays of arbitrary cross-section: generalization of the Carrier-Greenspan approach. *Journal of Fluid Mechanics*, 748, 416-432.
- Sieh, K.** (2006). Sumatran Megathrust Earthquakes: From Science to Saving Lives. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 364, 1924-1963.
- Tobita, T., Iai, S. C.** (2006). Reconnaissance Report of the 2004 Great Sumatra-Andaman, Indonesia, Earthquake – Damage to Geotechnical Works in Banda Aceh and Meulaboh. *Journal of Natural Disaster Science*, 28, 35-41.
- Yaltrak, C.** (2015). Marmara Denizi ve Çevresinde Tarihsel Depremlerin Yerleri ve Anlamı. *İtü Vakfı Dergisi*, 67, s. 51-58.



EKLER

EKA: Varsayılan parametre dosyası ve kaynak kod

EBB: Simülasyon logları ve sww dosyalarından üretilmiş çıktılar CD'si





EK A

- Prosedür (u_bay_v5.py);

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""Created on Fri Apr 05 21:55:47 2019
@author: bekir
Analysis on u shaped bay
Bay equation:  $z = -a * ((x - x_k) - (X_0/Y_0^{**2}) * (y - y_k)^{**2})$ 
Bay eq. at  $x = x_0 \rightarrow z = -a * X_0(1 - y^{**2}/Y_0^{**2}) \rightarrow y = \sqrt{(z/Z_0 + 1)} * Y_0$ 

Runtime behavior altındaki adımlar true false yapılarak istenen adımlar
devre dışı bırakılabilir.

Mevcut adımlar:
- Hazırlık : Devre dışı bırakılamaz. Parametreler,
koordinatlar, değişkenler vs hesaplanır/atanır. klasör yapısı hazırlanır
- SW Kontrol : Parametre ilişkilerinin Shallow Water koşullarına
uygunluğu test edilir. Anuga her durumda SW işlettiği için atlanmsı sorun
olmaz
- Mesh yaratma : msh uzantılı dosya yaratılır. domain objesi hazırlanır.
Sistem konfigürasyonları log1 dosyasına kaydedilir
- Simülasyon : Simülasyon yürütülür. sww uzantılı dosya ve log2 dosyası
yaratılır
- Rapor : Maks runup zamanı ve konumu belirlenir. log3 e yazılır. Bu
zamana ve konuma ait ölçülebilirlerin anlık görüntüleri üretilir
- Gauge : Zamana bağlı değerleri takip edilecek noktalar belirlenir
( özelleştirilebilir) ve gauge dosyasına yazılır
- Gauge Grafik : Gauge adımıyla üretilen veya hazır verilen gauge
dosyasındaki her nokta için parametre olarak verilen değerlerin
zamanla değişimi ayrı ayrı csv dosyaları olarak üretilir.
Üretilen csv dosyalardan zamana bağlı grafikler üretilir
"""

from math import sqrt, ceil
from anuga_util.spcutil import dirStruct
import time
import anuga
import anuga_util.utility as util
import os
import sys
import defaultparams as default
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import anuga_util.animate as animate

# run_note = raw_input("Enter definitive comment to run")
# prj_suffix = raw_input("Enter suffix for run")
run_note = " sigma = L/25 .çözünürlük sabitlendi "
prj_suffix = '149'
```

```

prj_prefix = r'ubay'
# -----Runtime behaviour-----
-----#
p_cache = default.p_cache
p_verbose = default.p_verbose
p_stepCheckSW = False # default.p_stepCheckSW
p_stepMesh = True # default.p_stepMesh
p_stepSww = True # default.p_stepSww
p_stepReport = True # default.p_stepReport
p_stepGauge = True # default.p_stepGauge

p_stepGaugeChart = True # default.p_stepGaugeChart
# p_stepCheckSW = False # default.p_stepCheckSW
# p_stepMesh = True # default.p_stepMesh
# p_stepSww = True # default.p_stepSww
# p_stepReport = True # default.p_stepReport
# p_stepGauge = True # default.p_stepGauge
# p_stepGaugeChart = True # default.p_stepGaugeChart
# -----#

# -----Bay geometry-----
-----#

# Min depth of bay -at X0. !!Negative . type: float
Z0 = default.Z0

# Length of bay. type: float
X0 = default.X0

# Half-width of bay .type: float
Y0 = default.Y0

# Initial gauss shaped stage sigma value
sigmaG = default.X0 # default.sigmaG*(1./15.)

# Initial gauss stage max height ( at the center of gauss) . type: float
eta0 = default.eta0

# Friction
p_friction = default.p_friction

# Minimum storable stage
p_minimum_storable_height = default.p_minimum_storable_height
# -----#

# -----Execution parameters-----
-----#
# Flow algorithm
flow_alg = default.flow_alg

# Defult maximum triangle size (m2). type: float
max_tri_area_base = default.max_tri_area_base

```

```

# Focused area maximum triangle size (m2). type: float
max_tri_area_focus = default.max_tri_area_focus

# Inundation area maximum triangle size (m2). type: float
max_tri_area_inu = default.max_tri_area_inu

# Simulation timestep (sec)
timestep1 = default.timestep1
timestep2 = default.timestep2

# Simulation duration (sec)
duration1 = default.duration1
duration2 = default.duration2

# Approaching..
# To be used for calculating gauss stage center position gauss_x : X0 +xk
+sigmaG*infgcx
infgcx = default.infgcx
elv_max= default.elv_max

#####END OF PARAMETER
SECTION#####

# -----Define file-directory structure-----
-----#

main_output_dir = r'.' + os.sep + 'output'
# main_output_dir = r'/content/drive/My Drive/ColabSet/output/' #
@gcollab
domain_name = prj_prefix + '_' + prj_suffix
prj_output_dir = main_output_dir + os.sep + domain_name
pts_file = domain_name + '.pts'
mesh_file = domain_name + '.msh'
sww_file = domain_name + '.sww'
plot_file = domain_name + '.png'
gauge_file = domain_name + '_gauges.csv'
log1_file = domain_name + '_log01.log'
log2_file = domain_name + '_log02.log'
log3_file = domain_name + '_log03.log'
# -----#

# -----Calculations-----#
xk = ceil(-(X0 / Z0) * eta0 * elv_max ) # extra space (X direction)
yk = Y0 * 1.2 #ceil (sqrt(1 + elv_max/Z0)*Y0 )
yw = 2. * Y0 # wings width--2.---1.9
ww = default.ww # Wall width
gauss_x = xk + X0 + sigmaG * infgcx # initial gauss center coordinate
s_x = gauss_x + sigmaG * infgcx # mesh rightside x coord
s_y = 2. * (yw + Y0) # mesh rightside +y coord

bay_slope = -Z0 / X0 # Slope of bay at x=0 line. Acc. to eq.

xi = xk
yi = s_y / 2.

```

```

# -----#
# -----Check-----#

if p_stepCheckSW:
if X0 / Y0 <10:
raise Exception("X0/Y0 must bigger than 10")
if X0 / sigmaG < sqrt(2):
raise Exception("X0/sigma must equal or bigger than sqrt(2)")
if sigmaG / -Z0 <20:
raise Exception("Wavelength(sigma) must bigger than 20*Z0 ( S-W
conditions)")
if -Z0 / eta0 <20:
raise Exception("Amplitude must equal or smaller than depth/20 (S-W
conditions)")

# -----
# Functions
# -----

def gaussian(x, xmean, sigma, amplitude):
"""
    Gaussian dalga fonksiyonu. x noktasındaki y değerini üretir.
    Gauss dalgasının yarı eni 'sigma', orta noktası 'xmean' ve orta
    noktadaki yüksekliğini/genliği 'A' parametresinden alınır
    """
return amplitude * util.np.exp(-(x - xmean) ** 2. / (2. * (sigma ** 2.)))

def initial_stage(x, y):
    z = 0 * x
    n = len(x) # x koordinatındaki nokta sayısı
for i in range(n):
if gauss_x - sigmaG * 2.5 + ww <= x[i] <= gauss_x + sigmaG * 2.5 - ww: #
gauss duvara dayanması
z[i] = gaussian(x[i], gauss_x, sigmaG, eta0)
else:
    z[i] = 0
return z

def topography(x, y):
    z = 0 * x
    n = len(x)
for i in range(n):
if x[i] < X0 + xk:
    z[i] = -bay_slope * ((x[i] - xi) - (X0 / Y0 ** 2.) * (y[i] -
yi) ** 2.)
else:
    z[i] = Z0
# if X0 + xk <= x[i] <= X0 + xk +ww*3. and (y[i]>=s_y / 2 + yk or
y[i]<=s_y / 2 - yk) :
#     z[i]= 1500.
return z

# -----

```

```

-----
# Setup domain
# -----
-----

p0 = [0, s_y / 2 - yk]
# p1 = [X0 + xk - ww, s_y / 2 - yk]
p1 = [X0 + xk, s_y / 2 - yk]
p4 = [X0 + xk, 0]
p5 = [s_x, 0]
p6 = [s_x, s_y]
p7 = [X0 + xk, s_y]
# p10 = [X0 + xk - ww, s_y / 2 + yk]
p10 = [X0 + xk, s_y / 2 + yk]
p11 = [0, s_y / 2 + yk]
p12 = [xk, s_y / 2 - yk]
p13 = [xk, s_y / 2 + yk]
p14 = [X0 + xk + 10 * ww, 0]
p15 = [X0 + xk + 10 * ww, s_y]

bounding_polygon = [p0, p1, p4, p5, p6, p7, p10, p11]
boundary_tags = {'bottom': [0, 2],
'right': [3],
'top': [4, 6],
'left': [7],
'refWall': [1, 5]}

poly1 = [p0, p12, p13, p11]
poly2 = [p12, p1, p4, p14, p15, p7, p10, p13]
poly3 = [p14, p5, p6, p15]

interiors = [[poly1, max_tri_area_inu], [poly2, max_tri_area_focus],
[poly3, max_tri_area_base]]

#####STEP-1 Mesh Creation#####
if p_stepMesh:
    dirStruct(domain_name)
    domain = anuga.create_domain_from_regions(bounding_polygon,
                                              boundary_tags,
                                              maximum_triangle_area=max_tri_area_base,
                                              mesh_filename=prj_output_dir + os.sep + mesh_file,
                                              interior_regions=interiors,
                                              use_cache=p_cache,
                                              verbose=p_verbose)
    domain.set_name(domain_name)
    domain.set_datadir(prj_output_dir)
    domain.set_flow_algorithm(flow_alg)
    domain.set_minimum_storable_height(p_minimum_storable_height)
    domain.set_quantity('elevation', topography, location='vertices')
    domain.set_quantity('friction', p_friction)
    domain.set_quantity('stage', initial_stage)

# -----
Br = anuga.Reflective_boundary(domain) # Solid reflective wall
Bt = anuga.Transmissive_boundary(domain) # Continue all values on
boundary

```

```

Bs = anuga.Transmissive_stage_zero_momentum_boundary(domain)
Bd = anuga.Dirichlet_boundary([-0.2, 0., 0.]) # Constant boundary
values
# Bw = anuga.Time_boundary(domain=domain, # Time dependent boundary
#                             function=lambda t: [(sin(t * pi / 20) -
0.2), 0.0, 0.0])
# Bw =
anuga.Transmissive_n_momentum_zero_t_momentum_set_stage_boundary(
domain=domain,
#     function=lambda t: [ 2, 0, 0])
Bw = anuga.Transmissive_n_momentum_zero_t_momentum_set_stage_boundary(
domain=domain,
function=lambda t: [(0 < t < 3660) * 10, 0, 0])

    domain.set_boundary({'left': Bt, 'right': Bt, 'top': Bt, 'bottom': Bt,
\
'refWall': Br})
# domain.set_quantities_to_be_monitored('stage-elevation', polygon=None,
time_interval = None)

    # Log section. Record important parameters

log1 = open(prj_output_dir + os.sep + log1_file, "w+")

    util.printlog(
"X0;Y0;Z0;sigma;eta0;max_tri_area_base;max_tri_area_focus;max_tri_area_inu
;timestep2;flow_alg;Area;s_x;s_y;TriangCnt",
    log1)
    util.printlog(str(X0) + ";" + str(Y0) + ";" + str(-Z0) + ";" +
str(sigmaG) + ";" + str(eta0 / 2.) + ";" + \
str(max_tri_area_base) + ";" + str(max_tri_area_focus) + ";" +
str(max_tri_area_inu) + ";" + str(
    timestep2) + ";" + \
str(flow_alg) + ";" + str(anuga.polygon_area(bounding_polygon) /
1000000.0) + ";" + \
str(s_x) + ";" + str(s_y) + ";" + str(str(len(domain))), log1)
    util.printlog("Notes :" + run_note, log1)
    util.printlog("Main parameters ;", log1)
    util.printlog("    Bay length (X0)           : " + str(X0), log1)
    util.printlog("    Bay width (Y0)            : " + str(Y0), log1)
    util.printlog("    Open sea depth(Z0)           : " + str(Z0), log1)
    util.printlog("    Gauss wave sigma          : " + str(sigmaG), log1)
    util.printlog("    Gauss amplitude(A/2)       : " + str(eta0 / 2.), log1)
    util.printlog("    Bay toe (x,y_up,y_down): " + str(xi + X0) + "," +
str(yi + Y0) + "," + str(yi - Y0), log1)
    util.printlog("Boundaries ;", log1)

for b in domain.boundary_map:
    util.printlog('    ' + b + ' : ' +
domain.boundary_map[b].__repr__(), log1)
    util.printlog("Timestep           : " + str(timestep1) + "-->" +
str(timestep2), log1)
    util.printlog("Simulation time       : " + str(duration1) + "-->" +
str(duration2), log1)
    util.printlog("Algorithm              : " + flow_alg, log1)

```

```

        util.printlog("Mesh coords;", log1)
        util.printlog(bounding_polygon.__str__(), log1)
        util.printlog("Bay start coords      :" + " (" + str(xi) + " , " +
str(yi) + ")", log1)
        util.printlog("Gauss initial x coord :" + str(gauss_x), log1)
        util.printlog("X0/Z0      :" + str(abs(Z0) / X0), log1)
        util.printlog(" Mesh ;", log1)
        util.printlog("   length x width      :" + str(s_x) + " x " + str(s_y),
log1)
        util.printlog("   area (km2)          :" +
str(anuga.polygon_area(bounding_polygon) / 1000000.0), log1)
        util.printlog("   max triangle base  :" + str(max_tri_area_base),
log1)
        util.printlog("   max triangle focus  :" + str(max_tri_area_focus),
log1)
        util.printlog("   max triangle inund  :" + str(max_tri_area_inu), log1)
        util.printlog("   triang. cnt      :" + str(len(domain)), log1)
        util.printlog("   extends          :" + str(domain.get_extent()),
log1)
        util.printlog(domain.statistics(), log1)
        log1.close()

#####STEP-2 Simulation#####
if p_stepSWW:

    tIndice, tCentroide, tVertex =
util.triangCoversPoint(domain.edgelenhts, domain.centroid_coordinates,
domain.vertex_coordinates, xi, yi)
    log1 = open(prj_output_dir + os.sep + log1_file, "a")
    log2 = open(prj_output_dir + os.sep + log2_file, "w+")
    util.printlog("time(sn); t ; stage at bay toe ; maks inund ; maks
inund coord (x,y) :" + " \n", log2)
    t1 = time.time()

for t in domain.evolve(yieldstep=timestep1, finaltime=duration1):
print domain.timestepping_statistics()
for t in domain.evolve(yieldstep=timestep2, finaltime=duration2):
print t
    delta_t = str(time.time() - t1) # her bir adımın çalışma süresi
t1 = time.time()
    util.printlog(domain.timestepping_statistics(), log1)
    log1.close()
    log2.close()

#####STEP-3 Extract Summary#####

if p_stepReport:
    splotter = animate.SWW_plotter(prj_output_dir + os.sep + sww_file)

# max inund
max_runup = np.where(splotter.depth >0, splotter.stage, 0).max()

```

```

    idx_max_runup = np.unravel_index(np.where(splotter.depth > 0,
splotter.stage, 0).argmax(), splotter.stage.shape)
    max_r_x = splotter.xc[idx_max_runup[1]]
    max_r_y = splotter.yc[idx_max_runup[1]]
    max_r_time = splotter.time[idx_max_runup[0]]

    log3 = open(prj_output_dir + os.sep + log3_file, "w+")
    util.printlog("max runup      :" + str(max_runup), log3)
    util.printlog("max runup loc  :" + str(max_r_x) + " , " +
str(max_r_y), log3)
    util.printlog("max runup time :" + str(max_r_time), log3)

    log3.close()
# Plot Depth and Speed at the max runup time
fig, (ax1, ax2, ax3) = plt.subplots(nrows=3, ncols=1, figsize=(10, 6))

    splotter.triang.set_mask(None)
    c1 = ax1.tripcolor(splotter.triang,
facecolors=splotter.depth[idx_max_runup[0], :],
cmap='Blues')
    c1bar = plt.colorbar(c1, ax=ax1)
    c1bar.ax.tick_params(labelsize=5)
    ax1.set_title("Depth")

    splotter.triang.set_mask(None)
    c2 = ax2.tripcolor(splotter.triang,
facecolors=splotter.speed[idx_max_runup[0], :],
cmap='seismic')
    c2bar = plt.colorbar(c2, ax=ax2)
    c2bar.ax.tick_params(labelsize=5)
    ax2.set_title("Speed")

    splotter.triang.set_mask(None)
    c3 = ax3.tripcolor(splotter.triang,
facecolors=np.where(splotter.depth[idx_max_runup[0], :] > 0,
splotter.stage[idx_max_runup[0], :],
splotter.depth[idx_max_runup[0], :]),
cmap='Blues')
    c3bar = plt.colorbar(c3, ax=ax3)
    c3bar.ax.tick_params(labelsize=5)
    ax3.set_title("Runup")
    fig.tight_layout()
    fig.savefig(prj_output_dir + os.sep + plot_file)

    plt.close()

#####STEP-4 Generate Master Gauge File#####
if p_stepGauge:
import csv

    gaugefile = open(prj_output_dir + os.sep + gauge_file, 'wb+')
    gauge_writer = csv.writer(gaugefile, delimiter=',', quotechar='"',
quoting=csv.QUOTE_MINIMAL)

```

```

maxr_elv = bay_slope * ((max_r_x - xi) - (X0 / Y0 ** 2.) * (max_r_y -
yi) ** 2.)

gauge_writer.writerow(['easting', 'northing', 'name', 'elevation'])
gauge_writer.writerow([max_r_x, max_r_y, 'maxrunup', 0.]) #
maxr_elv])
gauge_writer.writerow([xi, yi, 'bay00', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0, yi, 'baymouth', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 - Y0, yi, 'bay_i01', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + Y0, yi, 'bay_i02', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + sigmaG, yi, 'm1', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + sigmaG, yi * 1.2, 'm2', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + sigmaG, yi * 1.4, 'm3', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + sigmaG, yi * 1.6, 'm4', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + sigmaG, yi * 1.8, 'm5', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + sigmaG, yi * 1.9, 'm6', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + sigmaG, yi * 1.98, 'm7', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + 2.6 * sigmaG, yi, 'n1', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + 2.6 * sigmaG, yi * 1.2, 'n2', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + 2.6 * sigmaG, yi * 1.4, 'n3', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + 2.6 * sigmaG, yi * 1.6, 'n4', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + 2.6 * sigmaG, yi * 1.8, 'n5', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + 2.6 * sigmaG, yi * 1.9, 'n6', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + 2.6 * sigmaG, yi * 1.98, 'n7', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + 0.4 * sigmaG, yi, 'p1', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + 0.4 * sigmaG, yi * 1.2, 'p2', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + 0.4 * sigmaG, yi * 1.4, 'p3', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + 0.4 * sigmaG, yi * 1.6, 'p4', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + 0.4 * sigmaG, yi * 1.8, 'p5', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + 0.4 * sigmaG, yi * 1.9, 'p6', 0.])
gauge_writer.writerow([xi + X0 + 0.4 * sigmaG, yi * 1.98, 'p7', 0.])

gaugefile.close()

#####STEP-5 Generate Gauge Files#####
if p_stepGaugeChart:
    anuga.sww2csv_gauges(prj_output_dir + os.sep + sww_file,
                        prj_output_dir + os.sep + gauge_file,
                        domain_name + '_gauge_',
                        quantities=['stage', 'speed', 'elevation'],
                        verbose=True)
    if os.path.isfile('points_boundary.png'):
        os.rename('points_boundary.png', prj_output_dir + os.sep +
domain_name + '_points_boundary.png')
    if os.path.isfile('points_boundary_out.png'):
        os.rename('points_boundary_out.png', prj_output_dir + os.sep +
domain_name + '_points_boundary_out.png')
    import pylab

    anuga.csv2timeseries_graphs(directories_dic={prj_output_dir + os.sep:
[r'', 0, 0]},
output_dir=prj_output_dir + os.sep + 'gauges' + os.sep,
base_name=domain_name + '_gauge_',
plot_numbers='',
quantities=['stage', 'speed', 'elevation'],
extra_plot_name='',
assess_all_csv_files=True,
create_latex=False,

```

```
verbose=True)

print "Executions:"
print "S-W Conditions Check      :" + p_stepCheckSW.__str__()
print "Mesh generation           :" + p_stepMesh.__str__()
print "Simulation                  :" + p_stepSWW.__str__()
print "Report                      :" + p_stepReport.__str__()
print "Generate master gauge      :" + p_stepGauge.__str__()
print "Generate gauges+charts     :" + p_stepGaugeChart.__str__()
```



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad :Ebubekir Çelik
Doğum Tarihi ve Yeri : 1980-Erzurum
E-posta :bekir.celik@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2006, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** :2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Fizik Mühendisliği