

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAHTALI BARAJININ YIKILMASI
DURUMUNDA OLUŞACAK TAŞKIN
DALGALARININ MODELLENMESİ

Hadi PAKNIYAT

Aralık, 2015

İZMİR

**TAHTALI BARAJININ YIKILMASI
DURUMUNDA OLUŞACAK TAŞKIN
DALGALARININ MODELLENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik - Hidroloji ve Su Kaynakları
Programı**

Hadi PAKNIYAT

Aralık, 2015

İZMİR

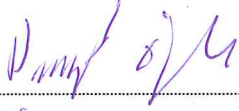
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

HADİ PAKNIYAT, tarafından DOÇ. DR. BİROL KAYA yönetiminde hazırlanan “TAHTALI BARAJININ YIKILMASI DURUMUNDA OLUŞACAK TAŞKIN DALGALARININ MODELLENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



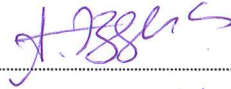
Doç. Dr. Birol KAYA

Yönetici



Prof. Dr. Davut ÖZDAĞLAR

Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Ayşegül Özperçin Aksoy

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince çok değerli bilgileri, görüşleri ve tecrübesinden faydalandığım, lisansüstü eğitimim boyunca bana sabır gösteren danışman hocam Doç. Dr. Birol KAYA'ya, tezin son şeklini almasında görüş ve önerileriyle önemli katkılarda bulunan Prof.Dr. Davut ÖZDAĞLAR'a, hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Kübra AYYILDIZ'a ve hayatım boyunca her türlü desteği benden esirgemeyen aileme teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Tez çalışmalarımı, KB FEN 020 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi ile destekleyen Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Hadi PAKNIYAT

TAHTALI BARAJININ YIKILMASI DURUMUNDA OLUŞACAK TAŞKIN DALGALARININ MODELLENMESİ

ÖZ

Barajlar en başta içme suyu temin etmek için, ziraat ve sanayi için su temin etmek, taşkınlardan korunmak ve elektrik enerjisi üretmek için yapılan önemli su yapılarıdır.

Her ne kadar barajlar oldukça güvenli yapılar olsa da, Baraj üzerinden su aşmasına, uygun olmayan dolu savak tasarımı, kütük veya baraj tepesinin oturması gibi nedenler baraj yıkılmasına neden olabilmektedir. Baraj yıkılması sonucu oluşabilecek taşkınların modellenmesiyle oluşabilecek zararların en aza indirilmesine yönelik önlemler alınabilir.

Eskiden yapılan baraj yıkılma çalışmalarında barajın aniden yıkıldığı farz edilirdi. Bunun nedeni matematiksel olarak bu yaklaşımın basit olmasıydı ve bu yaklaşım betonarme kemer barajlar için doğru bir yaklaşımdı. Ancak son yapılan çalışmalarda kısmi ve tedrici yıkılmaların farz etmesi öne geçmiştir.

Tahtalı Barajının yıkılma analizinde kullanılan program FLOW-3D'dir. FLOW 3D sıvı ve gazların dinamik davranışları iki ve üç boyutlu olarak modelleyen ve inceleyen bir akışkanlar mekaniği yazılımıdır. Serbest yüzey akım problemlerinin çözümünde sonlu hacimler yöntemi kullanan ideal bir programdır. Hidrolik problemleri tasarım sorunlarını geniş bir açıda ele alır. Hidroelektrik santrallerinin modellenmesi, balık geçitleri dizaynı, oyulma ve birikim analizi, hava sürüklenme değerleri gibi geniş bir açıyla ilgilenir. Proje kapsamında Dalga hareketlerinin Flow 3D' nin kendi çizim katı modeli oluşturulmuş, ve problemin çözümüne uygun hale getirilmiştir Model üzerinde akım sınırları belirlenmiş, akışkan tanımlanmış sınır koşulları uygun fiziksel özellikler girildikten sonra program simülasyonu çalıştırılarak, elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Baraj yıkılması, Tahtalı barajı, yıkılma analizi, Flow-3D

MODELING OF FLOODWAVE OCCURED THE TAHTALI DAM FAILURE

ABSTRACT

In the first place dams are water structures that supply drinking water, supply water for agriculture and industry, protection from flood and for generating electrical energy. Although dams are fairly safe, exceeding water over the dam, improper design of spillway, sitting of the dam crest, such reasons can lead to dam failure.

By modeling the flooding occur as a result of a dam failure, the damage that may occur can reduce to minimum by measures. In the past, the dam demolition work is assumed that the dam was suddenly destroyed. The reason for this was that it was mathematically simple, this approach was the right approach for reinforced concrete arch dam. However, recent studies is assumed as partial and gradual dam failure.

The program used to analyze the collapse of Tahtalı Dam is FLOW-3D. FLOW-3D is a fluids mechanics software that modeling two and three dimensional of dynamic behavior of liquids and gases. FLOW-3D is an ideal program for solving free surface flow problems using finite volume method. The hydraulic problems of design problems are taken at an obtuse angle. Modeling of hydro power plants, design of fish passage, scour and deposition analysis, air entrainment values are samples of a wide angle that it deals with.

In project scope, Wave movement are created in FLOW-3D's own drawings and has been adapted to solve the problem and on the model current limits are determined, fluid defined by boundary conditions, after entering the appropriate physical properties, by running simulation of the program, obtained results were examined.

Keywords: Dam failure, Tahtalı dam, dam failure analyze, Flow-3D

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1
1.2 Araştırma Materyali ve Yöntemi.....	2
1.3 İlgili Literatürün Işığında Projenin Yeri.....	4
BÖLÜM İKİ - BARAJ YIKILMASI	5
2.1 Baraj Yıkılmasının Nedenleri.....	5
2.2 Dünyada Meydana Gelen Önemli Baraj Yıkılmaları.....	5
BÖLÜM ÜÇ - KONU İLE İLGİLİ MEVCUT ÇALIŞMALAR	7
BÖLÜM DÖRT - TAHTALI BARAJI	15
4.1 Tahtalı Barajın Özellikleri.....	15
4.2 Barajın Su Alma Yapısı ve Pompa İstasyonu	16
4.3 Baraj Gölünün Su Kalitesi.....	18
4.4 İletim Boru Hattı	19

4.5 İçme Suyu Arıtma Tesisi.....	20
4.6 Havalandırma Ünitesi.....	20
4.7 Klorlama.....	21
4.8 Kimya Binası.....	22
4.9 Kimyasal Dozlama ve Hızlı Karıştırma	22
4.10 Durultucular	22
4.11 Filtre Ünitesi.....	23
4.12 Çamur Susuzlaştırma Ünitesi	25
4.13 Tesislerin İşletilmesi	26
BÖLÜM BEŞ - SAYISAL ÇÖZÜM.....	27
5.1 Navier-Stokes Denklemleri.....	28
5.2 Saint-Venant Denklemleri (Sığ Su Denklemleri).....	30
5.3 Saint-Venant Denklemlerinin Elde Edilmesi	32
BÖLÜM ALTI - FLOW-3D	34
6.1 FLOW-3D Yazılımı	34
6.1.1 k- ε Türbülans Modeli	39
BÖLÜM YEDİ - TAHTALI BARAJININ FLOW3D İLE MODELLENMESİ	41
7.1 Modelleme.....	41
7.2 FLOW-3D’de Modelleme	49
7.3 Analiz	55

BÖLÜM SEKİZ - SONUÇLAR..... 101

KAYNAKLAR 103



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 4.1 Tahtalı Barajı	15
Şekil 4.2 Tahtalı Barajı su alma yapısı	18
Şekil 4.3 Tahtalı Barajı su alma yapısı içindeki pompa üniteleri	18
Şekil 4.4 Tahtalı Barajı havalandırma kaskatları	21
Şekil 4.5 Tahtalı Barajı durultucu havuzları	23
Şekil 4.6 Tahtalı barajı filtre havuzları	24
Şekil 6.1 Bir hesaplama hücresine etkiyen değişkenlerin gösterimi.....	33
Şekil 7.1 Flow-3D'ye aktarılmış arazi topoğrafyası	40
Şekil 7.2 Flow-3D'ye aktarılmış arazi topoğrafyası ve yerleşim yerleri	41
Şekil 7.3 Flow-3D'ye aktarılmış arazi topoğrafyası ve yerleşim yerleri barajın arkasından.....	41
Şekil 7.4 Sketch-up programında topoğrafya ve baraj.....	42
Şekil 7.5 Sketch-up programının başlangıç sayfası	43
Şekil 7.6 Sketch-up programında Add Location penceresi.....	43
Şekil 7.7 Sketch-up programında Add Location penceresi.....	44
Şekil 7.8 Sketch-up programında Add Location penceresi.....	45
Şekil 7.9 Sketch-up programında Tahtalı barajın iki boyutlu görünümü.....	45
Şekil 7.10 Sketch-up programında Tahtalı barajın üç boyutlu görünümü	46
Şekil 7.11 Sketch-up programında File sekmesi.....	47
Şekil 7.12 Sketch-up programında STL Export penceresi.....	47
Şekil 7.13 Geometry files penceresi	48
Şekil 7.14 FLOW-3D programında Simulation Manager Penceresi	49
Şekil 7.15 FLOW-3D programında Meshing & Geometry sekmesi.....	50
Şekil 7.16 FLOW-3D programında Tahtalı barajı ve etrafındaki araziler	52
Şekil 7.17 FLOW-3D programında modellemenin son halı	53
Şekil 7.18 FLOW-3D Programında arazi topoğrafyası, baraj gövdesi ve membasındaki su kütlesi.....	54
Şekil 7.19 FLOW-3D programında barajın yıkılması.....	55
Şekil 7.20 FLOW-3D programında barajın yıkılmasından hemen sonra su kütlesinin ilerleyişi.....	55

Şekil 7.21 FLOW-3D programında barajın yıkılmasından bir süre sonra su kütlelerinin ilerleyişi.....	56
Şekil 7.22 FLOW-3D programında barajın tamamen yıkılmasından sonra suyun altına giden araziler	56
Şekil 7.23 Ortalama su derinlikleri göstermek için bölgenin bölümlendirmesi	57
Şekil 7.24 Taşkından etkilenen alanların görünümü.....	59
Şekil 7.25 Taşkından etkilenen alanların görünümü farklı zamanlarda.....	60
Şekil 7.26 Analiz sonuçlarını değerlendirmek için bölgede seçilen noktalar	60
Şekil 7.27 1 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi.....	63
Şekil 7.28 2 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi.....	63
Şekil 7.29 3 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi.....	63
Şekil 7.30 4 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi.....	64
Şekil 7.31 5 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi.....	64
Şekil 7.32 6 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi.....	64
Şekil 7.33 7 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi.....	65
Şekil 7.34 8 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi.....	65
Şekil 7.35 9 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi.....	65
Şekil 7.36 10 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi.....	66
Şekil 7.37 11 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi.....	66
Şekil 7.38 12 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi.....	66
Şekil 7.39 13 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi.....	67
Şekil 7.40 14 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi.....	67
Şekil 7.41 15 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi.....	67
Şekil 7.42 16 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi.....	68
Şekil 7.43 Farklı noktadaki zamana göre suyun derinliği.....	68
Şekil 7.44 Farklı noktadaki zamana göre suyun hızı	69
Şekil 7.45 Sahile kadar gelen suyun derinliği farklı bölgelerde	70
Şekil 7.46 Sahile kadar gelen suyun hızı farklı bölgelerde.....	70
Şekil 7.47 Suyun ilerleyişini incelemek için seçilen hat.....	71
Şekil 7.48 Su derinliği ve hız 100. saniyede	72
Şekil 7.49 Su derinliği ve hız 200. saniyede	72
Şekil 7.50 Su derinliği ve hız 300. saniyede	73

Şekil 7.51 Su derinliği ve hız 400. saniyede	73
Şekil 7.52 Su derinliği ve hız 500. saniyede	74
Şekil 7.53 Su derinliği ve hız 600. saniyede	74
Şekil 7.54 Su derinliği ve hız 700. saniyede	75
Şekil 7.55 Su derinliği ve hız 800. saniyede	75
Şekil 7.56 Su derinliği ve hız 900. saniyede	76
Şekil 7.57 Su derinliği ve hız 1000. saniyede	76
Şekil 7.58 1 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi	79
Şekil 7.59 2 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi	79
Şekil 7.60 3 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi	80
Şekil 7.61 4 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi	80
Şekil 7.62 5 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi	81
Şekil 7.63 6 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi	81
Şekil 7.64 7 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi	82
Şekil 7.65 8 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi	82
Şekil 7.66 1 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi	85
Şekil 7.67 2 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi	85
Şekil 7.68 3 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi	86
Şekil 7.69 4 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi	86
Şekil 7.70 5 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi	87
Şekil 7.71 6 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi	87
Şekil 7.72 7 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi	88
Şekil 7.73 8 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi	88
Şekil 7.74 1 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda derinliğin zamana göre değişimi	89
Şekil 7.75 1 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda hızın zamana göre değişimi ..	89
Şekil 7.76 2 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda derinliğin zamana göre değişimi	91
Şekil 7.77 2 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda hızın zamana göre değişimi ..	91
Şekil 7.78 3 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda derinliğin zamana göre değişimi	92
Şekil 7.79 3 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda hızın zamana göre değişimi ..	92

Şekil 7.80 4 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda derinliğin zamana göre değişimi	93
Şekil 7.81 4 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda hızın zamana göre değişimi ..	93
Şekil 7.82 5 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda derinliğin zamana göre değişimi	94
Şekil 7.83 5 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda hızın zamana göre değişimi ..	94
Şekil 7.84 6 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda derinliğin zamana göre değişimi	95
Şekil 7.85 6 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda hızın zamana göre değişimi ..	95
Şekil 7.86 7 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda derinliğin zamana göre değişimi	96
Şekil 7.87 7 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda hızın zamana göre değişimi ..	96
Şekil 7.88 8 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda derinliğin zamana göre değişimi	97
Şekil 7.89 8 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda hızın zamana göre değişimi ..	98
Şekil 7.90 Mevcut veri setleri için kritik Derinlik-Hız çarpımının dağılımı.....	99

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Çeşitli ülkelerde meydana gelen bazı önemli baraj yıkılmaları.....	6
Tablo 7.1 Şekil 7.23’te görülen bölgelerdeki su derinlikleri	58
Tablo 7.2 Derinliğin zamana göre değişimi	61
Tablo 7.3 Derinliğin zamana göre değişimi	61
Tablo 7.4 Hızın zamana göre değişimi	62
Tablo 7.5 Hızın zamana göre değişimi	62
Tablo 7.6 Derinliğin zamana göre değişimi	77
Tablo 7.7 Hızın zamana göre değişimi	78
Tablo 7.8 Derinliğin zamana göre değişimi	83
Tablo 7.9 Hızın zamana göre değişimi	84

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Barajlar içme ve kullanma suyu temini, enerji üretimi, taşkın kontrolü vs. gibi amaçlarla yapılan önemli su yapılarıdır ve baraj hazneleri büyük miktarlarda suyu depolamaktadır. Çeşitli nedenlerle söz konusu olabilecek baraj yıkılması durumunda haznedeki su kütlesi kontrolsüz bir taşkın dalgası şeklinde mansapta dere yatağında büyük bir hızla ilerleyerek yerleşim yerlerinin su altında kalmasına, tarım alanlarının tamamen tahrip olmasına, tesislerin kullanılamaz hale gelmesine neden olabilmekte, ekonomik anlamda ciddi zararlar ve can kayıpları ortaya çıkabilmektedir.

Her ne kadar barajlar oldukça güvenli yapılar olsa da, temel problemleri, şev kayması, heyelanlar, zemin sıvılaşması, haznede oluşabilecek toprak kaymaları gibi nedenler baraj yıkılmasına neden olabilmektedir.

Devlet Su İşleri tarafından, yıkılması halinde mansabında ciddi sorunlar yaratacak olma olasılıklarına göre ülkemizdeki belirli büyüklükteki barajlar sınıflandırıldığında, %42'sinin en yüksek risk derecesinde, %43'ünün de önemli risk derecesine sahip olduğu belirlenmiştir. İncelenen barajların %85'inin çok yüksek ve yüksek riskli barajlar sınıfında olduğu görülmektedir (Sezer, 1992). Baraj yıkılması sonucu oluşabilecek taşkınların modellenmesiyle oluşabilecek zararların en aza indirilmesine yönelik önlemler alınabilir. Dolayısıyla bu taşkınların modellenmesi önemli yararlar sağlamaktadır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Baraj yıkılması sık rastlanan bir olay olmamakla birlikte gerçekleştiğinde ciddi can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir. 1975 yılında Amerika'da hazırlanan ve 50000 kadar küçük ve büyük barajın incelendiği bir baraj envanter çalışmasına göre bu ülkede 20 000 kadar baraj, buldukları konum itibariyle yıkılma halinde mal ve can kaybına yol açacak durumdadırlar. Ülkemizde de 31.12.2000 itibariyle DSİ işletmede olan baraj ve hidroelektrik santrallerin (HES) sayısını 241 olarak vermekte

ve halen 112 adet baraj ve HES'in inşası sürmektedir (İZSU, 2001). Mevcut hidroelektrik potansiyelimizi kullanabilmek için planlama aşamasında olan en az 350 HES daha bulunmaktadır. Dolayısıyla baraj yıkılması problemi üzerinde çalışılması ve yıkılma senaryolarının hazırlanarak gerekli önlemlerin planlanmasında yarar vardır.

Farklı baraj yıkılma senaryoları oluşturularak, ortaya çıkacak taşkınların modellenmesiyle mansapta önceden belirlenen yerlerdeki taşkın debilerinin ve su yüzü kotlarının belirlenmesi, taşkın dalgasının herhangi bir bölgeye ulaşma zamanının tahmin edilmesi, taşkın altında kalma olasılığı en yüksek bölgelerin belirlenmesi, taşkın altında kalacağı tahmin edilen alanların haritalarının çıkarılması ve bu alanlarda yerleşim yerlerinin ve nüfusun belirlenerek gerektiğinde bu alanlarda yaşayanların tahliyesi için planlamaların yapılması söz konusu olabilecektir.

Ülkemizde yüksek risk taşıyan çok sayıda baraj olmasından dolayı bu çalışmaların önemi daha da artmaktadır. Barajların fiziksel özellikleri, barajın yer aldığı bölgelerin jeolojileri, havzanın hidrolojik özellikleri, topoğrafyaları farklı olduğu için bu çalışmaların her bir baraj için ayrı ayrı yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada Tahtalı barajı barajının yıkılma analizleri yapılacaktır. Tahtalı barajını mansabında tarım alanları, Gümüldür ilçesi ve sahilde siteler yer almaktadır. Barajın yıkılması durumunda ciddi can ve mal kayıpları yaşanması mümkündür. Bu çalışmada, Tahtalı barajının yıkılması sonucu oluşacak taşkın yerleşim alanlarına ulaşma süreleri, su derinlikleri belirlenecek ve alınacak önlemlerin planlanmasında oldukça önemli yararlar sağlayacaktır.

1.2 Araştırma Materyali ve Yöntemi

Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu'nun (International Commission on Large Dams, ICOLD) 1973 yılında sunduğu bir rapora göre tüm baraj yıkılmalarının %38'i dolu savak kapasitesi yetersiz olduğu için suyun baraj üzerinden aşması nedeni ile ya da dolu savağın şiddetli yağışlardan gelen aşırı su karşısında yıkılması yüzünden oluşmaktadır. Yıkılan barajların %33'ü ise baraj gövdesinde oluşan

borulanma ya da sızma tarafından yıkılmaktadır. Diğer taraftan %23'lük gibi bir kısmının yıkılma nedeni olarak temel problemleri, şev kaymaları, heyelanlar, deprem kaynaklı zemin sıvılaşması ya da rezervuarlarda toprak kaymaları sonucu oluşan büyük dalgalar gösterilmektedir. Amerika Birleşik Devletlerinde 1970'li yıllarda oluşan Buffalo Creek Coal-Waste Barajı, Teton Barajı, Toccoa Barajı ve Laurel Run Barajı yıkılmaları bu ülkede dikkatlerin baraj yıkılma konusuna yönelmesine neden olmuştur. Bu konuda 70'li yıllarda başlayan ve günümüze dek süren ciddi çalışmalar yapılmış ve halen devam etmektedir (Bozkuş, 2004).

Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkınların modellenmesinde hazne hacmi, su yüksekliği, akarsu yatağı ve havza özellikleri gibi bilgiler gerekmektedir. Tez kapsamında Tahtalı barajının yıkılma analizleri yapılacaktır. Bu amaçla Devlet Su İşlerinden Tahtalı barajı ile ilgili veriler sağlanacaktır. Bir barajın yıkılması farklı nedenlerden dolayı oluşabilmektedir. Gerek toprak veya kaya dolgu gerekse betonarme ağırlık tipi barajların yıkılma mekanikleri tam anlaşılabilmiş değildir. Önceleri yapılan baraj yıkılma çalışmalarında barajın aniden ve tamamen yıkıldığı varsayımı yapılmakta iken dünyada bu onu ile ilgili son yapılan çalışmalarda tamamen yıkılmalarından çok kısmi yıkılmaların göz önüne alınması gerçeği kabul edilmektedir. Barajın aniden ve tamamen yıkıldığına varsayılmasının nedenleri matematiksel olarak bu yaklaşımın basit olmasından kaynaklanmaktadır ve genelde betonarme kemer barajlar için doğru bir yaklaşımdır. Fakat sayıca çok daha fazla inşa edilen toprak veya kaya dolgu ya da betonarme ağırlık tipi barajlarda baraj gövdesindeki gedik belirli bir zaman süresince ve belirli bir büyüklüğe kadar gelişme göstermektedir. Genellikle bu tür barajlar ne çok ani nede tamamen yıkılmaktadırlar. Sayıları diğer baraj tiplerinden çok daha fazla olan toprak ve kaya dolgu barajlar ani olarak veya tamamen yıkılma eğilimi göstermezler. Baraj gövdesinde oluşan nihai gedik genişliği barajın toplam genişliğinden çok daha kısadır. Ayrıca gedik oluşması çok ani olmayıp değişik parametrelere bağlı olarak belirli bir süre gerektirmektedir. Bu parametreler arasında baraj yüksekliği, baraj yapımında kullanılan malzemenin cinsi, malzemenin D50 boyutu, birim ağırlığı, sürtünme açısı, kohezyonu, malzemenin sıkıştırılma miktarı vardır. Bu tür barajların yıkılması saatlerce sürebilir (Bozkuş, 2004).

Çalışma kapsamında Tahtalı barajının yıkılması için farklı senaryolar öngörülmektedir. Bu senaryolar tamamen yıkılma, farklı oranlarda kısmen yıkılmalar (gediklerin oluşması) şeklinde olacak ve farklı yıkılma süreleri öngörülmektedir. Bu senaryoların gerçekleşmesi sonucunda oluşacak taşkınlar modelleneyecektir. Taşkın dalgalarının modellenmesinde değişik yaklaşımlar ve modeller kullanılabilir. Bu amaçla geliştirilmiş birkaç paket yazılım bulunmaktadır. Tahtalı barajının yıkılması sonucu oluşacak taşkın dalgasının modellenmesi amacıyla, akım modellerinde kullanılan FLOW3D programından yararlanılması planlanmıştır. Elde edilen sonuçlar bu barajda oluşabilecek bir hasar durumunda zarar görecektir. bölgelerin belirlenmesini, özellikle taşkın dalgasının ulaşma süreleri belirlenerek can kayıplarının önlenmesini sağlayacaktır.

1.3 İlgili Literatürün Işığında Projenin Yeri

Baraj yıkılmaları için her ne kadar benzer senaryolar oluşturulabilse de, barajın boyutları, göl hacmi ve özellikle de taşkın dalgalarının yayıldığı yatak ve havza özellikleri farklılıklar gösterdiğinde her baraj için yıkılma analizlerinin ayrı ayrı yapılması gerekmektedir. Türkiye’de barajların yıkılma analizi çalışmaları henüz oldukça yetersiz seviyededir. Sadece Kestel ve Çınarcık barajlarının yıkılma analizleri yapılmıştır (Bozkuş, 2005). Tahtalı barajı’da mansabında tarımsal alanların, Gümüldür ilçesinin ve sahil yerleşimlerinin bulunduğu bir barajdır. Barajın yıkılması durumunda önemli zararların oluşabileceği tahmin edilmektedir. Bu nedenle Tahtalı barajı için yıkılma senaryolarının ve bu senaryoların gerçekleşmesi durumunda oluşabilecek taşkınların modellenerek, gerekli önlemlerin önceden planlanmasında yarar bulunmaktadır.

BÖLÜM İKİ

BARAJ YIKILMASI

2.1 Baraj Yıkılmasının Nedenleri

Baraj yıkılma olaylarında başlıca üç ana neden vardır. Bunlar:

- Barajın üstünden su aşması
- Temel kusurları
- Borulanma (iç aşınma)

Baraj üzerinden su aşmasına; uygun olmayan dolu savak tasarımı, kütük ve atıkların çıkış yapılarının (dip savak veya dolu savak) tıkanması veya baraj tepesinin oturması sebep olabilir.

Baraj yapısının temel kusurları, temelin kendisinde olabileceği gibi, inşaat sırasında yapılan iyileştirmelerden de kaynaklanabilir. Çatlaklar, farklı oturmalar, aşırı sızmalar, kaymalar ve yüksek basınçlar gibi faktörler temeldeki kusurların bir göstergesi olabilir. Aynı zamanda bu tür bir yıkıma, kaldırma kuvvetleri veya devirme kuvvetlerinin yanlış değerlendirilmesi de sebep olabilir. Diğer yandan temel malzemelerinin uygun seçilmemesi de önemli problemler doğurabilir (Ağırlioğlu, 2011).

2.2 Dünyada Meydana Gelen Önemli Baraj Yıkılmaları

Geçmiş yıllarda çeşitli ülkelerde önemli baraj yıkılmaları meydana gelmiştir. Bu baraj yıkılmalarından bazıları Tablo 1’de gösterilmektedir. Tabloda; yıkılan barajın bulunduğu ülke, baraj türü, yüksekliği, yıkılma yılı, hasar tutarı ve ölen insan sayıları verilmiştir (Bozkuş, 2002).

Türkiye bir deprem ülkesidir, ancak; buna rağmen, bugüne kadar (2010) önemli bir baraj yıkılma olayı meydana gelmemiştir. Bunun sebepleri arasında gösterilecek üç ana etken; Türkiye’de bilim ve teknolojinin gelişmesinden sonra baraj yapımına

başlanması (1950), Devletin DSİ Genel Müdürlüğü vasıtası ile baraj yapımını üstlenmesi ve barajların proje ve inşaat işlerinin çok emniyetli yürütülmesidir (Bozkuş, 2002).

Tablo 2.1 Çeşitli ülkelerde meydana gelen bazı önemli baraj yıkılmaları

Baraj Adı	Ülke	Türü	Yüksekliği	Yıkılma Yılı	Yıkılma Sebebi	Hasar Miktarı (Milyon dolar)	Ölen İnsan Sayısı
Puentas	İspanya	KD*	50	1802	TB***	***	60
Southfork	ABD	TD	22	1889	ÜA	100	2200
Saint Francis	ABD	BK	62,5	1929	YK	***	450
Vega de Tera	İspanya	BP	34	1959	YK	***	144
Malpasset	Fransa	BK	66,5	1959	TB	68	421
Oros	Brezilya	TD	54	1960	ÜA	***	1000
Bab-ı Yar	Ukrayna	TD	-	1961	ÜA	4	145
Hyokiri	Kore	-	-	1961	-	***	250
Panshet	Hindistan	TD	50	1961	YK-B	***	1000
Q la Chapa	Kolombiya	-	-	1963	-	***	250
Vailont	İtalya	BK	267	1963	ÜA	***	3000
Baldwin Hills	ABD	TD	71	1963	TB	50	3
Nanaksagar	Hindistan	TD	16	1967	YK-B	***	100
Pado	Arjantin	-	-	1970	-	20	25
Teton	ABD	TD	126	1976	YK-B	1000	14
Machuu II	Hindistan	TD	26	1979	ÜA	***	2000
Belci	Romanya	TD	18	1991	ÜA	***	48
Gouhou	Çin	KD	70	1993	B	18,5	300
Tirlyan	Rusya	TD	10	1994	ÜA	***	27
* BK: Beton kemer, BP: Beton payandalı, KD: Kaya dolgu, TD: Toprak Dolgu							
** B: Borulanma, TB: Temel bozukluğu, ÜA: Üstten aşınma, YK: Yapı kusuru							
*** Bilinmiyor							

BÖLÜM ÜÇ

KONU İLE İLGİLİ MEVCUT ÇALIŞMALAR

Bu bölümde; daha önce baraj yıkılması sonrasında taşkın yayılımının sayısal ve fiziksel çalışmalarının yapılan incelemelere değinilmiştir.

İlk çalışma De Saint Venant (1871) tarafından yapılarak baraj yıkılması dalgalarını ifade eden denklemler türetilmiştir (Chanson, 2004a). Bir boyutlu akım için süreklilik ve momentum denklemlerinden meydana gelen ve hiperbolik kısmi diferansiyel denklem sistemi oluşturan bu denklemlerde hız dağılımının üniform ve basınç dağılımının hidrostatik olduğu kabul edilmiştir (Venant, 1871).

Ayrıca oluşan taşkın dalgalarının yayılmasının incelenmesi problemi bir barajın yıkılması sonucu olarak, ilk defa Ritter (1892) tarafından ele alınmıştır (Vischer ve Hager, 1998; Chanson, 2005). Ritter sürtünmesiz, yatay, dikdörtgen bir kanalda ani baraj yıkılması problemi için karakteristik formdaki Saint Venant denklemlerini kullanarak analitik bir çözüm türetmiştir. Ele alınan problemde baraj mansabının kuru olduğu yani kuyruk suyu bulunmadığı varsayılmış ve rezervuar sonsuz uzunluklu kabul edilmiştir.

Dressler (1952); baraj yıkılması durumunda dikdörtgen bir kanaldaki sürtünme etkisini incelemiştir ve Ritter'in çözümünü genişletmiştir. Dalga önünün yüksekliği ve dalga hızı için pertürbasyon prosedürünü kullanarak bir analitik çözüm türetmiştir. Sürtünme ifadesi için Darcy-Weisbach denklemini kullanmıştır (Ritter, 1892).

Sürtünmenin dalga yayılma hızı ile karşılaştırıldığında akım hızı üzerinde daha etkili olduğunu söylemiştir. Stoker (1957); Ritter'in çözümünü baraj mansabında kuyruk suyu bulunması (ıslak yatak) durumu için genişletmiştir. Baraj yıkılması şok dalgaları için etkili bir teorik çözüm önermiştir. Yatay ve sonsuz uzunluklu sürtünmesiz prizmatik dikdörtgen bir kanal için üç bilinmeyen değişken ve üç ilişkili denklemden oluşan ve su yüzü profillerini belirleyen bir analitik çözüm vermiştir.

Analitik çözümler basınç dağılımının hidrostatik ve düşey hız dağılımının üniform olduğu kabulüne dayanmaktadır (Stoker, 1957).

Bozkuş ve Bağ (2004)'de yayınladıkları makalede, Çınarcık Barajının Sanal Yıkılma Analizleri yapmışlar. Bu çalışmada, önceden belirlenmiş bir dizi senaryo çerçevesinde sanal bir baraj yıkılmasının olası etkilerini bir durum çalışması kapsamında görmek amacı ile analizler yapılmıştır. Çalışmanın konusu Türkiye'nin Bursa İl'inde yer alan Çınarcık Barajıdır. Belirli kritik kıstaslar aşıldığında barajın yıkılmasının tetiklendiği varsayılmaktadır.

Analizler sırasında Çınarcık Barajı'nın mansabında gerçekleşen akış profillerini, su yüzü kotlarını ve deşarj değerlerini, tanımlanan senaryolar çerçevesinde uzamsal ve zamansal olarak tahmin etmek amacıyla, ABD'de "National Weather Service" tarafından geliştirilmiş olan FLDWAV yazılımı kullanılmıştır. Bu analizler esas alınarak, gösterge düzeyinde taşkın haritaları ve bunlara göre risk altında olan yerleşim yerleri tespit edilmiş olup, ayrıca yıkılma öncesinde alınması gerekli bazı önlemler de önerilmektedir (Bozkuş ve Bağ, 2004).

Wu ve ark., (1999); baraj yıkılması şok dalgaları için trapez enkesit durumunda teorik bir çözüm geliştirmişlerdir. Stoker (1957)'in geliştirdiği 3 denkleme dayanan çözümü tek bir cebrik denklem ile ifade etmişlerdir. Bu denklemde şok dalgasının akım hızı, akım derinliği, süreksizlik hızı (şok dalgasının yayılma hızı) gibi hidrolik parametreler, başlangıçtaki mansap derinliğinin memba derinliğine oranı ile bulunabilmektedir. Dikdörtgen kanal için aşağıdaki ifadeyi vermişlerdir:

Bu denklemden şok dalgasının derinliğinin sadece başlangıçtaki mansap derinliğinin memba derinliğine oranına bağlı olduğu görülmektedir. Denklem 2.2'de verilen ifade Ritter'in çözümüne eşittir (Wu ve ark., 1999).

Nsom ve ark., (2000); eğimli bir kanaldaki baraj yıkılması problemini deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarını 5 m uzunluğunda, 0.30 m genişliğinde ve 0.08 m yüksekliğinde şeffaf dikdörtgen bir kanalda, farklı taban

eğimlerinde gerçekleştirmişler ve sıvı olarak farklı Newtonien akışkanlar kullanmışlardır. Başlangıçta kanal tabanı yatay alınmış ve 3'er derece arttırılarak 12°'ye kadar olan eğimler kullanılmıştır. Seçilen istasyonlardaki yükseklikler ultrasonik cihazlarla ölçülürken dalga önünün ve yüksekliğinin gelişimi video fotoğraflarla belirlenmiştir. Teorik çalışmalarında bir boyutlu Navier Stokes denklemlerini kullanmışlardır. Dalga önünden uzak kısımlarda, akımın kinematik dalga teorisi ile tanımlanabileceğini belirtmişlerdir. Yatak eğimindeki değişikliğin dalga önünün gelişimi üzerinde çok fazla bir etkisi olmadığı sonucuna varmışlardır (Nsom ve ark., 2000).

Frazao ve ark., (2003); ani genişlemenin olduğu bir kanalda baraj yıkılması akımlarının yayılmasını deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Ani genişleme ile akımda çevrıntilerin oluşmasını ve türbülans etkilerinin dikkate alınmasını amaçlamışlardır. Deneyslerinde birkaç ölçüm tekniği kullanmışlardır. Belirli yerlerde su seviyesini ölçmek için noktasal su seviyesi cihazları, su yüzü profilleri için kanal cam duvarlarından elde edilen video görüntüleri kullanmışlar, yüzey hızlarını ise yüzen plastik parçacıkların dijital görüntüleme yöntemleri ile izlenmesiyle bulmuşlardır. Türbülans gerilme terimlerini içeren sığ su denklemlerini çözmek için Roe tipi sonlu hacim şeması geliştirmişlerdir. Deneysel sonuçları geliştirdikleri sayısal yöntem ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak baraj yıkılması akımları için türbülans gerilmelerinin hassas olarak modellenmesinin gerekip gerekmediği sorusuna tam bir cevap verememişlerdir (Frazao ve ark., 2003).

Bell ve ark. (1992); düz ve kavisli yatay bir kanalda ani kapak açılması sonucu baraj yıkılması dalgası oluşturarak kapsamlı bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kanal tabanının pürüzsüz veya çok pürüzlü ve kanal mansabının farklı derinliklerde kuru veya ıslak olması gibi çeşitli başlangıç koşullarında baraj yıkılması dalgasının yayılmasını incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarında, 0.30 m genişliğinde, 0.30 m yüksekliğinde, 4.32 m uzunluğunda düz dikdörtgen bir kanalda ve 3.74 m uzunluğunda 180 derece kavise sahip kavisli pleskiglas malzemeden yapılan bir kanal kullanmışlardır. Kanal pürüzlülüğünü,

tabana 13 mm kalınlığında tel ızgaralar ve bunların üzerine 0.30 m uzunluğunda, 0.19 m genişlik ile yüksekliğe sahip ahşap malzemeler yerleştirerek oluşturmuşlardır.

Membada altı ve mansapta beş noktada, metal çubuklar kullanarak su seviyesinin noktasal değişimlerini ve video kamera kullanarak dalga önünün ilerleyişini izlemişlerdir. Kavisli kanalda dış kısımda dalga önünün iç kısımdan daha hızlı ilerlediğini ve daha yüksek su seviyesine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir (Bell ve ark., 1992).

Kocaman ve Güzel, (2011)'de yayınladıkları makalede, Baraj yıkılması taşkın dalgası yayılmasının 3-boyutlu deneysel ve nümerik karşılaştırmasını yapmışlar. Yapılan çalışmada, laboratuvarında hazırlanan baraj hazne modelinin ön kısmına yerleştirilmiş, barajı temsil eden düşey bir kapağın ani olarak kaldırılması ile oluşturulan baraj yıkılması taşkın dalgasının mansap doğrultusunda genişleyerek yayılması incelenmiştir. Yüksek hızlı video kamera kullanarak dalga önünün gelişimi izlenmiş ve elde edilen sonuçlar 3-boyutlu RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) denklemlerine dayanarak çözüm yapan FLOW-3D sayısal model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçları ile sayısal model sonuçları arasında oldukça iyi bir uyum gözlenmiştir (Kocaman ve Güzel, 2011).

Bellos ve ark., (1992); prizmatik olmayan bir kanalda baraj yıkılması dalgasının yayılmasını incelemişlerdir. Taban eğimi sabit, daralan genişleyen bir kanalda ($x=4.5-16m$) mansapta kuru ve ıslak akım koşulları için bir dizi deney yapmışlardır. Kuru yatak koşulları için 0-0.010 eğimleri arasında 6 farklı eğim durumu da araştırılmıştır. Islak yatak oluşturulması için kanal sonunda bir savak kullanmışlardır. 22 m uzunluğundaki kanalın en dar kısmına bir kapak yerleştirmiş ve rezervuar derinliğini 0.25 m, kuyruk suyu derinliğini 0.101 m olarak almışlardır.

Pürüzlülük katsayısını 0.012 olarak hesaplamışlardır. Belirli aralıklarla kanal merkez eksenine üzerine yerleştirilen ve elektrik iletkenliği ile çalışan metal çubuklar ile su seviyelerinin zamanla değişimlerini ölçmüşlerdir. Deneysel sonuçlarının sayısal çözümlerle uyum içerisinde olduğunu belirtmişlerdir (Bellos ve ark., 1992).

Jovanovic ve Djordjevic (1995); bir ve iki boyutlu baraj yıkılması deneyleri gerçekleştirmiş ve sonuçlarını sığ su denklemlerinin MacCormack açık şemasına dayanan sayısal çözümleriyle karşılaştırmışlardır. Bir boyutlu deneylerini, 4.5 m uzunluğunda ve 0.15 m genişliğinde yatay dikdörtgen bir kanalda yapmışlardır. 0.8 m genişliğinde ve 2 m uzunluğunda bir haznede yaptıkları iki boyutlu deneylerinde 0.1m genişliğindeki kapağı kanalın kenarına yerleştirmişlerdir. Ölçüm yapmak için mansapta 4 farklı noktada yerleştirdikleri noktasal seviye ölçerler ve bir yüksek hızlı video kamera kullanmışlardır. Bir boyutlu akım için dalga yayılma hızlarının ve su derinliklerinin belirlenmesinde kullandıkları sayısal yöntemin uygun sonuçlar verdiğini, iki boyutlu çözümlerde ise kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığını ifade etmişlerdir (Jovanovic ve Djordjevic, 1995).

Lauber ve Hager (1997); başlangıçta kuru mansap yatağına sahip pürüzsüz dikdörtgen bir kanalda pozitif dalga önünün farklı eğimler altında yayılmasını deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında teorik sonuçlar ile deneysel sonuçların pozitif dalga önünün belirlenmesinde uygun sonuçlar verdiği sonucuna varmışlardır (Lauber ve Hager, 1997).

Lauber ve Hager (1998a; 1998b); sırasıyla yatay ve eğimli pürüzsüz dikdörtgen bir kanalda düşey bir kapağın ani olarak kaldırılması sonucu oluşan baraj yıkılması akımının incelenmesi amacıyla kapsamlı deneyler yapmışlardır. Tüm deneylerini kuru mansap durumu için gerçekleştirerek öncelikle yatay, sonrasında $S_0=0,1$ ve $S_0=0,5$ taban eğimlerinde incelemeler yapmışlardır. Başlangıçtaki akım derinliğinin en az 30 cm olması durumunda, baraj yıkılması akımlarının Froude benzerlik kanununa uyduğunu belirtmişlerdir. Ölçümlerini 14 m uzunluğunda, 0,50 m genişliğinde ve 0,70 m yüksekliğinde dikdörtgen bir kanalda gerçekleştirmişlerdir. Ölçümlerinde yerel akım derinlikleri ve hızlarını veren bir video sistem kullanmışlardır. Çalışmada, akımın her yerde gözlenebilmesi için kamera yerini değiştirerek deneylerini tekrarlamışlardır.

Akım derinliği, seçilen enkesitlerdeki ortalama hızlar, debi, pozitif ve negatif dalga önü hızları, enkesitlerdeki maksimum akım derinliği ve maksimum derinliğe

ulaşma zamanlarını gözlemlenmişlerdir. Deney sonuçlarını, literatürdeki analitik çözümlerle karşılaştırmışlardır. Başlangıç aşamaları dışında, sonuçların uyumlu olduklarını ifade etmişlerdir (Lauber ve Hager, 1998a; 1998b).

Aureli ve ark., (1999); bir boyutlu sığ su denklemlerine dayanan MacCormack sayısal şemasını doğrulamak amacıyla baraj aksında ve mansap ucunda trapez geometriye sahip bir eşik bulunması durumları için bir dizi deney gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalarını 1 m genişliğinde, 0,5 m yüksekliğinde ve 7 m uzunluğunda bir kanalda yapmışlardır. Kanal boyunca dört farklı noktada aldıkları video görüntülerden su seviyesi değişimlerini belirlemişlerdir. Hız ölçümleri için akustik Doppler hızölçer kullanmışlardır. Sayısal sonuçların, karmaşık geometrinin neden olduğu güçlü yansımaları uygun biçimde yansıttığını gözlemlenmişlerdir (Aureli ve ark., 1999).

Mohapatra ve Bhallamudi (1996), baraj aksındaki kesit değişimlerinin baraj yıkılması akımı üzerindeki etkisini incelemişler ve olayı idare eden iki boyutlu denklem sistemini sayısal olarak çözmüşlerdir. Sayısal modellerini, 4 farklı tasarım üzerinde ıslak ve kuru mansap koşulları için uygulamışlardır. Geçiş bölgesindeki genel fiziksel alanı hesaplamanın yapılacağı dikdörtgen alana dönüştürmek için basit cebrik koordinat dönüşüm tekniği seçmişlerdir. Dönüştürülen denklemlerin çözümleri için MacCormack şemasını kullanmışlardır. Yapılan çalışmanın sonuçlarını (akım derinlikleri ve su yükseklikleri) literatürdeki sayısal ve deneysel sonuçlarla karşılaştırarak iyi neticeler elde etmişlerdir. Ayrıca baraj yıkılması akımları üzerindeki genişleme-daralma etkilerini araştırmışlardır (Mohapatra ve Bhallamudi, 1996).

Zhao ve ark., (1996), “flux vector splitting (FVS)”, “flux difference splitting (FDS)” ve “Osher” şeması olarak adlandırılan üç yaklaşık Riemann çözümleri şema üzerinde çalışmışlardır. Karakteristik teoriye dayanan ve genellikle aerodinamik problemlerinde Euler denklemlerini çözmek için kullanılan bu çözümleri büyük taşkınlar sonucu baraj yıkılması veya akarsuda kapakların aniden açılıp kapanması sonucu oluşan şok dalgaları üzerine uygulamışlardır. Bu çözümleri, iki boyutlu sığ

su denklemlerini çözmek amacıyla sonlu hacimler yöntemi içerisinde kullanmışlardır. Üç çözücüye teorik gelişimlerine, farklı şemalara, şok dalgalarına uygulanabilirliğine göre karşılaştırmışlardır. Ayrıca farklı zaman aralıkları ve ızgara çözünürlüklerinde yöntemlerin hesaplama stabilitelerinin hassaslık analizini yapmışlardır. Aynı zamanda yatak seviyelerindeki değişimlerin sonuçlar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Uygulamalarında bir boyutlu ve iki boyutlu baraj yıkılması problemini ve eğimli bir yüzeyde hidrolik sıçrama problemini ele almışlardır. İki boyutlu baraj yıkılması problemi olarak başlangıçtaki su derinliği 10 m olan ve 5m kuyruk suyu yüksekliğine sahip 200×200m bir hesaplama alanı üzerinde uygulama yapmışlardır. Alanın ortasına yerleştirilmiş bir baraj üzerinde 75 m genişliğinde bir gediğin ani açılması suretiyle oluşan dalganın yayılması problemini incelemişlerdir.

Sayısal ve analitik çözümleri karşılaştırdıklarında, üç Riemann çözücünün de oldukça iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Bu üç şemanın çözüm sonuçları arasında çok büyük fark olmasa da aralarında en doğru sonucu verenin Osher şeması, en az doğru olanın ise FVS olduğunu belirtmişlerdir. Fakat en az hesaplama süresi FVS, en fazla hesaplama süresi ise FDS'de görülmektedir. En kararlı olanı FVS, Δx ve Δt değişimine karşı en duyarlı olanı FDS olmaktadır. Araştırmacılar özetle bu üç çözücünün de kritik altı ve kritik üstü akımlardaki hidrolik olayların, yavaş değişen süreksiz akımların, düzenli ve değişken akımların, özellikle de şok dalgalarının modellenmesinde etkili olabileceğini ifade etmişlerdir (Zhao ve ark., 1996).

Laigle ve Coussot (1997); çamurlu akımlar için Saint-Venant denklemlerine dayanan sayısal bir yöntem geliştirmişlerdir. Sayısal modelin doğruluğunu belirleyebilmek için bir takım deneysel çalışmalar yapmışlardır. Farklı kanal eğimleri, malzeme hacimleri, balçık konsantrasyonları, başlangıçtaki farklı rezervuar derinlikleri için kanal üzerindeki su yükseklikleri gözlenmiştir. 4m uzunluğunda 0,6 m genişliğinde dikdörtgen bir kanal kullanmışlardır. Ölçümlerini üç farklı noktada ultrasonik cihazlarla yapmışlardır. Deneylerdeki akım derinliği ve seyahat zamanı ölçümlerindeki belirsizliklerin %5 ile %15 arasında olduğunu ifade etmişlerdir. Deney sonuçları ile sayısal model arasında bir yakınlık olduğu görülmüştür (Laigle ve Coussot, 1997).

Mohapatra ve ark., (1999); baraj yıkılması akımını düşey düzlemde iki boyutlu denklemleri kullanarak nümerik olarak incelemiştir. Sayısal yöntem olarak GENSMAC Navier Stokes Çözücü ve akışkan hacmi (Volume of Fluid) yaklaşımının birleşimi bir yöntem kullanmışlardır. Mansapta ıslak ve kuru yatak koşulları için baraj aksındaki akım derinliğinin zamanla değişimini ve basınç dağılımının değişimini araştırmışlardır. Su yüzü profili ve dalga hızlarını da hesaplamışlardır. Baraj yıkıldıktan hemen sonraki ($t=1s$) hidrostatik olmayan basınç dağılımının, daha uzun zaman sürelerindeki sonuçlar üzerindeki etkisini incelemiştir. Nümerik sonuçları analitik sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Kuyruk suyu (ıslak yatak) bulunması durumunda, baraj yıkılmasından hemen sonra hakim olan hidrostatik olmayan basınç koşullarının daha uzun zaman sürelerindeki sonuçlar üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığını ifade etmişlerdir. Islak yatak koşullarında hidrostatik duruma ulaşma süresinin kuru yatak koşullarına göre daha hızlı olduğunu belirtmişlerdir. Baraj aksındaki akım derinliğinin sabit bir değere ulaşmasının mansap/memba derinlik oranının ($r=h_1/h_0$) düşmesiyle arttığını söylemişlerdir (Mohapatra ve ark., 1999).

BÖLÜM DÖRT

TAHTALI BARAJI

4.1 Tahtalı Barajın Özellikleri

Tahtalı Barajı; su potansiyeli açısından İzmir İçme Suyu Projesi'nin en büyük tesisi olmakla birlikte İzmir'e içme suyu sağlayan en büyük yüzeysel su kaynağıdır (Şekil 4.1). Baraj; İzmir'in 40 km güneyinde Gümüldür beldesinin 5 km doğusundaki Tahtalı deresinin üzerinde bulunmaktadır. İnşaatı Devlet Su İşleri tarafından yapılmış olup, yapımı 1996 yılında tamamlanmıştır. 27 Ağustos 1997 tarihinde resmi olarak İzmir'e su vermeye başlamıştır (İZSU, 2011).



Şekil 4.1 Tahtalı Barajı

Tahtalının barajının boyutsal özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Yağış havzası alanı : 546 km²
- Yılda gelen ortalama potansiyel su miktarı : 153 milyon m³
- Yılda barajdan çekilebilecek ortalama potansiyel su miktarı : 128 milyon m³
- Barajın dere tabanından yüksekliği : 54,5 m
- Barajın temelden yüksekliği : 57,5 m
- Barajın tipi : Kil çekirdek + kesici hendekli kaya dolgu
- Baraj yerinde dere tabanı yükseltisi (talveg kotu) : 8 m
- Baraj gövdesi kret yükseltisi : 62,5 m
- Baraj gölü minimum su yükseltisi : 31 m
- Baraj gölü normal su yükseltisi : 60,5 m
- Baraj gölü maksimum su yükseltisi : 60,5 m
- Barajın minimum su yükseltisinde göl hacmi : 19.600.000 m³
- Barajın normal su yükseltisinde göl hacmi : 306.650.000 m³
- Barajın maksimum su yükseltisinde göl hacmi : 306.650.000 m³
- Baraj gölü aktif hacmi (Normal H.-Minimum H.) : 287050000 m³

4.2 Barajın Su Alma Yapısı ve Pompa İstasyonu

Tahtalı barajına su, Tahtalı deresi tarafından getirilmekte ve doğal boşaltımı Gümüldür Beldesi yakınlarındaki Ege Denizi olmaktadır. İzmir'in söz konusu doğal boşalım noktasının tam tersi yönde bulunması nedeniyle, içme suyunun Tahtalı Baraj Gölü'nün uygun bir noktasından pompajla alınması ihtiyacı doğmuştur. Bu nedenle; Tahtalı Deresi'nin eski Dereboğazı Vadisi'ne girdiği noktada kule şeklinde bir su alma yapısı yapılmıştır. Bu kule şeklindeki yapının içine ise pompa istasyonu kurulmuştur.

Su alma yapısı; baraj gölünün 29 m, 36 m, 43 m ve 50 m su düzeylerinden su alacak şekilde projelendirilmiştir (Şekil 4.2). Böylece istenildiği zaman oksijen açısından daha zengin ve bulanıklığı en düşük düzeyde olan baraj suyunun alınması sağlanmıştır. Pompa ile alınan su, 2 adet 1.600 mm çapında ve 580 m uzunluktaki çelik borudan geçirilerek 128,5 m yüksekte bulunan denge kulesine basılmaktadır (Şekil 4.3) (İZSU, 2011).

Su alma yapısının diğer teknik özellikleri şu şekildedir:

- Su alma yapısı tipi: Betonarme kule
- Su alma yapısı çapı: 17 m
- Su alma yapısı yüksekliği: 35 m
- Pompa sayısı: 6 adet (4 sabit devirli, 2 değişken devirli)
- Toplam pompa kapasitesi: 6,134 m³/s
- Trafo kurulu gücü: 10 MVA
- Motor gücü ve çalışma gerilimi: 2.500 kW, 6,3 kVA
- Motor devri: 990 devir/dk.
- Terfi hattı tipi: Çelik boru
- Terfi hattı adedi: 2 adet
- Terfi hattı çapı: 1.600 mm
- Terfi hattı uzunluğu: 580 m
- Su denge kulesi çapı: 6 m
- Su denge kulesi yüksekliği: 15 m
- Su denge kulesi hacmi: 400 m³



Şekil 4.2 Tahtalı Barajı su alma yapısı



Şekil 4.3 Tahtalı Barajı su alma yapısı içindeki pompa üniteleri

4.3 Baraj Gölünün Su Kalitesi

Bu tesislerden elde edilen arıtılmış suyun kalitesi, Türk Standardı olan TS 266'ya uygundur. Tesislerin işletimi sırasında; ham sudan, arıtılmış sudan ve tesis

ünitelerinden, her gün ve saatlik olarak su ve çamur numuneleri alınmaktadır. Bu numunelerin analizleri tesis içindeki laboratuvarlarda gerçekleştirilmektedir. Ayrıca; giriş ve çıkış suyundan alınan numuneler, İZSU Merkez Laboratuvarında ve Sağlık Bakanlığı Hıfzıssıhha Enstitüsü Laboratuvarları'nda ilgili yönetmelikler doğrultusunda analiz edilmektedir (İZSU, 2011).

Tahtalı Pompa İstasyonu'nda, kurulan mini SCADA sistemi aracılığıyla elektriksel ve mekanik olarak tüm parametreler (yatak sıcaklıkları, sargı sıcaklıkları, yatak vibrasyonları, soğutma suyu sıcaklıkları ve basınçları vb.) sürekli olarak izlenmektedir. Bu veriler, telsiz iletişimi ile Tahtalı İçme Suyu Arıtma Tesisi'ndeki uzaktan kumanda ve izleme ünitesine ulaşmaktadır ve bilgisayar yardımı ile kontrol edilmektedir. Bu bilgisayar sisteme bağlı olarak çalışmayı sağlayan bir yazılım içermektedir. Aynı zamanda, baraj su seviyesi ve barajdan pompalanan su miktarları da elektronik olarak ölçülmektedir (İZSU, 2011).

Pompa İstasyonununun 27,30 m taban kotunda; toplam 6 adet dik monte edilmiş, çift emişli, salyangozu çift gözlü, split pompa kullanılmıştır. Bu pompalardan 4'ü sabit hızlı, 2'si değişken hızlı pompalar olup, 128,5 m SS yüksekliğe 1.534 L/s basın pompaları tahrik eden sabit devirli motorlar; 2.500 kW - 990 devir/dk – 6,3 kVA nominal değerlerde, 3 fazlı bilezikli asenkron tiptedir. Değişken devirli motorların tek farkı, 900-940 devir/dk aralığında çalışmasıdır. Pompaların üzerinde yaklaşık 10 m uzunluğunda ve üç parçadan oluşan dikey şaftlar bulunmaktadır. Pompalar ve şaftlar, Samsun Makine Sanayi A.Ş. tarafından; pompaları tahrik eden motorlar ise, Avusturya menşeli ELIN GmbH firması tarafından imal edilmiştir (İZSU, 2011).

4.4 İletim Boru Hattı

İletim boru hattı; 17.505 m uzunluğunda olup, Sakartepe'de bulunan su denge kulesinden başlamaktadır. Tahtalı Barajı'ndan alınan suyu Görece'de bulunan arıtma tesisine iletmektedir. Görece'deki Tahtalı Barajı İçme Suyu Arıtma Tesisi'nden çıkan arıtılmış su, 14.730 m uzunluğunda bir iletim boru hattı ile Karabağlar'da bulunan su deposuna aktarılır ve şehir içi dağıtım şebekesine verilir. Tahtalı Barajı

ile Karabağlar su deposu arasındaki iletim boru hattının toplam uzunluğu 32.235 m'dir. Boru hattı; 2.200 mm iç çapında, 5,94 m³/s kapasitede, çelik kaplamalı ön gerilmeli betonarme borudur (İZSU, 2011).

4.5 İçme Suyu Arıtma Tesisi

Menderes ilçesi, Görece Beldesi'nin hemen güneyinde yer alan Tahtalı İçme Suyu Arıtma Tesisi 520.000 m³/gün kapasiteli ve 1.250 kVA kurulu güce sahip olup, Tahtalı Baraj Gölü'nden alınan suyun içme suyu standartlarına uygun olarak arıtılmasını sağlamaktadır. Arıtma tesisi; havalandırma, hızlı karıştırıcı, durultucular, filtreler, kimya binası, klor binası, filtress ünitelerinden oluşmaktadır.

Arıtma tesisi, her biri 260.000 m³/gün kapasiteli olan iki ayrı hattan oluşmaktadır. Barajdan basılan ham su, tesise girişinde öncelikle giriş vanası ve giriş debi ölçerinden geçerek 750 m³'lük dengeleme tankına iletilir. Dengeleme tankında, taşkın savağı ve taşkın hattı girişi bulunmaktadır (İZSU, 2011).

4.6 Havalandırma Ünitesi

Havalandırma; ham suya oksijen kazandırmak, demir ve manganın oksitlenerek giderilmesini ve suda koku, tat gibi istenmeyen unsurların uzaklaştırılmasını sağlamak için gerekli bir arıtma işlemidir. Dört basamaklı bir kaskat havalandırma sistemiyle; atmosferik oksijen, ham suyun içinde çözünmektedir (Şekil 4.4). Kaskat sistemi, ham suyun oksijen içeriğini %60 doygunluğa getirmek için tasarlanmış olup, özellikleri aşağıda verilmiştir (İZSU, 2011):

Havalandırma ünitesi özellikleri:

- Tipi: Kaskat
- Kaskat sayısı: 4 adet
- Kaskat düşü yüksekliği: 42,5 cm
- Savak tipi: Ayarlı sac savak
- Ünite boyutları: 20,90 x 19,32 m



Şekil 4.4 Tahtalı Barajı havalandırma kaskatları

4.7 Klorlama

Havalandırılmış suya; kırılma noktası deneyinde elde edilen sonuçlara uygun olarak, havalandırma ünitesinin hemen çıkışında klor dozlaması (ön klorlama) yapılır. Ön klorlama, yapılarda ve çamur tabakasında gelişebilecek veya var olan mikroorganizmaları yok etmek, durultuculardaki çamurun yüzmesini engellemek, rengi azaltmak ve alg büyümesini engellemek için uygulanır (İZSU, 2011).

Arıtılmış su şehre verilmeden önce, ön klorlama işlemi haricinde su dezenfeksiyonun tam anlamıyla sağlanması için son klorlamaya da tabi tutulur. Bu işlemler için, Tahtalı İçme Suyu Arıtma Tesisi'nde gaz klor kullanılmaktadır. Klor binasında her biri 1 tonluk toplam 70 adet tank bulunmaktadır. Tank odasından gaz olarak alınan klor, her biri 40 kg/saat olan 8 adet klorinatörde dozajı ayarlanarak, enjektörler vasıtasıyla basınçlı suyun yarattığı vakum etkisiyle ön ve son klorlama noktalarına ulaştırılır (İZSU, 2011).

4.8 Kimya Binası

İçme suyu arıtımında ve çamur susuzlaştırılmasında kullanılan tüm kimyasalların (Demir Üç Klorür, Polielektrolit, Potasyum Permanganat, Kostik Soda vb.) depolama tankları, hazırlama üniteleri ve dozaj sistemleri kimya binasında bulunmaktadır. Söz konusu kimyasalların dozlama noktalarına iletimini sağlayan borulara, servis suyu hatlarına, yangın suyu hatlarına ve elektrik kablolarını içeren teknik galeriye bu bina içerisinden ulaşılmaktadır (İZSU, 2011).

4.9 Kimyasal Dozlama ve Hızlı Karıştırma

Ön klorlama işlemine tabi tutulmuş su, kimya ünitesindeki depolardan pompalanan ve optimum dozajı jar testi ile belirlenen koagülant (demir üç klorür) ile hızlı karıştırma ünitesinde karıştırılır. Belirli bir süre sonra, polielektrolit dozlanan bölümden geçerek durultuculara ulaşır. Aynı noktada gerektiğinde mangan giderimi için Potasyum Permanganat kimyasalı da dozlanabilmektedir (İZSU, 2011).

4.10 Durultucular

Durultma işlemi, su kalitesini yükseltmek amacıyla koagülant (yumaklanma sağlayıcı) maddeler ile karıştırılmış ve yeterli yumak büyüklüğüne ulaşmış parçacıkların çökerek sudan uzaklaştırıldığı fizikokimyasal bir işlemdir. Her bir durultucuda, iyi bir toplama işlemi için savaklar bulunmakta ve üstte biriken su, bu savaklar ile kanallara alınıp filtrelere iletilmektedir (Şekil 4.5) (İZSU, 2011).

Durultucu Ünitesi Özellikleri:

- Tipi: Pulsatör
- Durultucu sayısı: 6 adet
- Durultucu alanı: 1.253 m²/adet
- Durultucu hacmi: 5.562 m³/adet
- Durultucu derinliği: 4,45 m
- Durultucu kapasitesi: 1 m³/s



Şekil 4.5 Tahtalı Barajı durultucu havuzları

4.11 Filtre Ünitesi

Durultulmuş su, kanallar vasıtasıyla filtre havuzlarındaki filtrelere ulaşır (Şekil 4.6). Buradan dağıtma yapıları ile her bir filtreye giriş yapar ve kum tabakası bulunan filtrelerden süzülür. Filtrelerden geçerken, suyun içerisindeki çok küçük tanecikler, filtre kumlarının içinde tutulur ve filtrelenen suyun, kontak tankında son klorlaması yapılır. Kontak tankı çıkışında gerekli hallerde, doygunluk indeksine uygun olarak kostik soda dozajı yapılarak pH ayarı gerçekleştirilir. Suyun arıtma işlemi bu noktadan sonra tamamlanmaktadır. Arıtma işlemi tamamlanan su, şehrin ihtiyacına cevap verebilecek kapasitede olan temiz su tanklarına ulaşır. Depo çıkışı doğrudan isale hattına bağlı olduğundan, şehirdeki şebekenin ihtiyacı olan su, depodan çekilmektedir (İZSU, 2011).

Filtrelerde geri yıkama işlemi PLC kontrollü kumanda sistemi ile otomatik olarak yapılmaktadır. Geri yıkama suyu kum tutucudan geçirilir ve geri yıkama suyu tutma tankına gelir. Geri yıkama suyu tutma tankında toplanan su, seviye kontrollü dalgıç pompalar vasıtasıyla sistemin başındaki dengeleme tankına geri döndürülerek arıtma

işlemine en baştan tabi tutulmaktadır. Böylelikle kirlenmiş su geri kazanılmaktadır (İZSU, 2011).

Filtre Ünitesi Özellikleri:

- Tipi: Hızlı kum filtre
- Havuz sayısı: 20 adet
- Filtre alanı: 140 m²
- Filtrasyon hızı: 7,9 m/saat
- Filtre yatağı malzemesi: Kum + Çakıl
- Filtre kum derinliği: 90 cm
- Filtre çakıl derinliği: 5 cm
- Çakıl boyutu: 4-8 mm
- Kum boyutu: 0,9 - 1,0 mm
- Filtre dren tipi: Nozul
- Nozul sayısı: 55 adet/m²
- Kontak tankı adedi: 2 adet
- Kontak tankı hacmi: 3.600 m³/adet
- Temiz su deposu hacmi: 21.600 m³



Şekil 4.6 Tahtalı barajı filtre havuzları

Filtre ünitesinde; ek olarak geri yıkama suyu tutma tankı, geri yıkama suyu tankı, filtre geri yıkamasında kullanılan geri yıkama suyu pompaları, hava körükleri ve tüm sistemin su ihtiyacını sağlayan servis suyu ve yangın suyu sistemleri bulunmaktadır (İZSU, 2011).

4.12 Çamur Susuzlaştırma Ünitesi

Çamur susuzlaştırma ünitesi; çamur transfer tankı, çamur yoğunlaştırıcılar, yoğunlaşmış çamur basma ünitesi ve filtrepress binasından oluşur. Durultucularda oluşan fazla çamur, kanallar vasıtasıyla çamur transfer ünitesine gelir. Buradan çamur yoğunlaştırıcılara basılması sırasında polielektrolit de eklenir. İyice yoğunlaşan çamur, çamur yoğunlaştırıcıların altından yoğun çamur pompaları aracılığıyla alınır. Filtrepress binasındaki karıştırma tankına iletilir. Karıştırma tankında çamura toz kireç eklenir. Kireçle karıştırılan çamur, yüksek basınç pompaları vasıtasıyla alınarak, filtrepresslere basılır. Burada çamur susuzlaştırma işlemine tabi tutulur ve %35 katı madde oranına sahip çamur keki haline getirilir. Suyu belli oranda alınan çamur keki kamyonlarla alınarak Harmandalı Düzenli Depolama Alanı'na gönderilmektedir (İZSU, 2011).

Çamur Susuzlaştırma Ünitesi Özellikleri:

- Yoğunlaştırıcı Sayısı: 2 adet
- Çapı: 12 m
- Hacmi: 300 m³
- Filtre Pres Özellikleri
- Filtre Pres Sayısı: 2 adet
- Filtre Pres Plaka Sayısı: 93 adet
- Kapasitesi: 5 ton
- Plaka Ebadı: 1.500x1.500 mm
- Çamur keki kalınlığı: 30 mm

4.13 Tesislerin İşletilmesi

Tahtalı İçme Suyu Sisteminin işletim, bakım ve onarım işlemleri İZSU personeli tarafından gerçekleştirilmektedir. Tesisler; 3'lü vardiya ile 24 saat çalışır durumdadır. Mekanik, elektrik ve inşaat ekipleri ile bakım işlemleri periyodik olarak yapılmaktadır. Tahtalı Tesislerinden; Gaziemir, Karabağlar, Buca, Bozyaka, Hatay, Basın Sitesi, Yeşilyurt, Limontepe, ve şehrin güney aksında kalan diğer semtlere su verilmektedir. Ayrıca ihtiyaç duyulması halinde şehrin kuzeyindeki diğer semtlere de artırılmış su temin edebilecek sisteme sahiptir. Tesislerimizde kuruluş aşamasında mevcut olan ve SCADA projesi kapsamında eklenen ekipmanlarla izleme ve kontrol çalışmaları yapılmaktadır. İzlenen parametreler sırasıyla, giriş suyu için; debi, bulanıklık, pH; arıtılmış su için ise debi, bulanıklık, pH, iletkenlik, bakiye klor, çözülmüş oksijen, tesisin muhtelif noktalarında su seviyeleri olmak üzere 24 saat yetkili teknik elemanlarca izlenmektedir (İZSU, 2011).

BÖLÜM BEŞ

SAYISAL ÇÖZÜM

Son yıllarda bilgisayarların çözüm yeteneklerinin ve yeni sayısal yaklaşımların gelişmesiyle birlikte, sayısal modellerin kullanımı baraj yıkılması taşkın kontrol çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Sayısal yöntemler ile olayı idare eden diferansiyel veya integral formdaki matematiksel denklemler cebrik denklemlere dönüştürülerek bilgisayar yardımıyla çözümlenir. Bu nedenle baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgasının mansap boyunca yayılmasını modellemek için yapılan çalışmalarda öncelikle kullanılacak matematiksel denklemlerin seçimi gereklidir. Daha sonra bu denklemlerin çözümü için doğruluğu kanıtlanmış uygun sayısal yöntem belirlenmelidir.

Baraj yıkılması taşkın dalgasının arazi topografyası üzerinde yayılması 3 boyutlu, zamana bağlı, sıkışmayan, serbest yüzeyli bir akışkanlar dinamiği problemidir. Aynı bir çalışma konusu olan erozyon ve yığılma etkileri ihmal edildiğinde bu tür bir akımı en iyi temsil eden denklem 3 boyutlu Navier-Stokes denklemleridir. Bunun dışında kullanılacak diğer bir denklem takımı da Navier-Stokes denklemlerinin basit kabuller yapılarak indirgenmesiyle elde edilebilen Saint-Venant veya sığ su denklemleridir. Sığ su denklemlerinde akım derinliğinin yatay uzunluğa göre oldukça küçük olduğu varsayılır. Ayrıca düşey doğrultudaki ivme bileşeninin ihmal edildiği dolayısıyla akımın hidrostatik olduğu kabul edilir. Navier-Stokes denklemleri ile daha hassas çözümler elde edilebilmesine rağmen bu denklemlerin sayısal çözümünde, su-hava arakesitine sahip açık kanal akımlarında serbest yüzeyin belirlenmesi ve türbülans etkilerinin dikkate alınması gibi problemler bulunmaktadır.

5.1 Navier-Stokes Denklemleri

Navier-Stokes denklemleri süreklilik ve hareket denklemlerinden oluşan akışkanlar mekaniğinin temel denklemleridir. Newton'un ikinci kanununun sonsuz küçük bir kontrol hacmine uygulanmasıyla Newtonin bir akışkan için aşağıdaki Navier-Stokes denklemleri türetilebilir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad (5.1)$$

$$\rho \frac{dV}{dt} = -\nabla p + \nabla \tau + \rho g \quad (5.2)$$

Burada V hız vektörünü, ρ yoğunluğu, τ gerilme tansörünü, g kütlelesel kuvvetleri (yerçekimi), t zamanı, p basıncı göstermektedir. Denklem (5.1) kütle korunumunu, denklem (5.2) momentumun korunumunu temsil etmektedir. Su sıkışmaz kabul edildiğinden yoğunluk sabittir. Bu nedenle

$$\frac{D\rho}{Dt} = 0 \quad (5.3)$$

Böylelikle süreklilik ve momentum denklemi aşağıdaki forma indirgenir.

$$\nabla \cdot V = 0 \quad (5.4)$$

$$\rho \frac{dV}{dt} = \rho \left(\frac{\partial V}{\partial t} + (V \cdot \nabla)V \right) = -\nabla p + \nabla \tau + \rho g \quad (5.5)$$

Yukarıdaki denklemler ayrıca tansör formatında aşağıdaki gibi ifade edilebilirler:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (5.6)$$

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (5.7)$$

Burada üç boyutlu akımlar için $i,j=1,2,3$ değerlerini alır ve sırasıyla x,y,z doğrultularındaki akım bileşenlerini temsil etmektedir. Yapılan çalışmada akışkan sıkışmaz ve Newtonien kabul edildiğinden gerilme tansörü, dinamik viskozite katsayısı μ ve şekil değiştirme hızları ile orantılıdır:

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (5.8)$$

Bu ifade denklem (3.7)'de yerine konulursa momentum denklemi aşağıdaki biçimi alır.

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \rho g_i \quad (5.9)$$

Süreklilik ve momentum denklemleri kartezyen koordinatlarda daha açık biçimde yazılırsa Navier-Stokes denklemleri aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (5.10)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \rho g_x \quad (5.11)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \rho g_y \quad (5.12)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \rho g_z \quad (5.13)$$

Bu ifadelerde etki eden tek kütsel kuvvet yerçekimi kuvvetidir. Dolayısıyla ifadelerdeki g_x ve g_y terimleri sıfıra eşittir.

Bu denklem sistemine bakıldığında bilinmeyenler basınç p ve hız vektörünün üç bileşeni u,v,w olmak üzere dört adettir. Bununla birlikte sistemde bir süreklilik ve üç adet lineer momentum denklemi olmak üzere toplam dört adet denklem

bulunmaktadır. Görüldüğü gibi sistemin bilinmeyen sayısı denklem sayısına eşittir. Buna karşın sıkışmayan, sabit viskoziteli akışkanlar için geçerli olan bu denklem sisteminin genel bir çözümü yoktur. Ancak uygun başlangıç ve sınır şartları altında sayısal yöntemler ile çözülebilirler. Bunun için yoğunluk, viskozite ve kütleli kuvvetlerin (yerçekimi) bilinmesi gereklidir.

Sonuç olarak denklem (5.11), (5.12) ve (5.13)'ten oluşan hareket denklemleri aşağıdaki gibi kapalı formda da yazılabilir.

$$\rho \frac{dV}{dt} = -\nabla p + \mu \nabla^2 V + \rho g \quad (5.14)$$

Denklem (5.14)'ün fiziksel anlamı: Yoğunluk x ivme = birim hacim başına basınç kuvveti + birim hacim başına viskoz kuvvet + birim hacim başına kütleli (yerçekimi) kuvveti şeklindedir.

Navier-Stokes denklemlerinde viskozite içeren terimler ihmal edildiğinde, aşağıdaki Euler denklemleri elde edilir.

$$\rho \frac{dV}{dt} = -\nabla p + \rho g \quad (5.15)$$

Bu denklemlerde viskozite terimlerinin bulunmamasının yanında sınır koşulları da farklılıklar gösterir. Viskoz bir akışkanın katı bir sınırdaki hız vektörü sıfırdır. Bu da akışkanın katı madde sınırını ne geçebileceği ne de bu sınır üzerinde kayabileceği anlamına gelmektedir. Bununla birlikte viskoz olmayan (inviscid) bir akışkan, katı madde sınırını geçememekte fakat bu sınır üzerinde kayabilmektedir.

5.2 Saint-Venant Denklemleri (Sığ Su Denklemleri)

Baraj yıkılması akımlarının üç boyutlu RANS denklemleri ile çözümünün özellikle büyük ölçekli problemlerde çok uzun bilgisayar zamanı gerektirmesinden dolayı, akım derinliğinin akım uzunluğuna göre oldukça küçük olduğu ve sığ olarak

adlandırılan problemlerde bazı basitleştirmeler yaparak elde edilen denklemleri çözmek daha pratik olmaktadır. Sığ olarak tanımlanabilecek okyanuslardaki gelgitler, sığ sahillerde dalga kırılması, akarsulardaki taşkınlar, kabarma dalgaları ve baraj yıkılması gibi yerçekimi etkisi altında hareket eden değişken açık kanal akımı problemlerinin çözümünde sığ su veya Saint-Venant denklemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Sığ su denklemleri Navier-Stokes denklemlerinin indirgenmesiyle ya da kütle ve momentumun korunumu ifadelerinin bir kontrol hacmine uygulanmasıyla elde edilebilmektedir. Denklemlerde değişkenler derinlik ortalamalı ifade edildiğinden bilinmeyenler yükseklik ve hızdır. Dolayısıyla sığ su denklemlerinin sayısal çözümü ile su seviyeleri doğrudan hesaplanabilmektedir ve RANS denklemlerinde olduğu gibi serbest yüzeyin belirlenmesi için genellikle ayrı bir yöntem gerekliliği duyulmamaktadır.

Denklemlerin türetilmesi sırasında aşağıda sıralanan temel kabuller yapılmaktadır:

- Düşey yöndeki ivmeler ihmal edilir. Dolayısıyla tüm noktalarda hidrostatik basınç etkilidir, akım çizgileri paraleldir.
- Yatay hız bileşeni üniformdur, hız sadece akarsuyun boyuna doğrultusunda değişir.
- Akarsu yatağının boyuna eksen düz bir çizgidir.
- Akarsu yatağının taban eğimi küçüktür. Dolayısıyla su derinliği h , düşey eksen üzerinde ölçülebilir.
- Akarsu yatağı sabittir. Oyulma ve yığılma meydana gelmez.
- Serbest yüzeyli üniform akım için kullanılan sürtünme katsayısı, değişken akımlara da uygulanabilir. Manning denklemi ile sürtünme etkileri tanımlanabilir.
- Akım sıkıştırılmaz olup, her noktasında yoğunluğu sabittir.

Yapılan bu kabuller doğadaki akım davranışı düşünüldüğünde çok gerçekçi değildir. Bununla birlikte çok hassas olmasa da sığ su denklemleri kullanılarak yapılan modellemelerde hızlı ve tatmin edici sonuçlar elde edilebilmektedir. Ancak incelenen probleme göre bu kabullerin ihmal edilip edilemeyeceğinin bilinmesi de önem taşımaktadır. Örneğin, hidrolik sıçramaların olduğu bir bölgede, düşey ivme bileşenleri ihmal edilemeyeceğinden bu denklemleri kullanarak gerçekleştirilen bir

çözüm sağlıklı olmayacaktır. Akım çizgileri aşırı eğriliklere sahipse başka bir ifade ile düşey ivmeden dolayı basınç dağılımı hidrostatik değilse bu durumda akımın matematiksel çözümünde diğer bir alternatif olarak Boussinesq denklemleri kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda, düşey akım hızının derinlik boyunca kanal tabanında sıfırdan başlayarak su yüzeyinde maksimum değeri alacak şekilde değiştiği kabul edilmektedir (Chaudhry, 1993). Sığ su denklemleri yavaş değişen akımları Boussinesq denklemleri ise hızlı değişen akımları daha iyi temsil etmektedir. Baraj yıkılması akımı, hızlı değişen değişken akım problemi olmasına rağmen sadece yıkılmanın başlangıç aşamasında hidrostatik olmayan basınç dağılımı meydana geldiği fakat sonraki zamanlarda bu dağılımın hidrostatik olduğu kabul edilmektedir (Mohapatra ve ark., 1999; Quecedo ve ark., 2005). Bu nedenle baraj yıkılması problemlerinin Saint-Venant denklemlerine dayanan sayısal çözümlerinde hızlı ve yeterli hassasiyette sonuçlar elde edilebilmesinden dolayı günümüzde halen oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bundan sonraki bölümde, öncelikle genel olması bakımından, düzensiz enkesite sahip bir kanal için Saint-Venant denklemleri elde edilecek ve literatürde sıkça karşılaşılan formları da gösterilecektir. Genel denklemler daha sonra kolaylıkla basit dikdörtgen bir kanala uygun hale dönüştürülebilmekte veya iki boyutlu hale genişletilebilmektedir.

5.3 Saint-Venant Denklemlerinin Elde Edilmesi

Akışkanlar mekaniğindeki temel kanunların bir kontrol hacmine uygulanması ile ortaya çıkan denklemler integral veya diferansiyel formda olabilir. Seçilen sonlu büyüklükteki bir kontrol hacmine uygulanması sonucu elde edilen integral formdaki denklemlerde akım özelliklerinin bu hacimdeki noktasal değişimleri hakkında bilgi vermemektedir. Akım özellikleri hakkında daha detaylı bilgi edinilmek isteniyorsa temel kanunların uygun bir koordinat sistemindeki diferansiyel boyutlu bir kontrol hacmine (KH) uygulanması gereklidir. Bu şekilde akımı idare eden denklemler diferansiyel denklem formunda elde edilir (Kırkgöz ve ark., 2003).

Akımın herhangi bir N sistem özelliği için (kütle, momentum, enerji gibi) gerekli olan integral formdaki denklemler dönüşüm (transformation) denklemi yardımıyla bulunabilir.

$$\frac{DN}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{KH} \eta \rho dV + \oint_{KH} \eta \rho v \cdot dA \quad (5.16)$$

Bu denklem, akımın N sistem özelliğinin birim zamandaki değişiminin, kontrol yüzeyinden (K.Y.) birim zamanda net olarak çıkan N ile kontrol hacmindeki (K.H.) N'nin birim zamandaki değişiminin toplamına eşit olduğunu ifade etmektedir. Denklemde N; kütle, momentum, enerji gibi akımın herhangi bir sistem özelliğini, η ise bu özelliğin birim kütleye gelen değerini yani sistemin yoğunluk özelliğini göstermektedir (Kırkgöz ve ark., 2003).

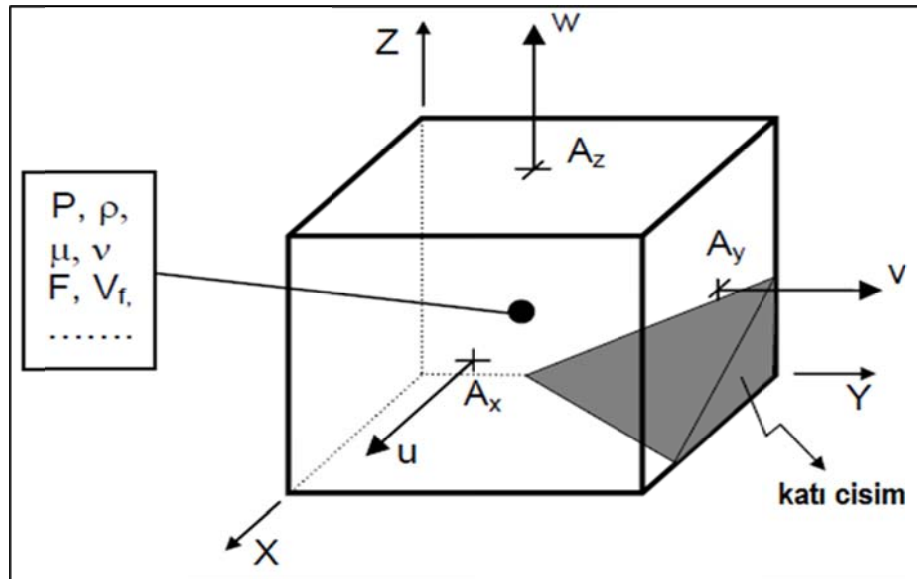
BÖLÜM ALTI

FLOW-3D

6.1 FLOW-3D Yazılımı

Bu çalışmada Tahtalı Barajının yıkılması durumunda oluşacak taşkın sayısal modellemesinde FLOW-3D yazılımı kullanılmıştır. FLOW-3D yazılımı; momentum, süreklilik ve temel enerji kanunlarının en genel hallerine dayandığından, hemen hemen her türlü akışkanlar mekaniği problemlerinde uygulanabilmektedir. Aynı zamanda yazılımın, özellikle serbest yüzeyli (açık kanal) akım problemlerinin çözümünde oldukça başarılı olduğu görülmüş ve yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Sonlu hacimler yöntemi; üç boyutlu süreklilik ve hareket (RANS: Reynolds Averaged Navier Stokes) denklemlerinden oluşan diferansiyel denklem sisteminin çözümü için kullanılmaktadır. Hesaplamalar ise, uniform olmayan ve dikdörtgen hücrelerden oluşan bir çözüm ağı üzerinde yapılmaktadır. Akışkana ait basınç, yoğunluk, viskozite gibi skaler büyüklükler kontrol hacminin (hücre) merkezinde yer alırken, sadece hızlar (u , v , w) kontrol hacminin yüzeyinde hesaba katılmaktadır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Bir hesaplama hücresine etkiyen değişkenlerin gösterimi (Kocaman, 2008)

Benzer yazılımların aksine, çözüm ağı üzerinde bazı hücelere engeller konularak kapatılması sağlanır. Böylelikle problem geometrisi elde edilir. Bu yöntem; FAVOR (fractional area/volume obstacle representation) olarak adlandırılır. Kontrol hacmi içerisinde bulunan bir engelin, kontrol hacminin ne kadarlık bir kısmını kapladığı (volume fraction) ve bu engelin kontrol hacminin her bir yüzeyinde ne kadar alanı kapattığı hesaplanır ve bu iki değer oranlanır. Bu yöntem; engelleri tanımlamada kullanılan bir boşluk tekniğidir. Bu değer; kontrol hacminin tamamı engel ile dolu ise “0”, tamamen boş ise “1” alınır. Kısmi olarak engel ile dolu bir hücrenin bulunması durumunda, bu değer hücrede kapladığı hacmin yüzdesine bağlı olarak “0” ile “1” arasında bir değer alır. Bu durum her bir hücredeki yüzeylerin akıma açık olan alanlarını ifade eder. Dolayısıyla bu da söz konusu hücrede ne kadar akışkan bulunduğunu gösterir. Bu yöntem; karmaşık şekle sahip sınırlarda, rastgele seçilmiş ağ aralıkları kullanılsa dahi, engel geometrisini iyi tanımlayabilme imkânı sunmaktadır. Yöntemde kullanılan sınırlarda sayısal çözüm hassasiyeti artmaktadır.

Ek olarak; problemlerde, arazinin geometrisi CAD yazılımları ile oluşturulup, çözüm ağı içerisine rahatlıkla yerleştirilebilmektedir. Bu da, oldukça düzensiz açık kanal problemlerinin (topoğrafyaya sahip akarsu, baraj gölü, dolu savak gibi) kolaylıkla 3 boyutlu modellerinin oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Modelleme sırasında, daha küçük ağ aralıklarının kullanılması önerilmektedir. Modeli bu şekilde geliştirmek çözüm alanı içerisindeki engel sınırlarının daha düzgün bir şekilde tanımlanmasını sağlamaktadır. Yazılımda, su-hava ara kesitine sahip serbest yüzeyleri belirlerken, akışkan hacmi (VOF: Volume of Fluid) yöntemi kullanılmaktadır (Hirt ve Nichols, 1981). VOF yöntemi ile hücrelerin boş, tam veya kısmen suyla dolu olduğu durumlar belirlenir. Bu yöntem, FAVOR yöntemine benzer biçimde oluşturulur. Hesaplama alanı üzerinde bir akışkan hacmi (F) tanımlanır.

FAVOR yönteminde olduğu gibi, eğer bir hücre tamamen akışkan ile dolu ise “1” değeri, tamamen boş ise “0” değeri ve kısmen dolu ise hücrede kapladığı yüzde değerini alır. Serbest yüzeyin eğime sahip olduğu durumlarda; bir hücrenin yüzeyin

yerini ve eğimini belirlemek için kendisini çevreleyen diğer hücreleri göz önünde bulunduran bir algoritma kullanılmaktadır.

VOF yöntemi kullanılarak serbest yüzey üç kısım ile oluşturulur. İlk olarak serbest yüzeyin yeri bulunur. Ardından bu yüzey, su ve hava arasında keskin bir arakesit olarak belirlenir. Son olarak da bu arakesite sınır şartları uygulanır. Arakesit üzerinde sıfır kayma gerilmesi ve sabit basınç sınır koşulları uygulanmaktadır. Akışkan hacim fonksiyonu olarak tanımlanan F'nin değişimi 6.1 diferansiyel denklemi ile verilmektedir:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} + w \frac{\partial F}{\partial z} = 0 \quad (6.1)$$

Bu denklem ile F değerinin akışkan ile birlikte hareket ettiği görülmektedir. İçerisinde engel bulunan 3 boyutlu bir serbest yüzey probleminin FLOW-3D yazılımı ile çözümünde, çözüm ağı içerisindeki herhangi bir hücrede beş farklı durumdan biri söz konusu olabilir. Bu durumlarda hücre; tamamen katı, kısmen katı veya sıvı, tamamen sıvı, kısmen sıvı ile dolu ve tamamen boş olabilir. FLOW-3D iki denklemlilik- ϵ , Prandtl karışma boyu, türbülans enerji, RNG (Renormalized Group) ve LES (Large-Eddy Simulation) gibi farklı türbülans yaklaşımlarını içerisinde barındıran bir yazılımdır. Çözüm ağı sınırlarında uygulanabilecek farklı sınır şartları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; simetri, duvar, bağlayıcı (continuitive), periyodik basınç, hız ve çıkan akım (outflow) vb. Söz konusu yazılımda; süreklilik ve hareket denklemleri, eş zamanlı ve üç boyutlu (3B) olarak çözülebilmektedir. Sıkışmayan akım için kullanılan Kartezyen koordinatlardaki süreklilik ve hareket denklemleri sırasıyla 6.2 ve 6.3 bağıntıları ile verilmektedir:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i A_i) = 0 \quad (6.2)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u_j A_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + g_i + f_i \quad (6.3)$$

- u_i : i doğrultusundaki akım hızı
 P : Basınç
 A_i : i doğrultusunda her bir hücredeki akışkanın sahip olduğu alan
 V_F : Her bir hücredeki akışkanın sahip olduğu hacim
 g_i : Kütleli kuvvetler
 f_i : Herhangi bir türbülans modeli için Reynolds gerilmeleri

Bir akışkan hacmi için Reynolds gerilmeleri (f_i) 6.4 eşitliği ile ifade edilmektedir:

$$f_i = \frac{1}{\rho V_F} \left[w s_i - \frac{\partial}{\partial x_j} (A_j \tau_{ij}) \right] \quad (6.4)$$

- $w s_i$: Duvar kayma gerilmesi
 τ_{ij} : Gerilme hızı tansörü

Duvar kayma gerilmeleri ise 6.5 ve 6.6 bağıntıları ile ifade edilmektedir:

$$\tau_{ii} = -2\mu_T \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right] \quad (6.5)$$

$$\tau_{ij} = -\mu_T \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (6.6)$$

μ_T : Türbülans etkilerini ifade eden ve çalkantı gerilmelerini de içeren toplam dinamik viskozite 6.7 bağıntısı ile verilmiştir:

$$\mu_T = \mu + \mu_t \quad (6.7)$$

Duvar sınır koşulları, seçilen türbülans modeline (turbulence closure scheme) göre farklı olarak değerlendirilmektedir. Taşınımlı türbülans kapatma şemalarının

çözümü için (k-ε gibi) bir duvar fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon, sınır tabakası içerisindeki hız dağılımını verir. Yazılımda; kayma hızı (u^*)'ı çözmek için pürüzlü ve pürüzsüz bir duvar yüzeyi için genelleştirilmiş olan 6.8 bağıntısındaki logaritmik duvar fonksiyonu kullanılmaktadır (Flow Science, 2007):

$$u_0 = u_* \left[\frac{1}{K} \ln \left(\frac{\rho u_* y_0}{\mu + \rho a u_* k_s} \right) + 5 \right] \quad (6.8)$$

κ : Von Karman sabiti

a: Türbülans modeline bağlı sabit (k-ε modeli için 0.247)

k_s : Engel pürüzlülüğü

y_0 : Herhangi bir noktadaki (u_0) teğetsel hızının engelden olan uzaklığı

Denklem (6.8)'deki parantez içindeki ifadenin paydası, pürüzlü sınırın etkisinden dolayı oluşan etkili viskozitedir ($\mu_{eff} = \mu + \rho a u_* k_s$). Eğer hücre laminer alt tabakaysa ($R^* = \rho u_* y_0 / \mu \leq 5$), kayma hızının çözümü için 6.9 eşitliği kullanılır:

$$u_* = \sqrt{\frac{\mu u_0}{\rho y_0}} \quad (6.9)$$

Kayma hızı (u^*) için elde edilen çözüm, türbülans taşınım denklemlerinde (denklem (6.21) sınır şartı olarak kullanılır. Daha sonra; toplam dinamik viskozite (μ_T) ve doğrudan duvar kayma gerilmesi w_{si} aracılığıyla, pürüzlülük etkileri çözüme dahil edilir. Bu da 6.10 bağıntısı ile ifade edildiği şekildedir:

$$w_{si} = \sum_j \frac{2\rho |u_{*i}| u_{*i}}{\Delta x_j} \quad (6.10)$$

Laminer akımlar ve taşınımsız türbülans kapatma şemaları (LES modeli) için duvar kayma gerilmesi (w_{si}) 6.11 bağıntısı ile aşağıda verilmektedir:

$$w_{si} = \frac{(\mu + \rho a u_0 k_s) u_0}{y_0} \quad (6.11)$$

Daha sonra; doğrudan denklem 6.4 aracılığıyla hesaplanan duvar kayma gerilmesi (wsi), momentum denkleminin çözümüne dahil edilmektedir.

6.1.1 k- ε Türbülans Modeli

FLOW-3D; birkaç farklı türbülans kapatma (closure) şeması içermektedir. Bunlar; bir denklemlilik türbülans enerji (k), iki denklemlilik (k- ε), “Renormalization Group” (RNG), “Large Eddy Simulation” (LES) ve Prandtl karışma boyu modelidir. Bu çalışmada, farklı türbülans modellerinin duyarlılığı araştırılmadığından, literatürde bu konuda en yaygın şekilde tercih edilen ve en çok doğrulanmış olan k- ε türbülans modeli kullanılmıştır (Wilcox, 2000; Shigematsu ve ark., 2004). Bu model özellikle yüksek Reynolds sayısına sahip akışlarda daha uygun sonuçlar vermektedir ve sınır tabakası dışında geçerlidir. Bu modelde kinetik enerji, “k” ve sönümlenme oranı (dissipation rate), “ε” için ayrı taşınım denklemlilik yazılır. Genellikle iki denklemlilik olarak bilinen k- ε modelinde, Reynolds gerilmesini verecek çevri (türbülans) viskozitesi 6.11 ifadesi tanımlanmaktadır:

$$\mu_t = \frac{\rho C_\mu k^2}{\varepsilon} \quad (6.12)$$

Türbülans kinetik enerji k ve sönümlenme oranı için kapatma denklemlilikleri 6.13 ve 6.14 eşitlikleri ile verilir:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial X_j} = \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial X_j} - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\left(\vartheta + \frac{\vartheta_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial X_j} \right] \quad (6.13)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial X_j} = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{K} \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial X_j} - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\left(\vartheta + \frac{\vartheta_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial X_j} \right] \quad (6.14)$$

Kapatma katsayıları ve yardımcı ilişkiler aşağıda 6.15, 6.16, 6.17 ve 6.18 bağıntıları ile toplu olarak verilmektedir:

$$C_{\varepsilon 1} = 1.44, C_{\varepsilon 2} = 1.92 \quad (6.15)$$

$$C_{\mu} = 0.09 \quad \sigma_k = 1.0 \quad \sigma_{\varepsilon} = 1.3 \quad (6.16)$$

$$\omega = \frac{\varepsilon}{C_{\mu} k} \quad (6.17)$$

$$l = \frac{C_{\mu} k^{3/2}}{\varepsilon} \quad (6.18)$$

Burada Reynolds gerilme tansörü, τ_{ij} ve ortalama gerilme-oranı tansörü, e_{ij} , sırasıyla 6.19 ve 6.20 bağıntıları ile verildiği gibidir:

$$\tau_{ij} = 2\vartheta_t e_{ij} - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (6.19)$$

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (6.20)$$

Denklem 6.21'de k ve ε için verilen sınır koşulları, denklem 6.8 ve 6.9'de verilen logaritmik duvar fonksiyonları kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$k = \frac{u_*^2}{\sqrt{c_{\mu}}}, \quad \varepsilon = \frac{u_*^3}{k y_0} \quad (6.21)$$

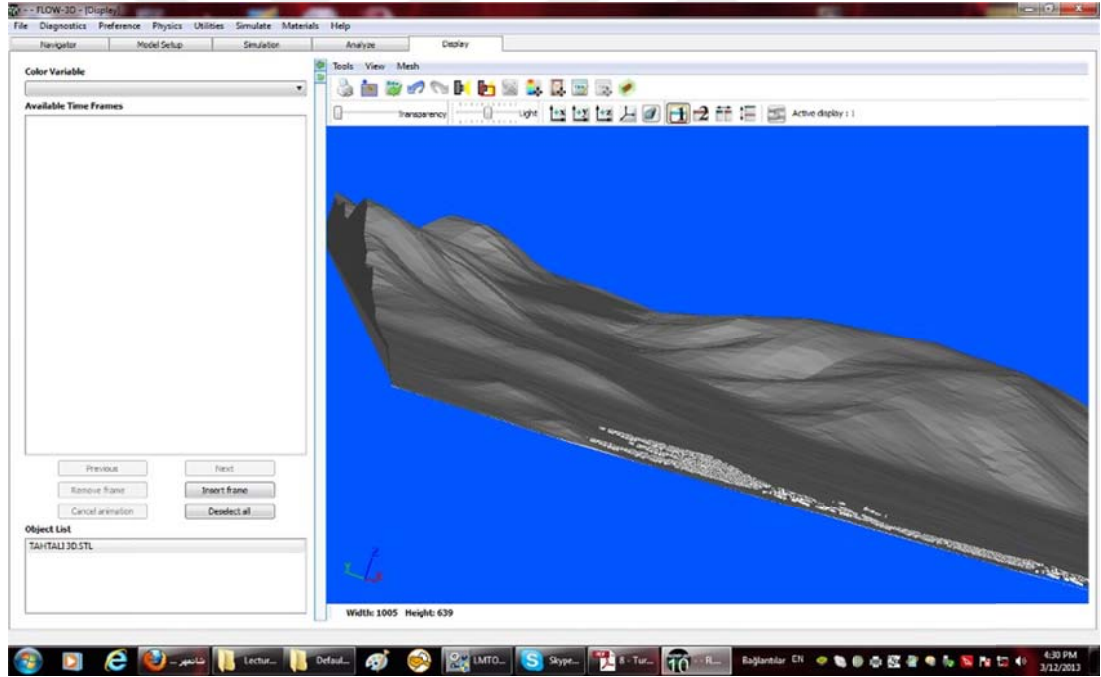
BÖLÜM YEDİ

TAHTALI BARAJININ FLOW3D İLE MODELLENMESİ

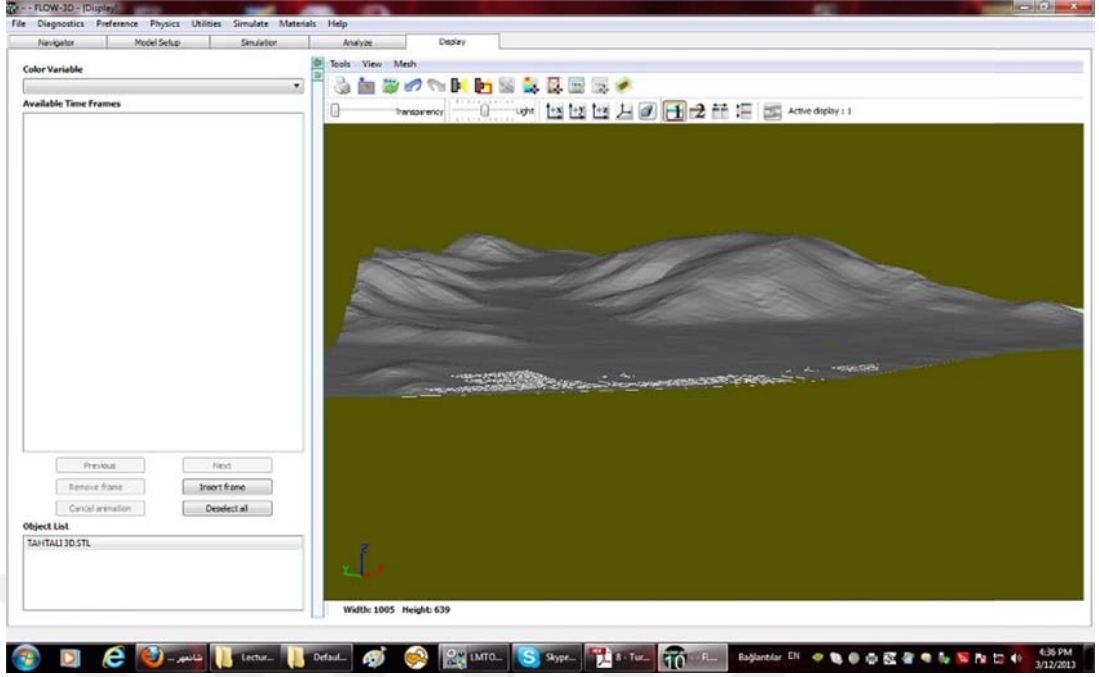
7.1 Modelleme

Arazi topografyasının modellenmesi FLOW 3D programın'da yapılamadığından ilk önce "Google SketchUp" ve "AutoCad" programları yardımıyla arazi modellenmesi gerçekleştirilmiş ve daha sonra .stl formatında FLOW 3D programına aktarılmıştır.

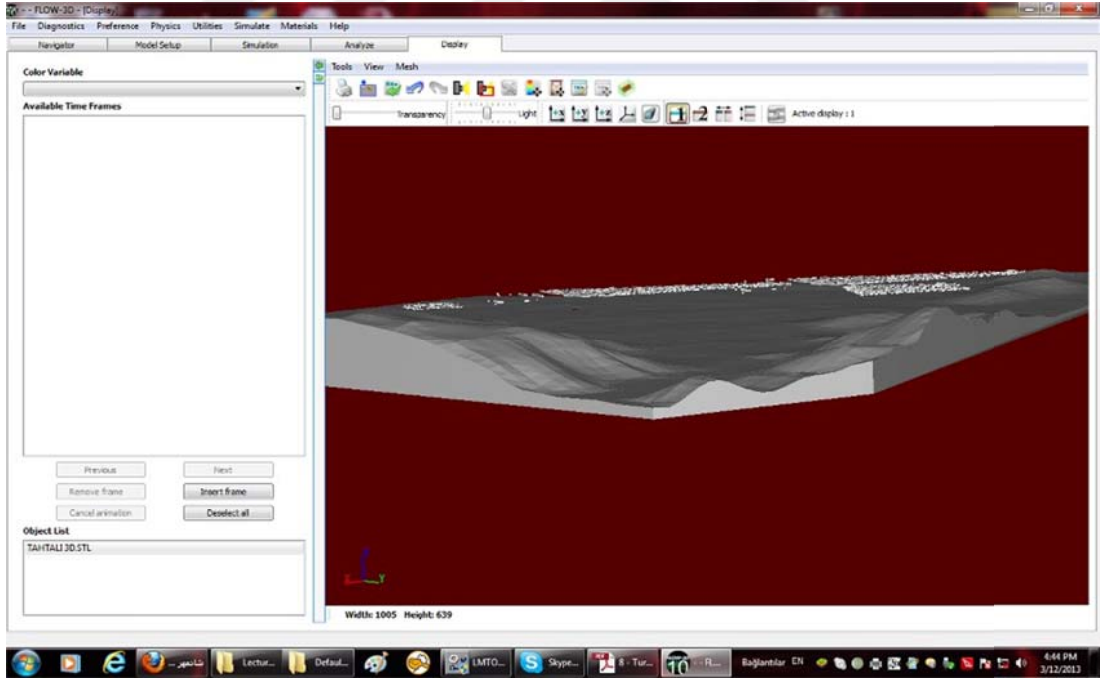
Şekil 7.1, 7.2 ve 7.3'de FLOW3D programının arazi topografyası modellenmesi esnasındaki ve analiz sonuçlarının yer aldığı ekran görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 7.1 Flow-3D'ye aktarılmış arazi topoğrafyası



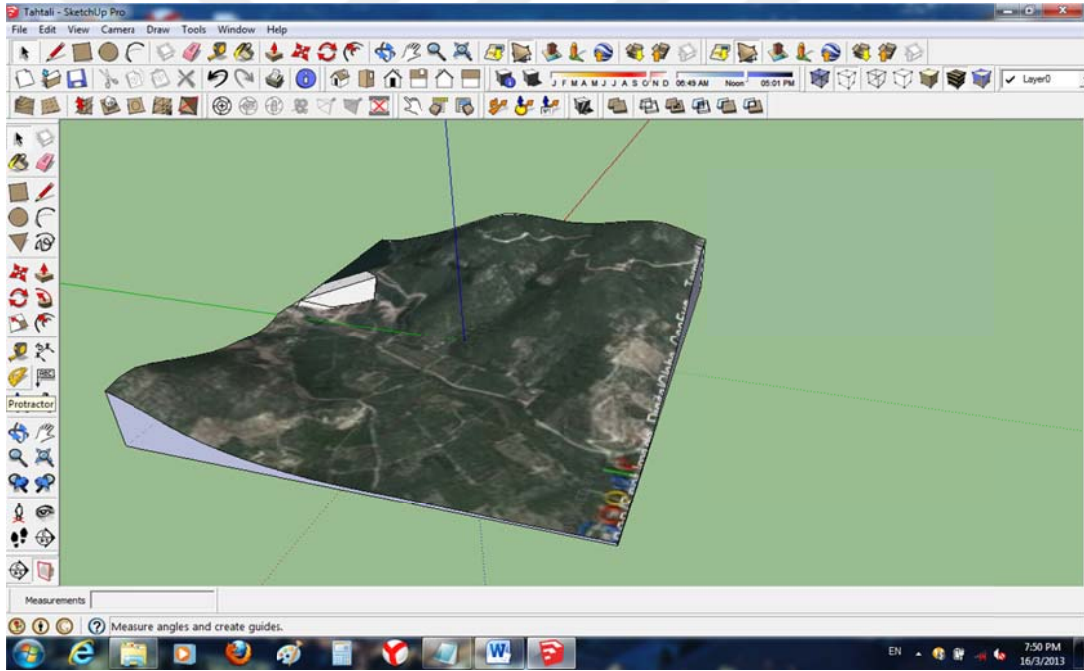
Şekil 7.2 Flow-3D'ye aktarılmış arazi topoğrafyası ve yerleşim yerleri



Şekil 7.3 Flow-3D'ye aktarılmış arazi topoğrafyası ve yerleşim yerleri barajın arkasından

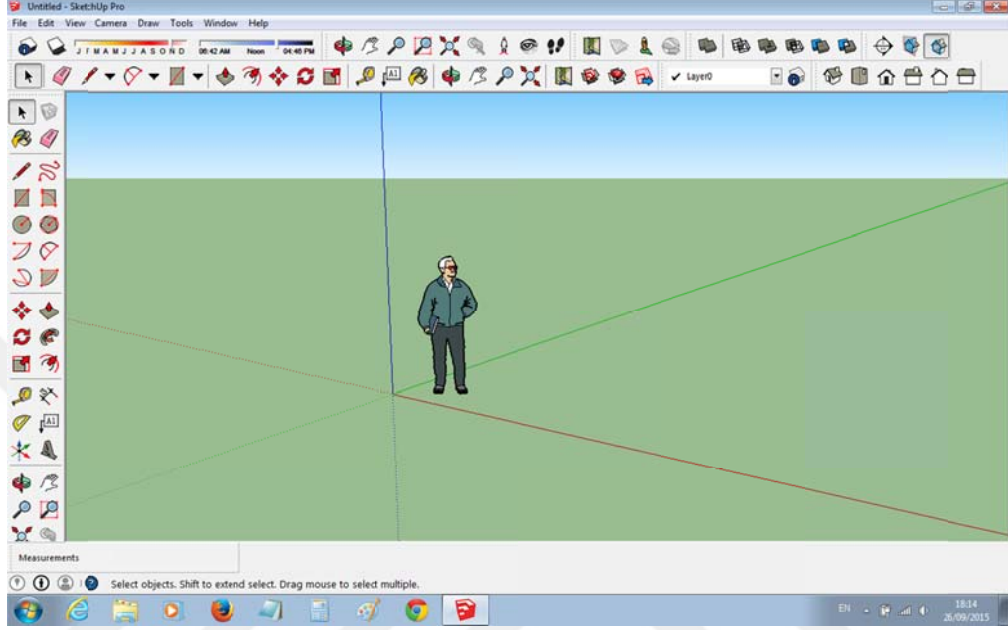
FLOW-3D yazılımı; dairesel, dikdörtgenel ve üçgenel modelleme yapılmasına izin vermektedir. Bu yüzden baraj şeklinin tam olarak çıkarılması mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla gerekli modellemenin yapılabilmesi için, bu işlemin yapılmasına imkan verebilecek bir programın seçilmesi ihtiyacı doğmuştur. Söz konusu durum için uygulamada Sketch-up programından yararlanmaya karar verilmiştir. Baraj gövdesinin modeli Sketch-up programında hazırlandıktan sonra stl formatında kaydedilmiş ve FLOW-3D programında “import” seçeneğini kullanılarak aktarılmıştır.

Şekil 7.4’te Sketch-up programında arazi topografyası ve baraj gövdesi görülmektedir.



Şekil 7.4 Sketch-up programında topoğrafya ve baraj

İlk başta barajın etrafındaki araziyi eklemek için şekil 7.5'de görülen pencere'de Sketchup programın'da Google sekmesinden Add Location-i seçiyoruz. Neticede şekil 7.6'da gösterilen pencere açılır ki birebir tanık olan Google map programıdır.

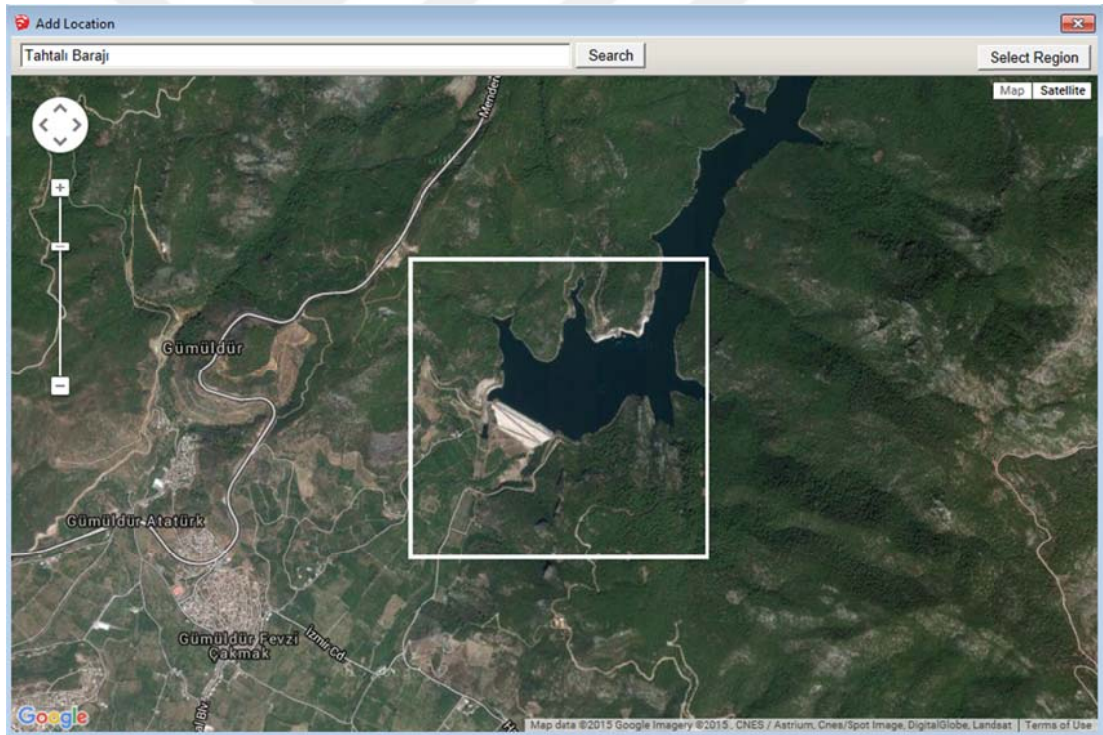


Şekil 7.5 Sketch-up programının başlangıç sayfası

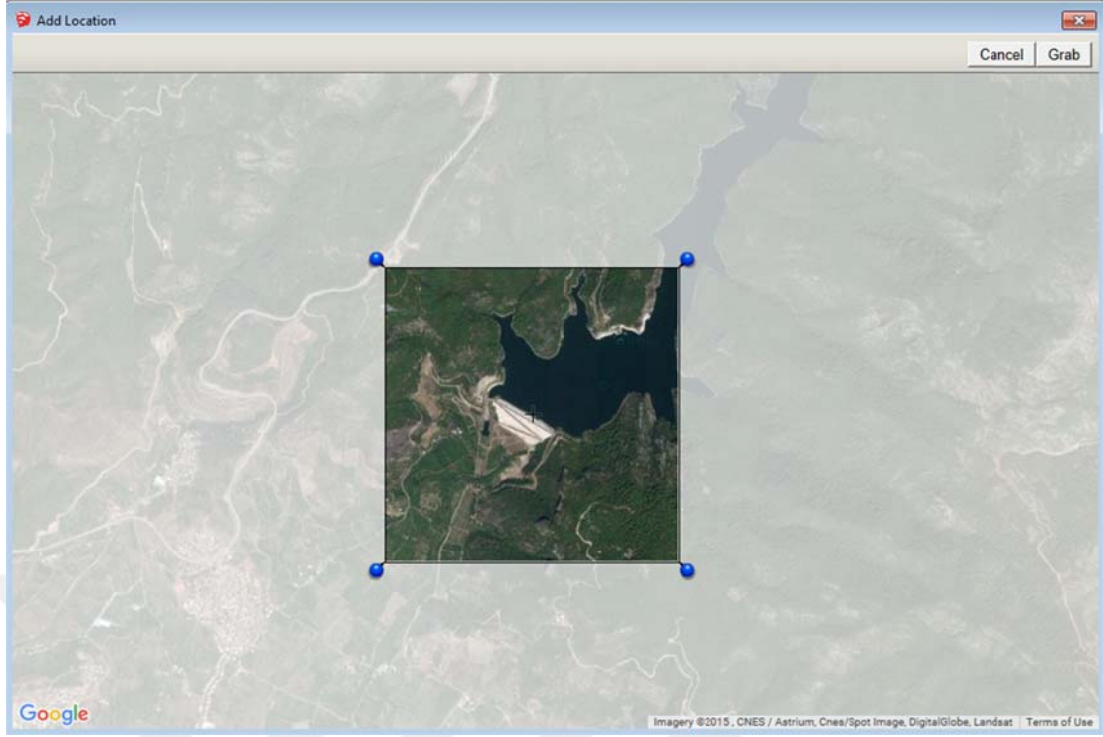


Şekil 7.6 Sketch-up programında Add Location penceresi

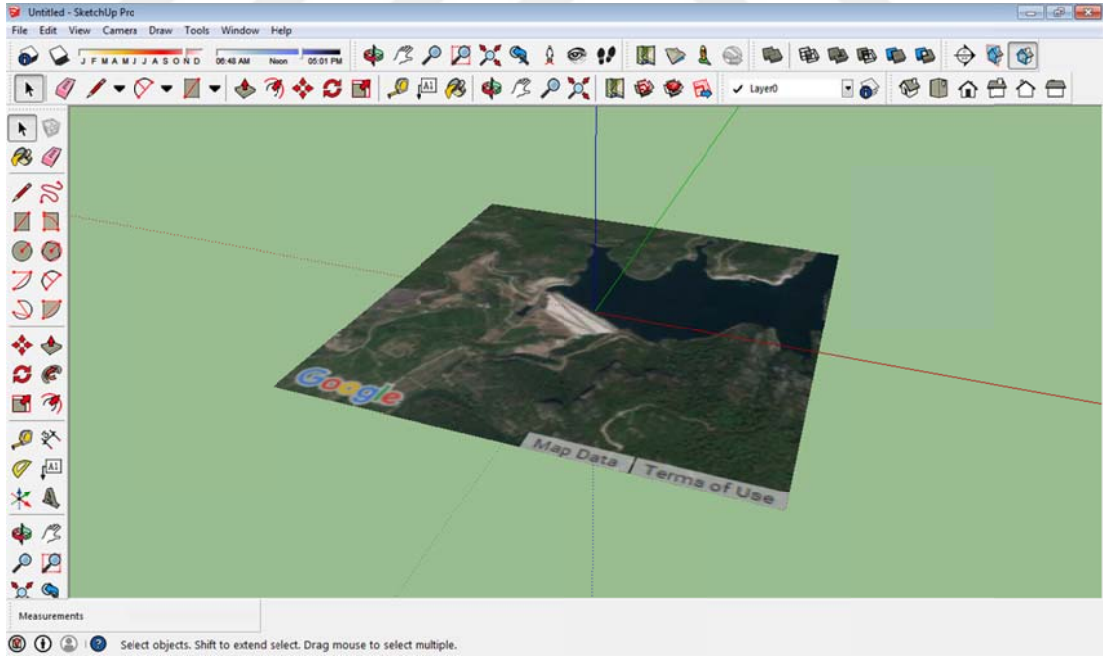
Add Location penceresinde Şekil 7.7’de görülen arama seçeneğiyle Tahtalı barajını bulduktan sonra Select Region yardımıyla baraj ve etrafındaki arazı seçilir. Maalesef Sketchup programın’da büyük bir bölgeyi bir kez seçmekle eklemek imkansız. Bu yüzden baraj ve etrafındaki arazı parça parça eklenmesi gerekiyor. Parçalar bir biriyle akıŖsa bile sketchup programı bu ayrı parçaları iyice birleŖtiriyor. Google ve altdaki görülen diğer yazılarda stl formatına aktarırken tek bir renk’den oluŖtuęu için sorun değildir. Bölgeler seçildikten sonra Şekil 7.8’de görüldüğü gibi Grab seçeneğini kullanarak istenilen bölge dosyaya eklenir. Fakat eklenen parça Şekil 7.9’da görüldüğü gibi 2 boyutlu olarak gösterilir. Bu parçayı üç boyutlu olarak göstermek için yine Google sekmesinden Toggle Terrain-i seçerek görüntü üç boyutlu yapılır. Son görüntü Şekil 7.10’da gösterilmektedir.



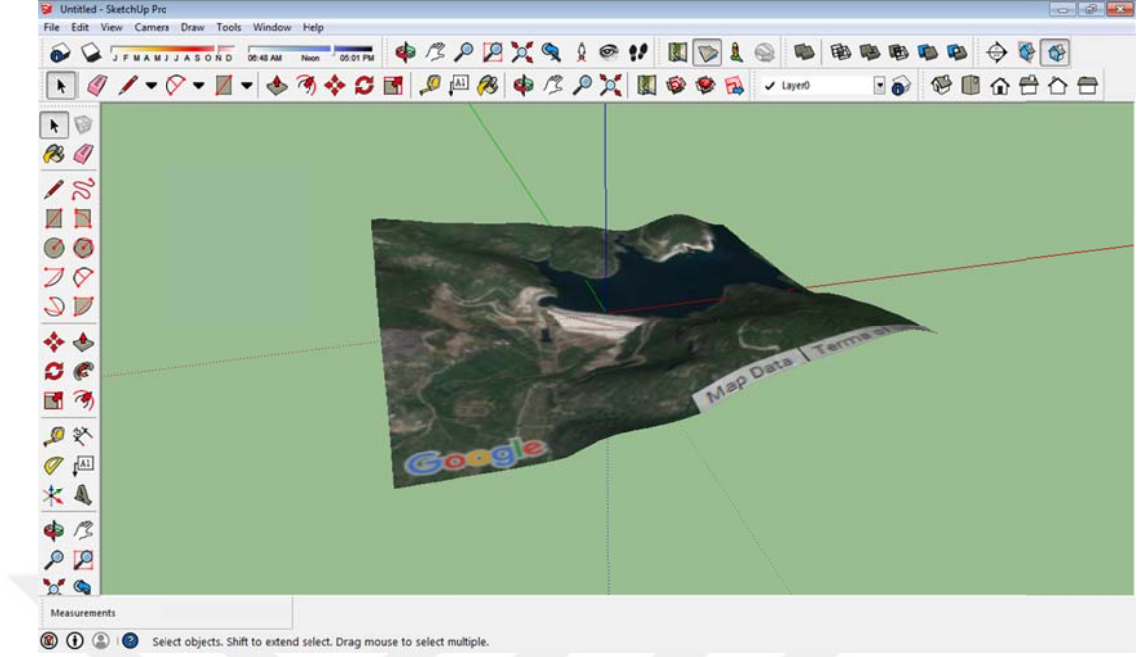
Şekil 7.7 Sketch-up programında Add Location penceresi



Şekil 7.8 Sketch-up programında Add Location penceresi

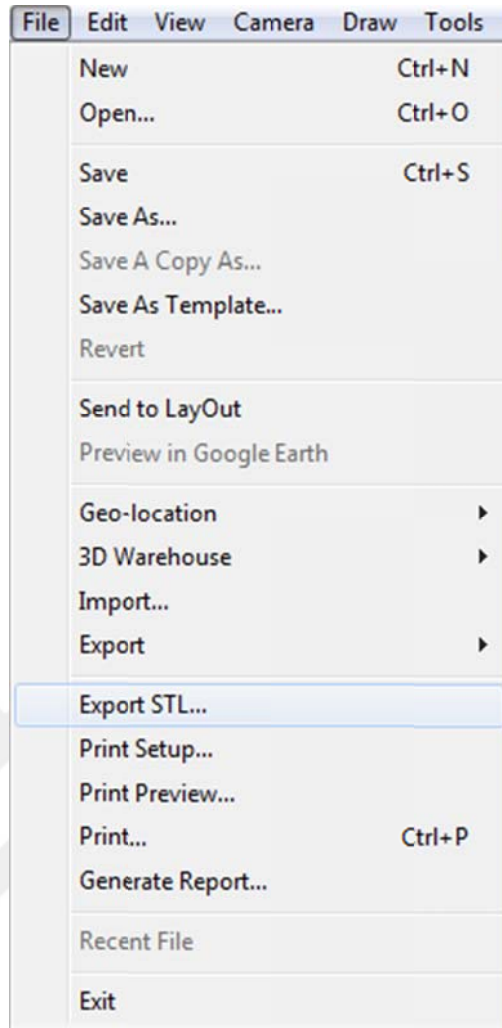


Şekil 7.9 Sketch-up programında Tahtalı barajın iki boyutlu görünümü

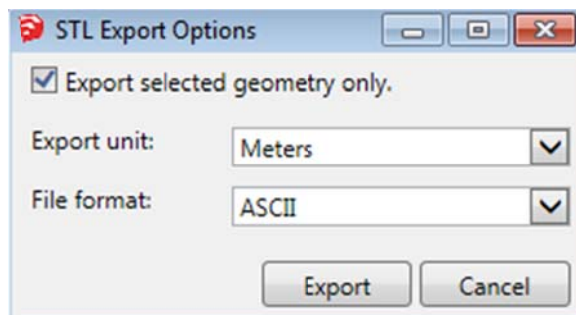


Şekil 7.10 Sketch-up programında Tahtalı barajın üç boyutlu görünümü

Bu parçaları ekledikten sonra sonuç Şekil 7.4’de gösterilmiştir. Bu dosyayı Flow-3D programın’da kullanmak için stl formatına çevirmemiz lazım ve bunun için Şekil 7.11’de görülen File sekmesinden Export STL seçeneğini seçtikten sonra Şekil 7.12’de görülen pencere görüntülenir. Bu pencerede birim ve dosyanın formatını seçtikten sonra stl dosyası kaydedilir.



Şekil 7.11 Sketch-up programında File sekmesi



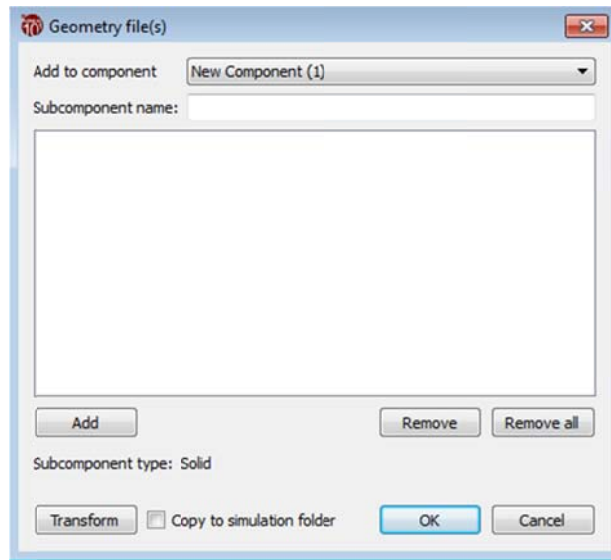
Şekil 7.12 Sketch-up programında STL Export penceresi

7.2 FLOW-3D’de Modelleme

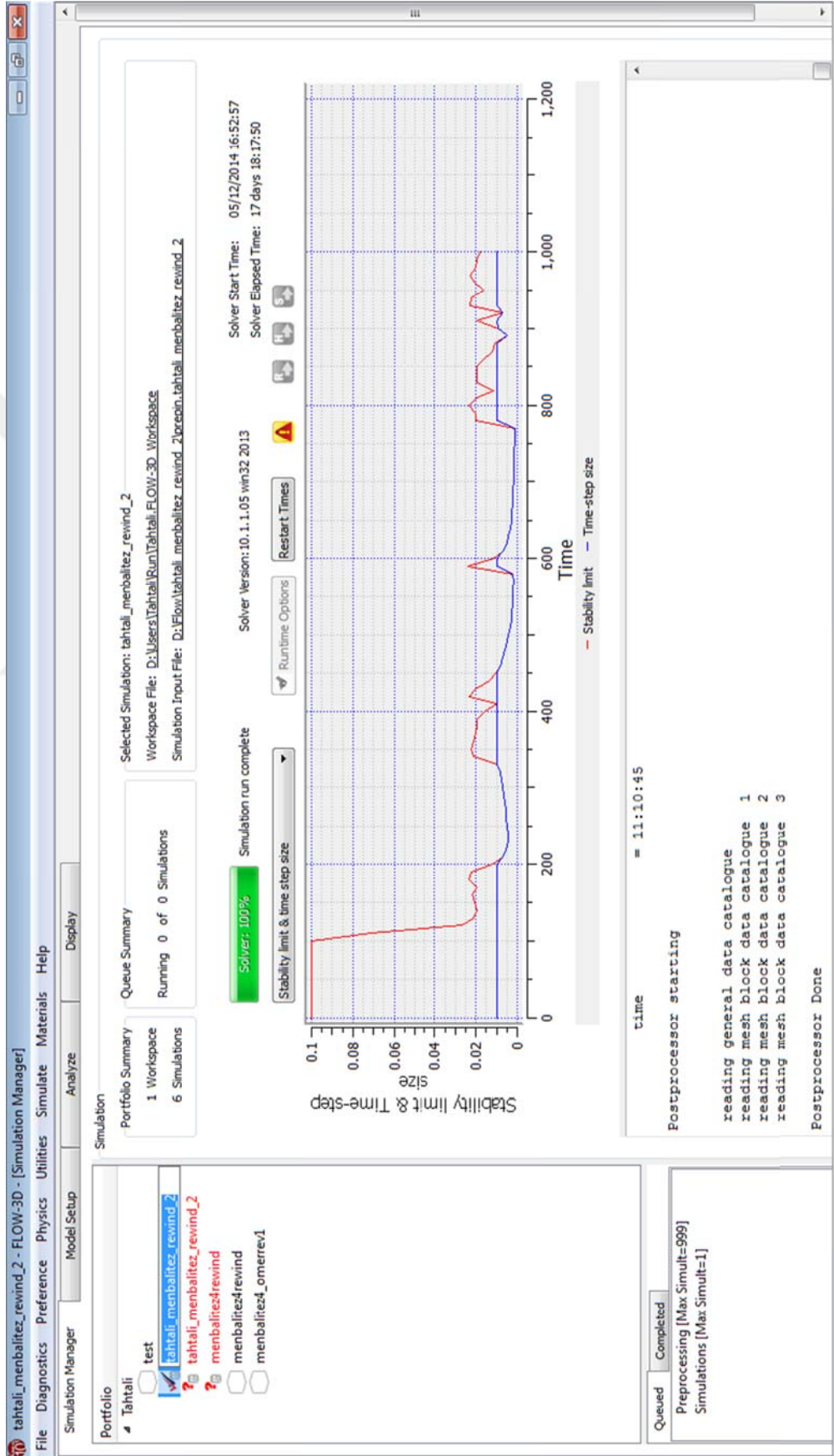
Yeni çalışma alanı ve bu alanda çalışılacak yeni simülasyonu tanımlamak için Simulation Manager sekmesi kullanılır. Yine bu sekmeden önce kaydedilmiş çalışmalar programa dâhil edilebilir veya programın kendi içinde bulunan örnekler, üzerinde çalışmak için seçilebilir. Ayrıca bu pencerede devam eden simülasyonlarda görüntülenir. Şekil 7.14 bu pencereyi göstermektedir.

Simulation Manager sekmesinde yeni bir simülasyon oluşturduktan sonra Mode Setup sekmesine geçiyoruz. Model Setup simülasyon için gerekli tüm ayarların yapıldığı sekmedir. İlk başta Sketchup programında hazırlanan dosyayı FLOW-3D’ye aktarmak için Meshing & Geometry sekmesi kullanılır. Şekil 7.15 bu pencereyi göstermektedir.

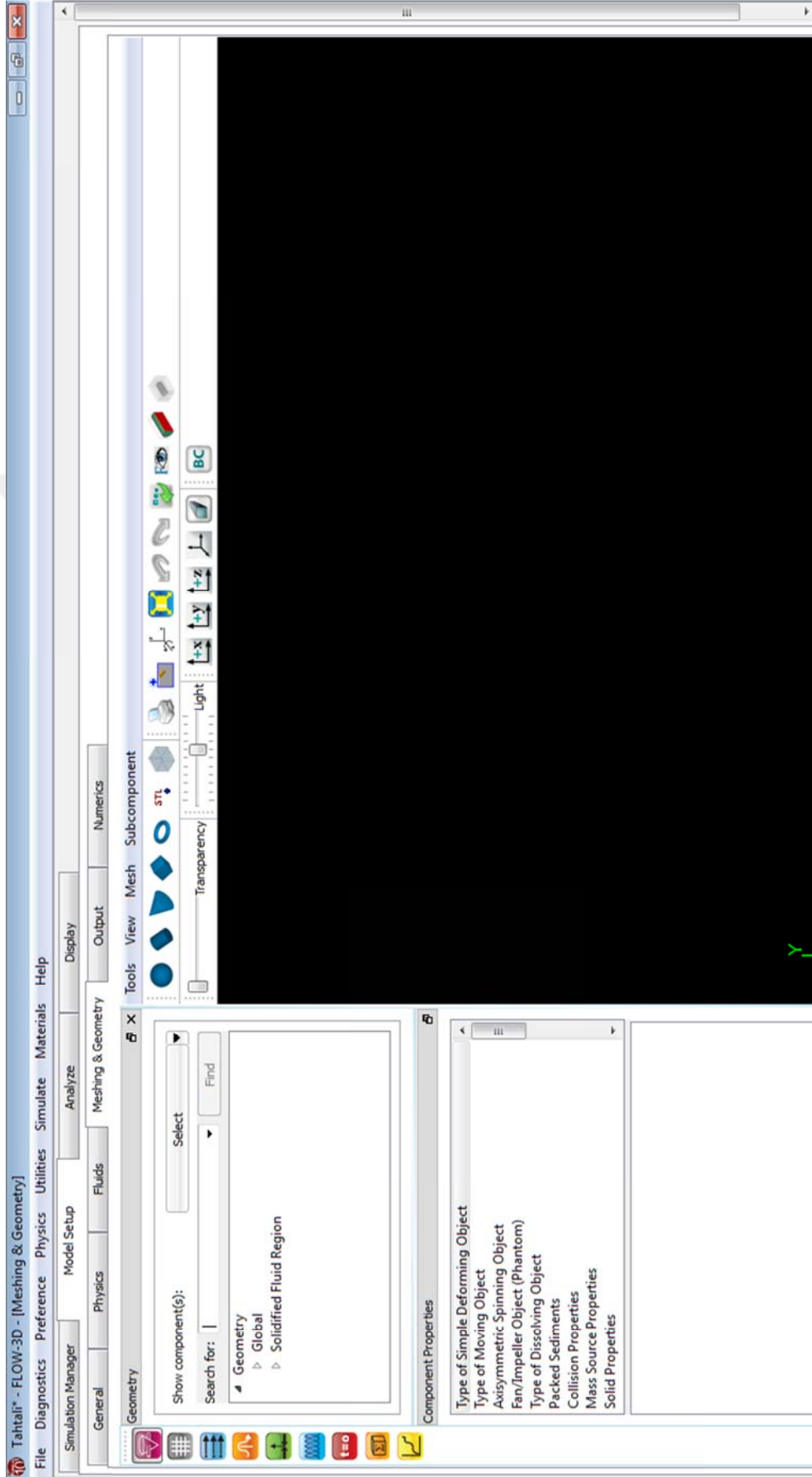
Hazır olan STL dosyayı FLOW-3D programında açmak için STL simgesine basıldıktan sonra Geometry files penceresi açılır. Add seçeneği yardımıyla daha önce Sketchup programı ile kaydedilen dosya seçilip ve FLOW-3D programına aktarılır. Geometry files penceresi Şekil 7.13’de göstermektedir.



Şekil 7.13 Geometry files penceresi



Şekil 7.14 FLOW-3D programında Simulation Manager Penceresi



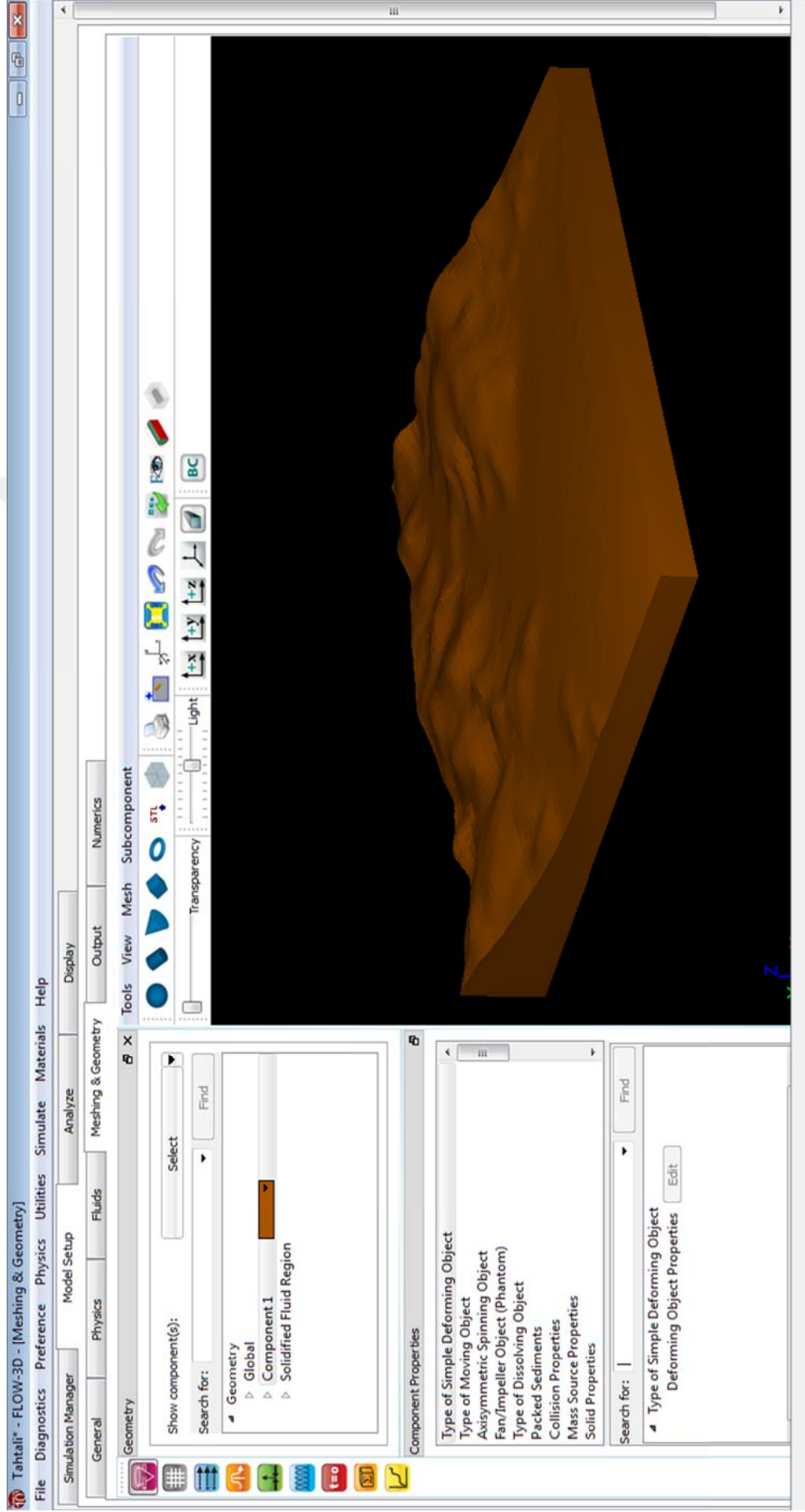
Şekil 7.15 FLOW-3D programında Meshing & Geometry sekmesi

Sketchup programında yapılan çalışmalar FLOW-3D programına aktarıldıktan sonra şekil 7.16'da gösterilmiştir.

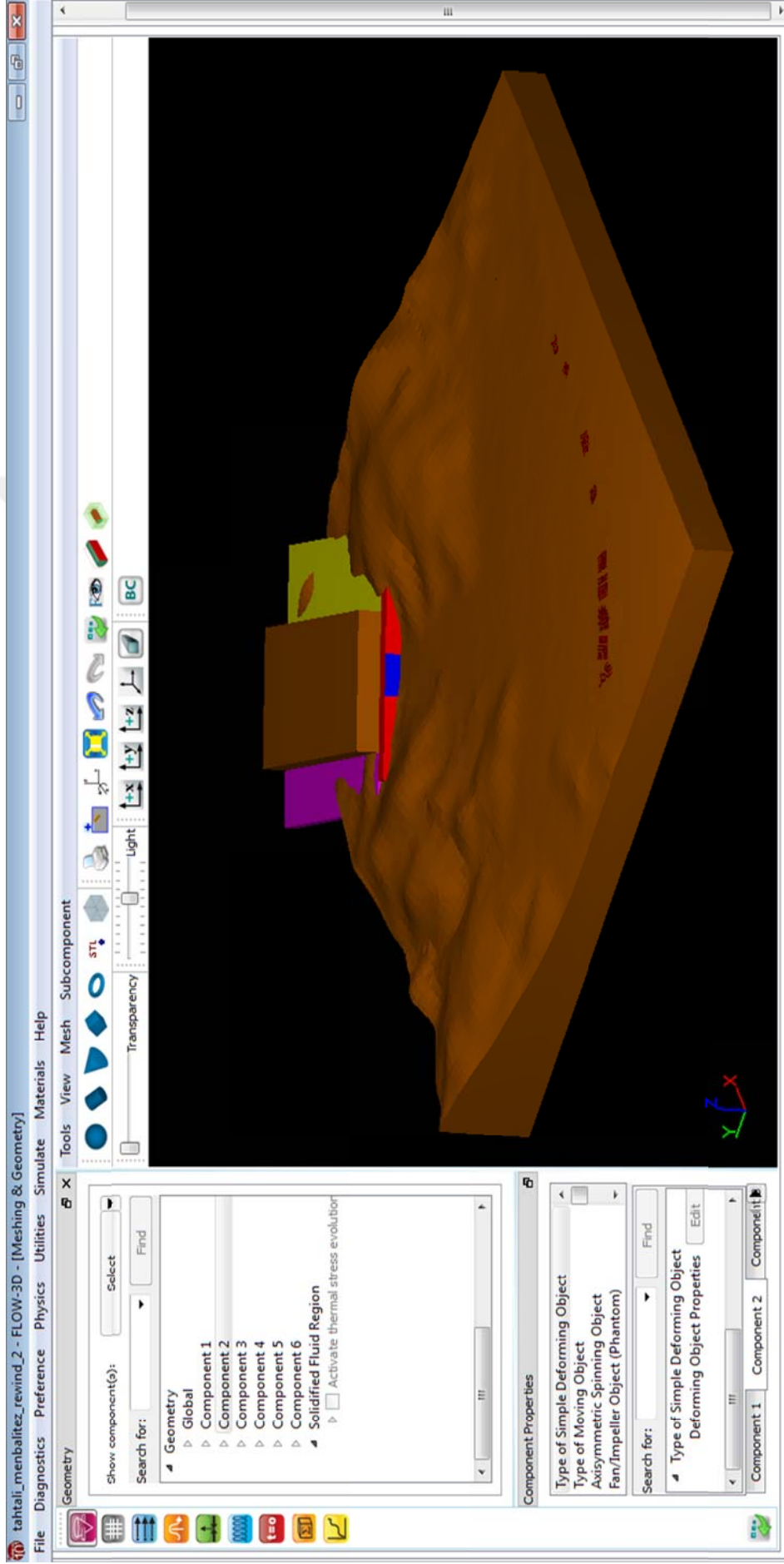
Modeli tamamlamak için aynı sekmede olan Primitives Creation yardımıyla Baraj gövdesi, arkasındaki su kütlesi, ve sonunda deniz kıyısında olan yüzlerce bina birer birer tanımlanır. Bu uzun sürecin bitmesinden sonra proje şekil 7.17'de gösterilmiştir.

Sonrakı adımda yine Model Setup sekmesinde olan diğer sekmeler yardımıyla gereken fiziksel özellikler, geometrik özellikler, istenenler, sınır koşulları ve meshing ayarlanacağı programa tanımlanır.

Model setup sekmesinde probleme ilişkin tüm ayarlar yapıldıktan sonra „run simulate,“ seçilerek çözümün başlandığı, çözümü istenilen zaman aralığında çeşitli grafiklerle gösterilebilen, kalan zamanı ve ilerleme durumu takip etmek için Simulate sekmesi kullanılır. Simulate seçeneğinde seçtiğimiz run simulation işlemi bittiğinde çözüme ilişkin 1 boyutlu, 2 boyutlu, 3 boyutlu görsel ve grafiksel sonuçların ne şekilde gösterileceğine karar verilen sekme Analyze sekmesidir. Burada yapılan tercihlerin ardından menüde render denilerek display ekranına geçilir.



Şekil 7.16 FLOW-3D programında Tahtalı barajı ve etrafındaki araziler

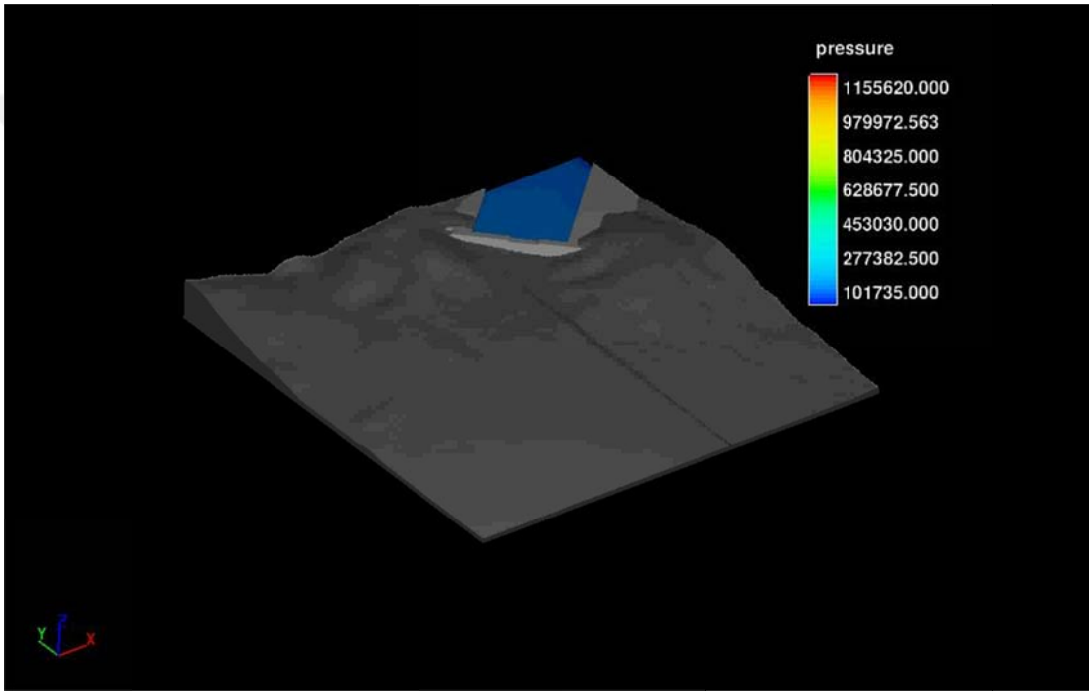


Şekil 7.17 FLOW-3D programında modellemenin son hali

7.3 Analiz

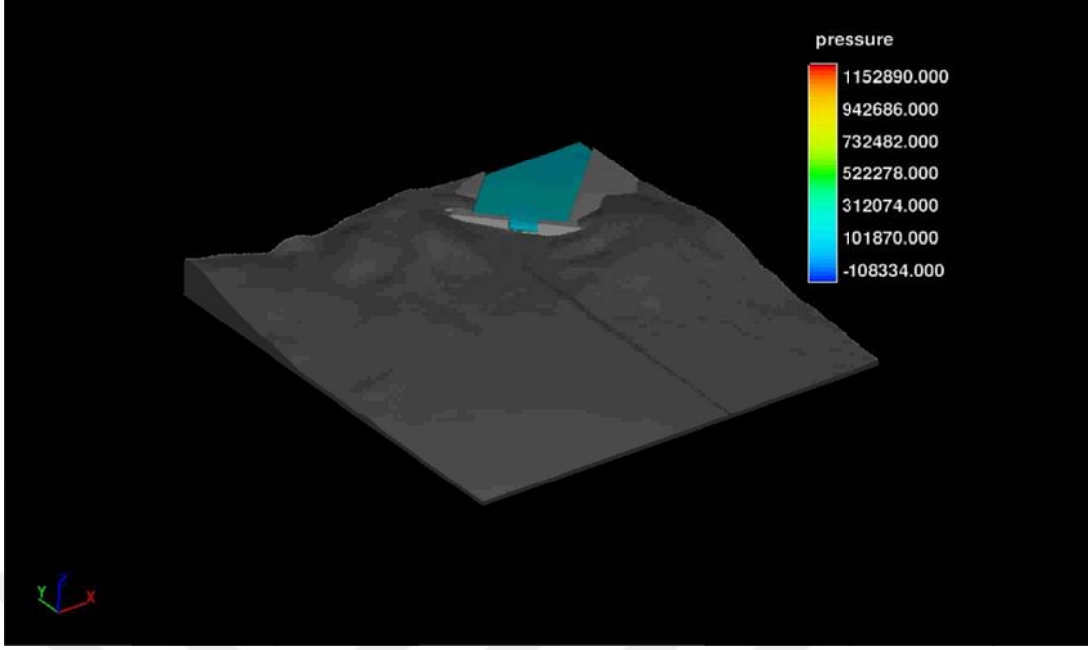
Arazi topoğrafyasının Sketch-up programı yardımıyla modellenerek Flow-3D programına aktarılmasından ve Tahtalı Barajı gövde modellenmesinden sonra gövdenin memba tarafı suyla doldurularak sayısal analize başlanmıştır.

Şekil 7.18’de FLOW-3D programında arazi topoğrafyası, baraj gövdesi ve membasındaki su kütlesi görülmektedir.

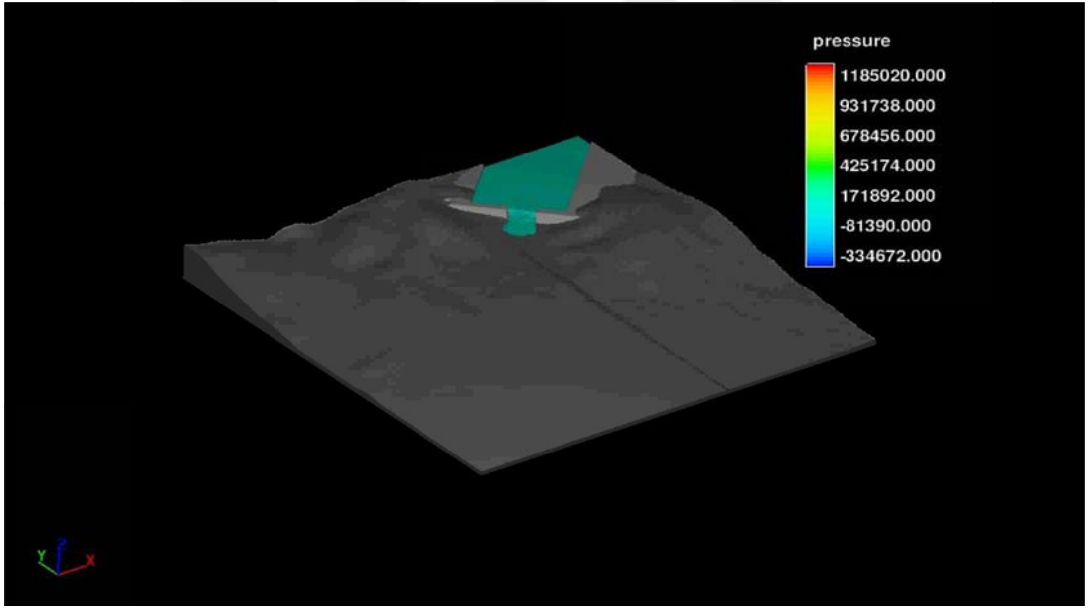


Şekil 7.18 FLOW-3D Programında arazi topoğrafyası, baraj gövdesi ve membasındaki su kütlesi

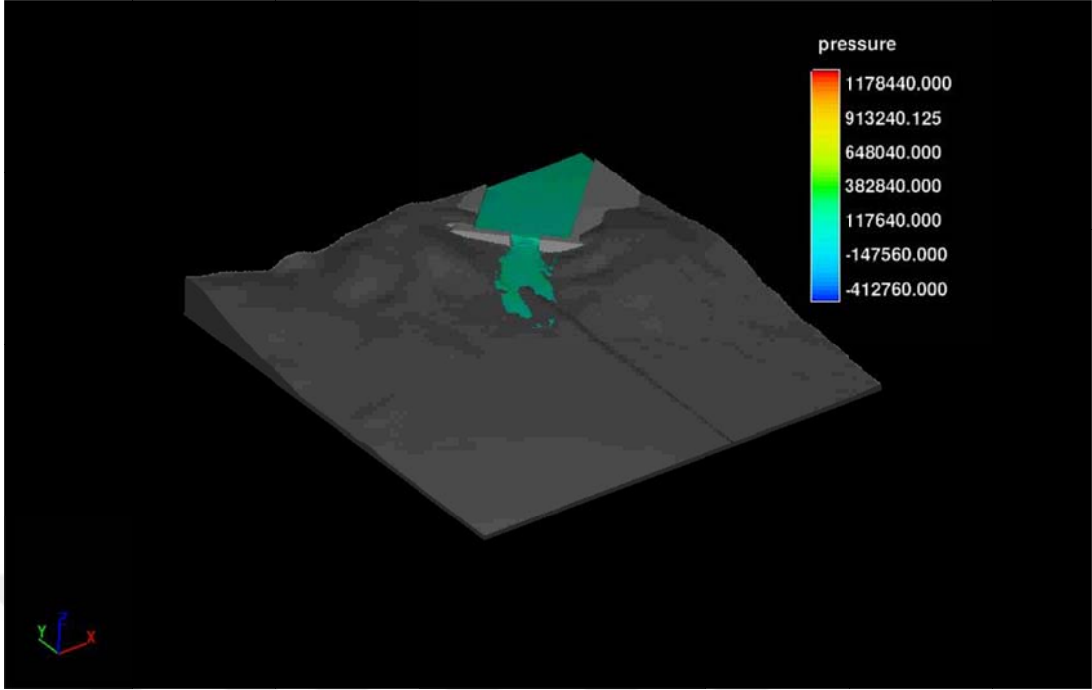
Yıkılma modeli olarak, baraj gövdesi üzerinden suyun aşmasıyla gövdenin orta kesiminde aşınmaya başladığı ve gediğin büyüdüğü öngörülmüştür. Şekil 7.19 ile 7.22 arası FLOW-3D programında barajın yıkılması ve su kütlesinin ilerleyişi görülmektedir.



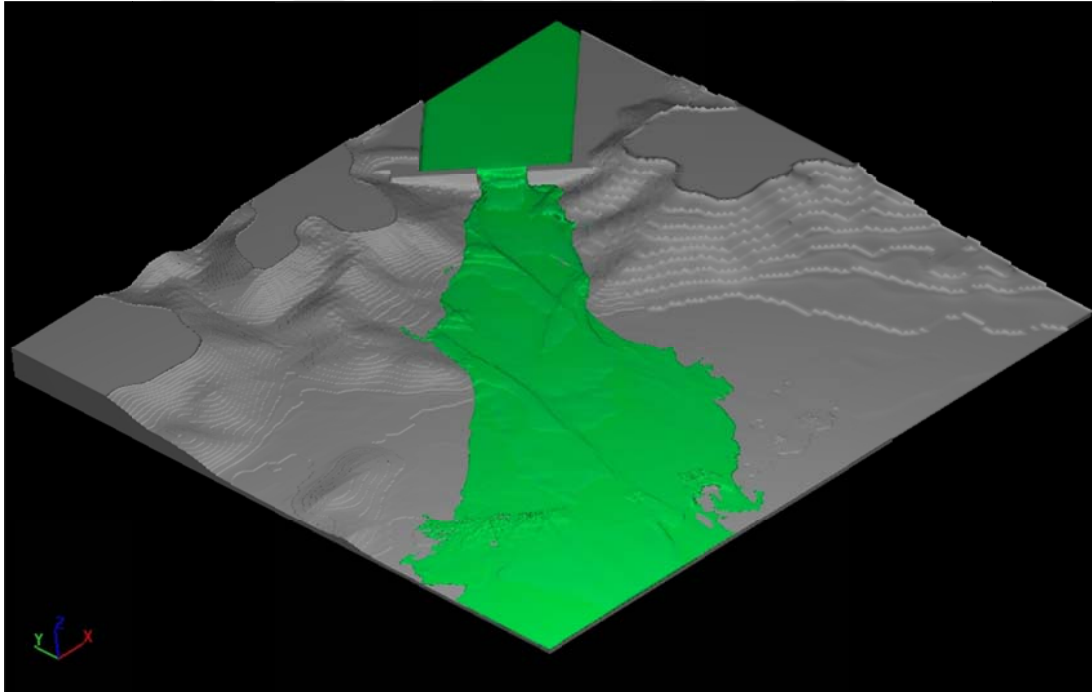
Şekil 7.19 FLOW-3D programında barajın yıkılması



Şekil 7.20 FLOW-3D programında barajın yıkılmasından hemen sonra su kütlelerinin ilerleyişi

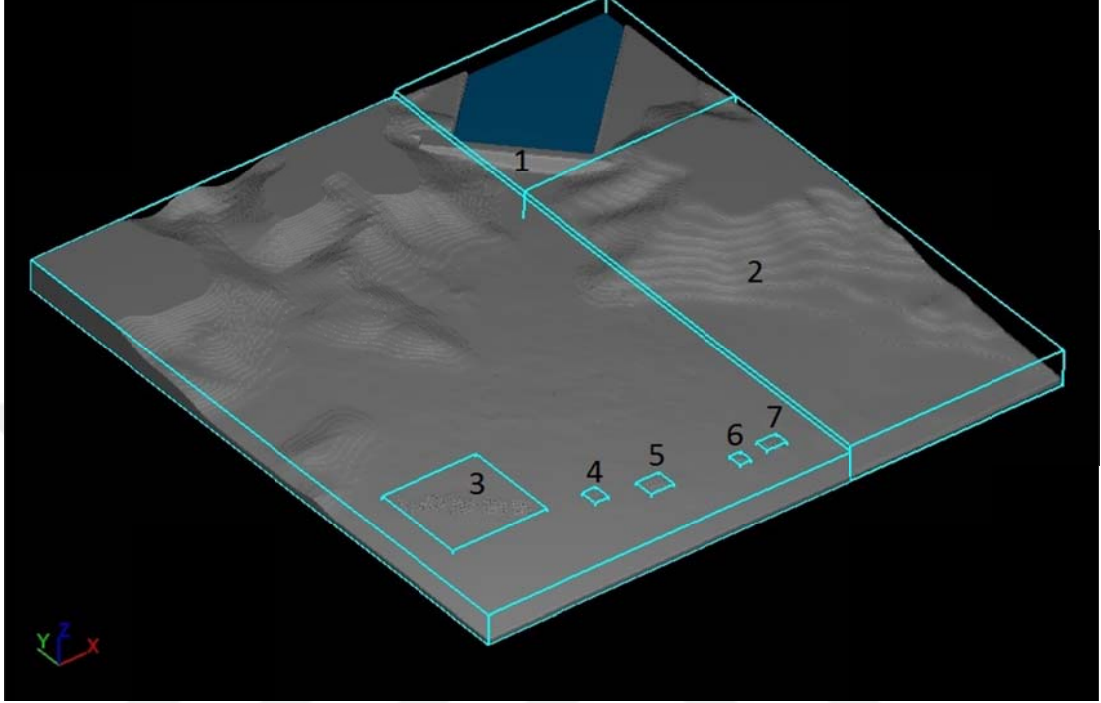


Şekil 7.21 FLOW-3D programında barajın yıkılmasından bir süre sonra su kütleinin ilerleyişi



Şekil 7.22 FLOW-3D programında barajın tamamen yıkılmasından sonra suyun altına giden araziler

Baraj bölgesindeki Şekil 7.23’da görülen 7 ayrı bölgede hesaplanan su derinlikleri Tablo 7.1’de görülmektedir.

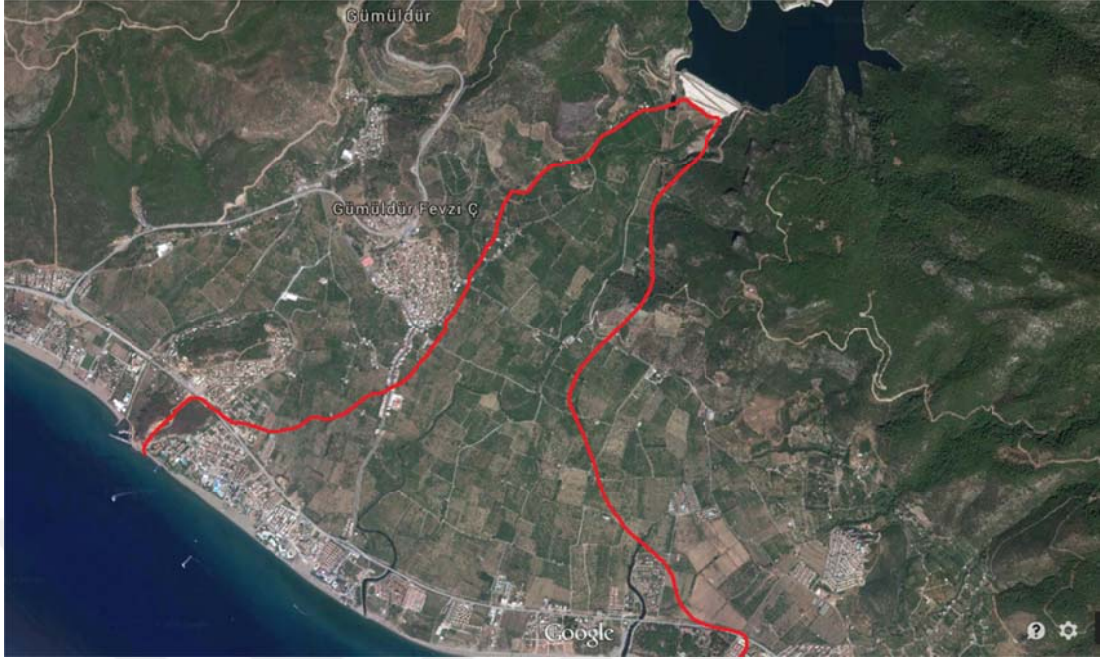


Şekil 7.23 Ortalama su derinlikleri göstermek için bölgenin bölümlendirmesi

Tablo 7.1 Şekil 7.23'te görülen bölgelerdeki su derinlikleri

Bölge	Zaman (sn)	Su derinliği (m)
3 (X:-3385 Y:-3455)	100	0
	200	2,88
	300	3,10
	400	2,40
	500	1,322
4 (X:-2665 Y:-3985)	100	0
	200	5,84
	300	5,61
	400	5,19
	500	4,60
5 (X:2255 Y:-4085)	100	0
	200	5,98
	300	5,05
	400	3,19
	500	1,70
6 (X:-1645 Y:-4295)	100	0
	200	0
	300	0
	400	0
	500	0
7 (X:1431 Y:-4347)	100	0
	200	0
	300	0
	400	0
	500	0

Analiz sonuçlarına göre 6. ve 7. Bölgeler taşkından etkilenmemektedir. 3. bölgede suyun seviyesi en fazla 3,10 m, 4. bölgede suyun seviyesi en fazla 5,98 m, 5. bölgede ise suyun seviyesi en fazla 5,61 m o ye kadar çıkmaktadır. Taşkından etkilene alanların uydu görüntüsü Şekil 7.24'de görülmektedir.



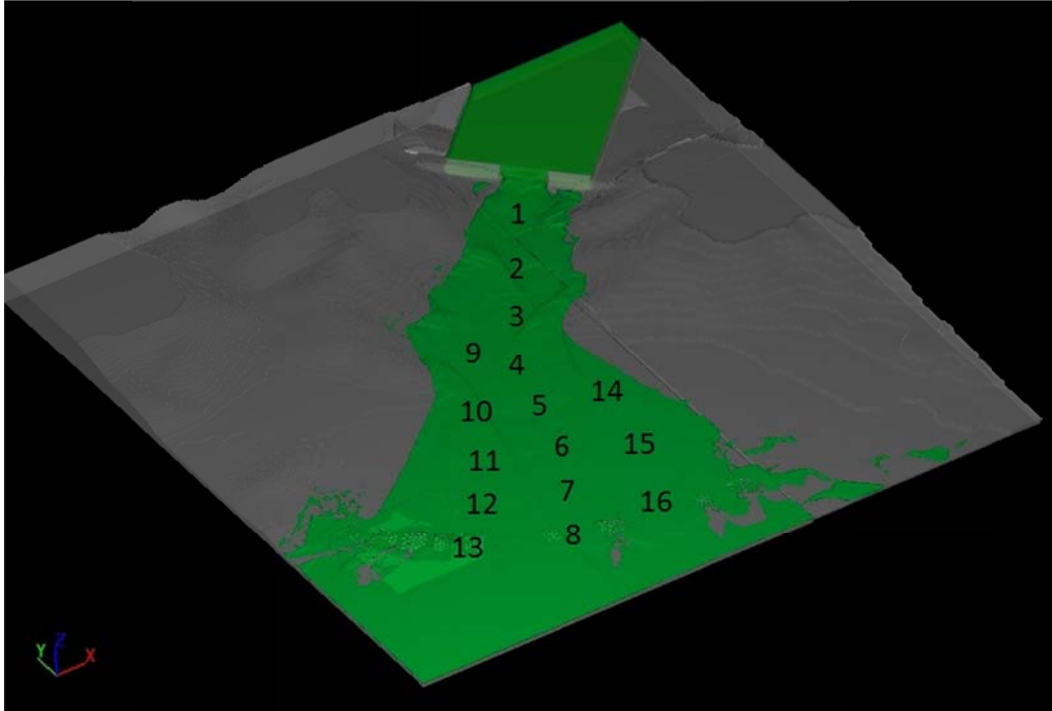
Şekil 7.24 Taşkından etkilenen alanların görünümü

Sayısal çözüm sonucunda Gümüldür merkezindeki yerleşimlerin taşkından etkilenmeyeceği, Tahtalı deresi etrafındaki tarım alanların ise su altında kalacağı görülmektedir. Tarım alanlarının yanı sıra, sahildeki yerleşim yerlerinin taşkından etkileneceği anlaşılmaktadır. Ayrıca taşkınım Şekil 7.25’de görüldüğü gibi birkaç dakika süre mertebesinde söz konusu alanlarda etkili olacağı görüldüğünden, olay gerçekleşmeye başladıktan sonra önlem alınması mümkün değildir.



Şekil 7.25 Taşkından etkilenen alanların görünümü farklı zamanlarda

Taşkın dalgalarının ilerleyişini görmek açısından Şekil 7.26'da görülen noktalarda derinlik değerlerinin farklı zamanlardaki değerleri Tablo 7.2 ve Tablo 7.3'te ve hızın değerleri ise Tablo 7.4 ve Tablo 7.5'te verilmiştir.



Şekil 7.26 Analiz sonuçlarını değerlendirmek için bölgede seçilen noktalar

Tablo 7.2 Derinliğin zamana göre değişimi

Nokta Zaman	1	2	3	4	5	6	7	8
100	16,107	10,790	13,615	7,258	7,246	2,283	0,000	0,000
200	13,558	11,639	13,925	11,393	8,968	4,627	3,860	7,955
300	15,954	12,289	14,810	9,830	9,759	5,479	3,485	5,946
400	15,345	14,172	14,662	9,929	8,889	4,680	3,278	7,354
500	15,334	16,436	14,375	9,637	8,726	5,038	3,400	7,847
600	15,863	17,318	14,011	10,822	8,835	4,965	3,651	7,406
700	15,653	14,001	14,240	13,891	8,523	4,943	3,319	7,398
800	15,576	14,669	14,540	14,797	8,605	4,785	3,507	7,538
900	15,671	17,142	14,234	15,086	8,962	5,128	3,455	7,380
1000	15,627	15,858	14,543	15,194	8,829	5,030	3,458	7,009

Tablo 7.3 Derinliğin zamana göre değişimi

Nokta Zaman	9	10	11	12	13	14	15	16
100	8,927	2,298	2,118	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
200	8,451	4,080	4,433	8,179	10,681	0,000	3,031	0,446
300	10,127	4,353	4,533	7,423	9,515	1,496	2,558	1,194
400	9,411	3,924	4,046	7,099	8,972	1,783	1,976	1,336
500	9,383	3,927	4,796	7,591	9,140	1,737	2,209	0,918
600	9,008	3,924	4,891	7,512	8,888	1,854	2,164	2,889
700	9,621	3,914	6,333	7,269	8,900	2,002	1,967	3,227
800	9,666	3,861	6,267	7,393	8,744	1,946	2,012	2,754
900	8,747	3,925	6,423	7,407	8,930	1,694	2,133	0,768
1000	9,122	3,924	5,626	7,452	8,870	1,863	2,192	1,110

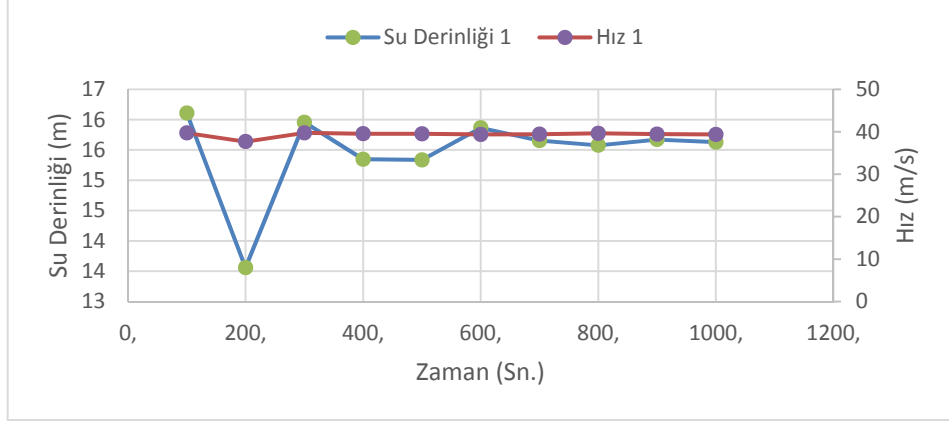
Tablo 7.4 Hızın zamana göre değişimi

Nokta Zaman	1	2	3	4	5	6	7	8
100	39,707	37,461	37,476	39,482	38,014	29,878	0,000	0,000
200	37,672	36,261	37,196	38,143	37,201	32,378	32,221	31,526
300	39,713	36,651	37,959	39,558	36,299	32,082	29,015	26,171
400	39,520	36,975	37,342	38,630	36,819	31,208	29,291	28,766
500	39,487	36,687	37,531	38,443	36,503	31,656	29,815	29,503
600	39,345	36,294	37,439	38,250	36,702	32,283	30,852	28,600
700	39,399	36,494	37,073	37,457	36,245	31,101	29,264	28,990
800	39,602	36,989	36,973	36,985	35,648	30,974	29,807	28,505
900	39,415	37,166	37,753	37,923	36,473	31,476	29,163	28,510
1000	39,343	36,462	37,717	37,790	36,657	31,950	30,122	27,826

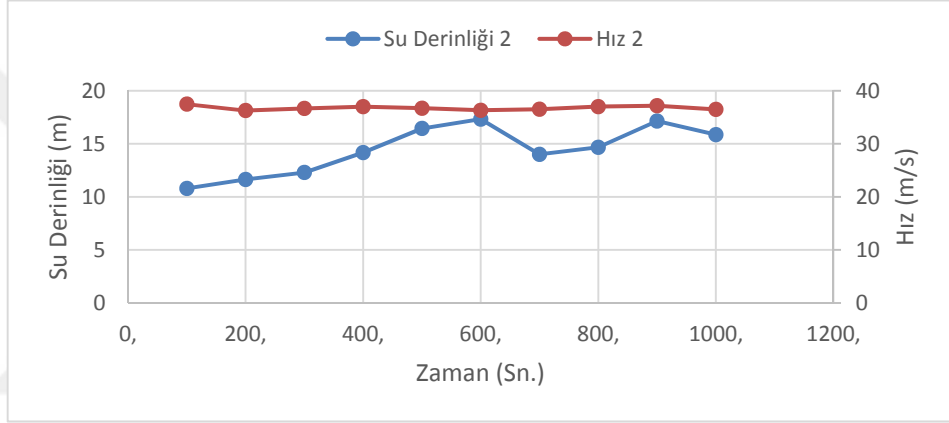
Tablo 7.5 Hızın zamana göre değişimi

Nokta Zaman	9	10	11	12	13	14	15	16
100	38,004	30,353	33,549	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
200	36,850	29,736	32,625	38,367	17,283	0,000	19,800	2,657
300	38,162	28,371	31,777	36,916	15,113	22,833	19,490	12,073
400	37,153	27,050	29,192	36,590	15,172	21,953	17,458	7,921
500	36,916	27,031	29,732	37,091	16,298	20,893	18,423	12,924
600	36,953	26,321	29,125	36,785	15,735	23,967	19,858	17,079
700	37,827	27,051	30,090	36,807	16,031	21,927	18,505	15,955
800	37,840	28,891	30,379	36,680	16,110	21,008	19,560	5,089
900	37,675	28,776	31,106	36,992	16,716	19,961	17,829	10,743
1000	37,617	27,083	31,313	37,402	16,892	22,274	20,525	13,522

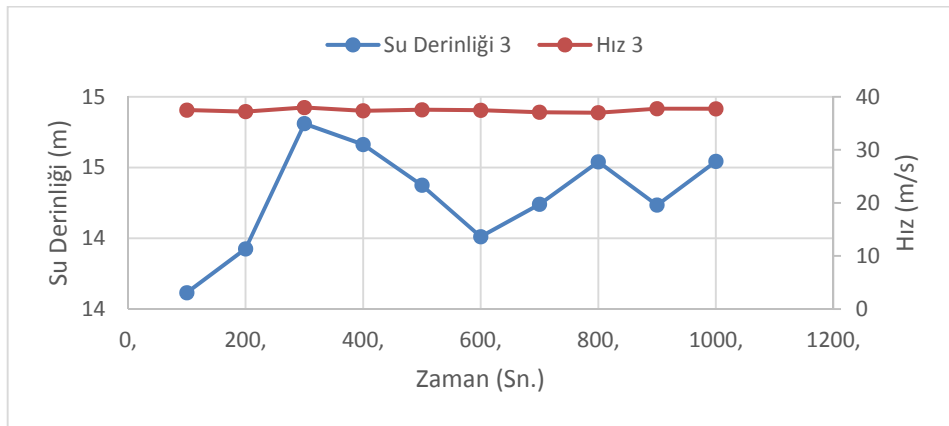
Söz konusu noktalarda hız ve derinliği zamana bağlı değişimleri ise Şekil 7.27-7.44 arasında görülmektedir.



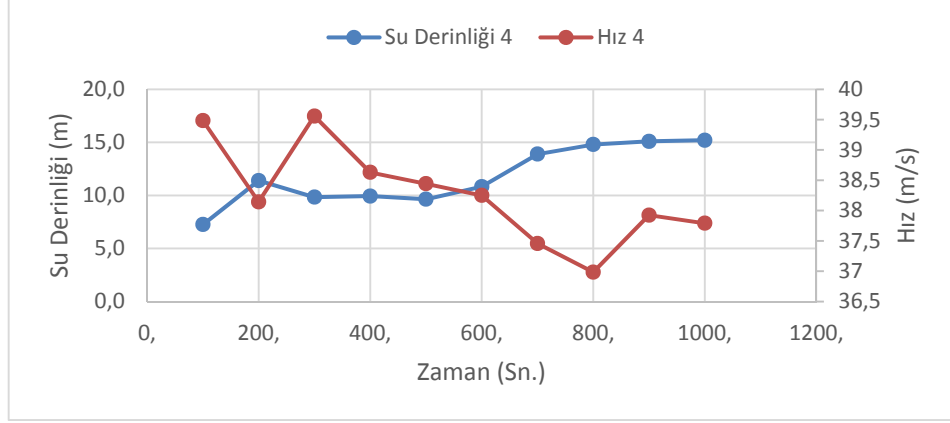
Şekil 7.27 1 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



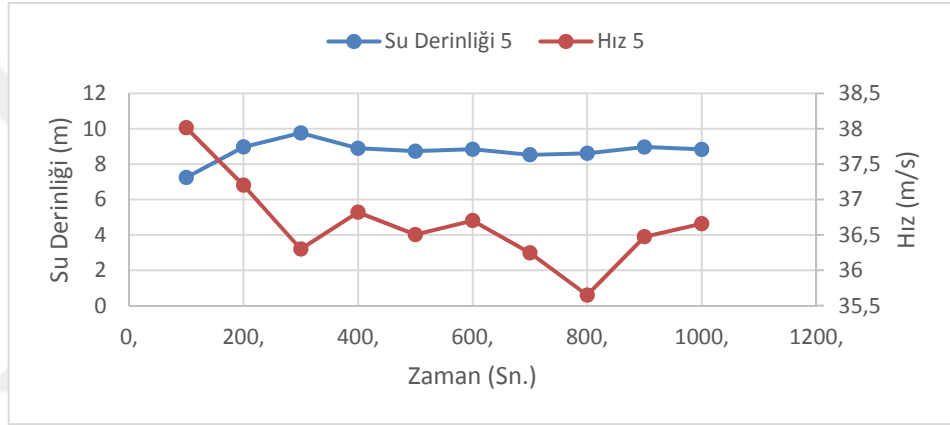
Şekil 7.28 2 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



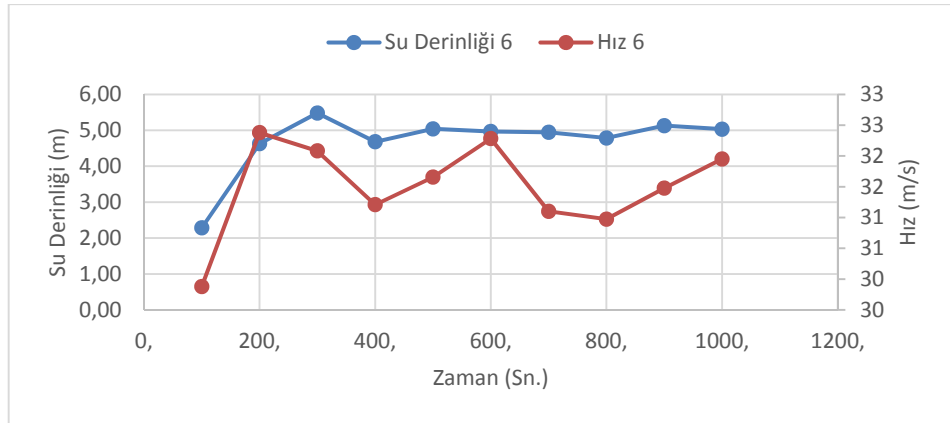
Şekil 7.29 3 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



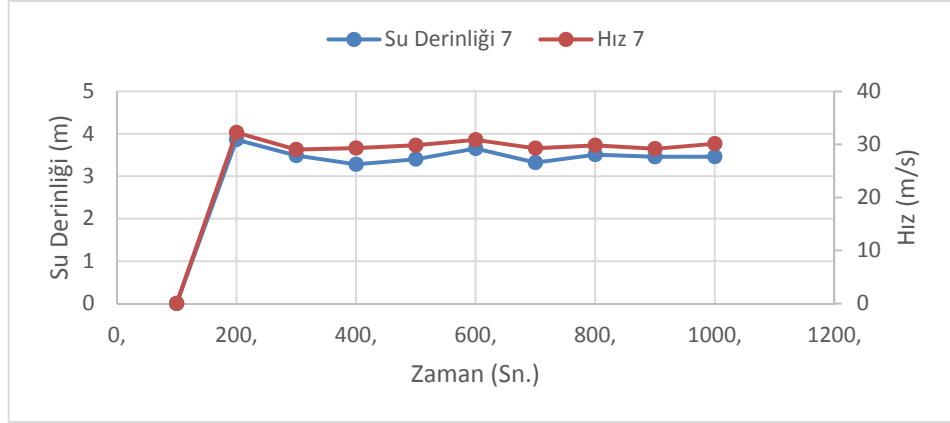
Şekil 7.30 4 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



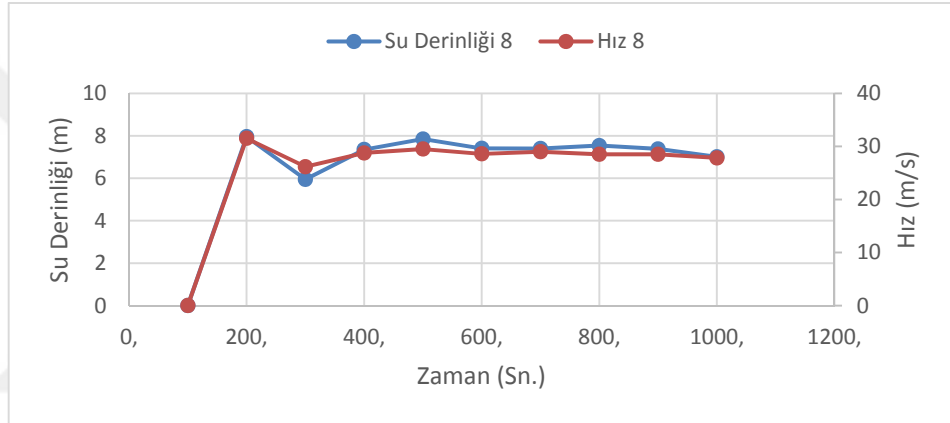
Şekil 7.31 5 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



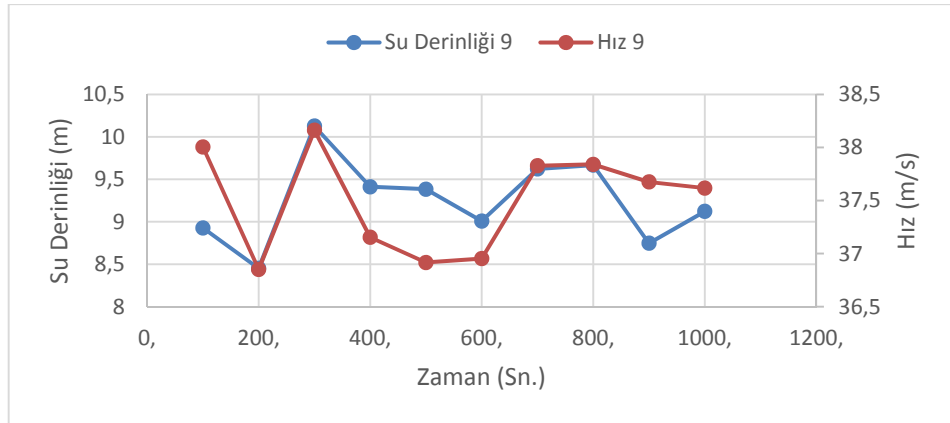
Şekil 7.32 6 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



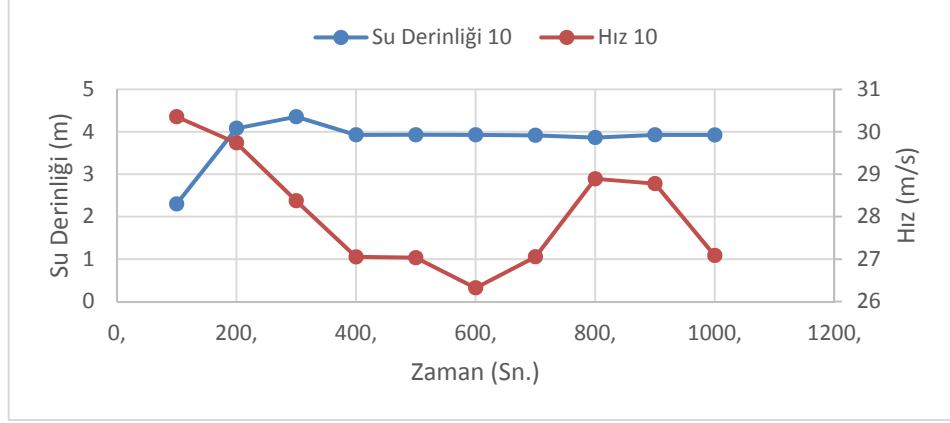
Şekil 7.33 7 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



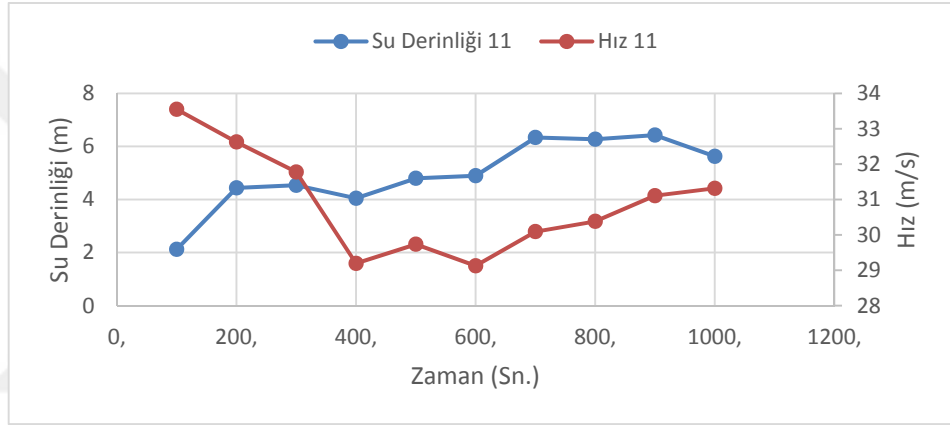
Şekil 7.34 8 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



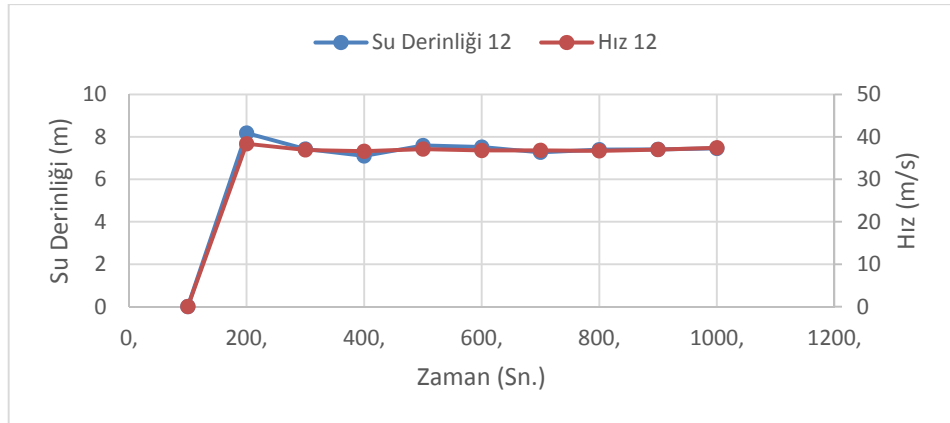
Şekil 7.35 9 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



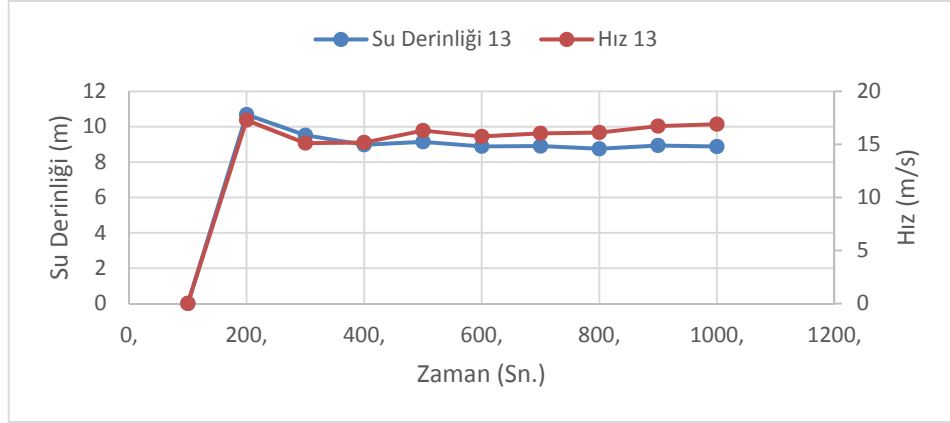
Şekil 7.36 10 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



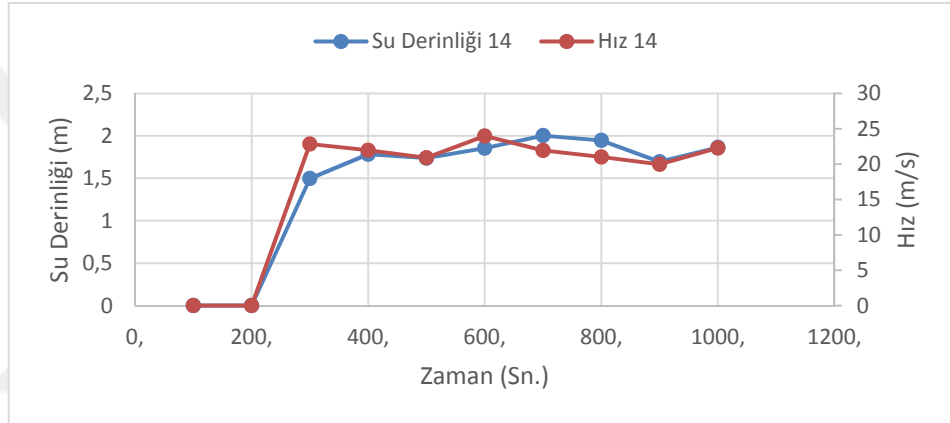
Şekil 7.37 11 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



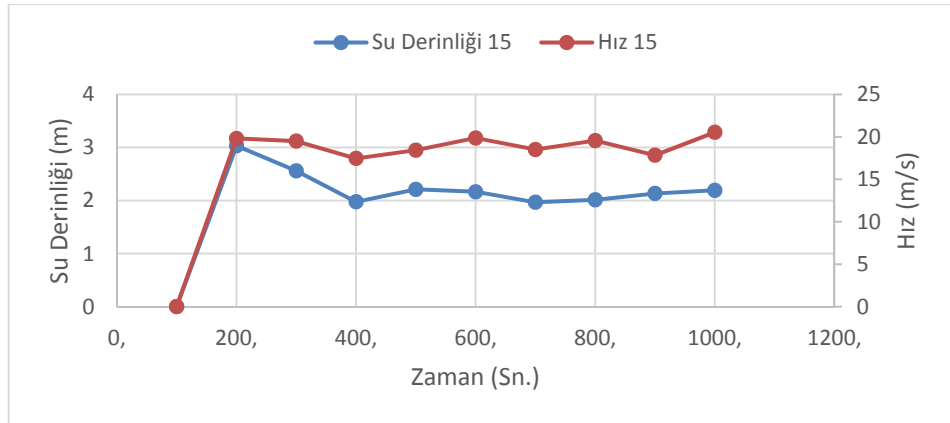
Şekil 7.38 12 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



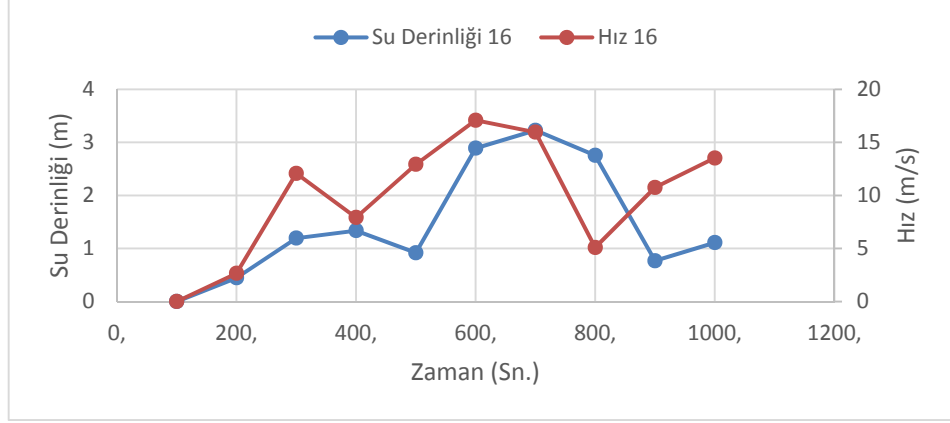
Şekil 7.39 13 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



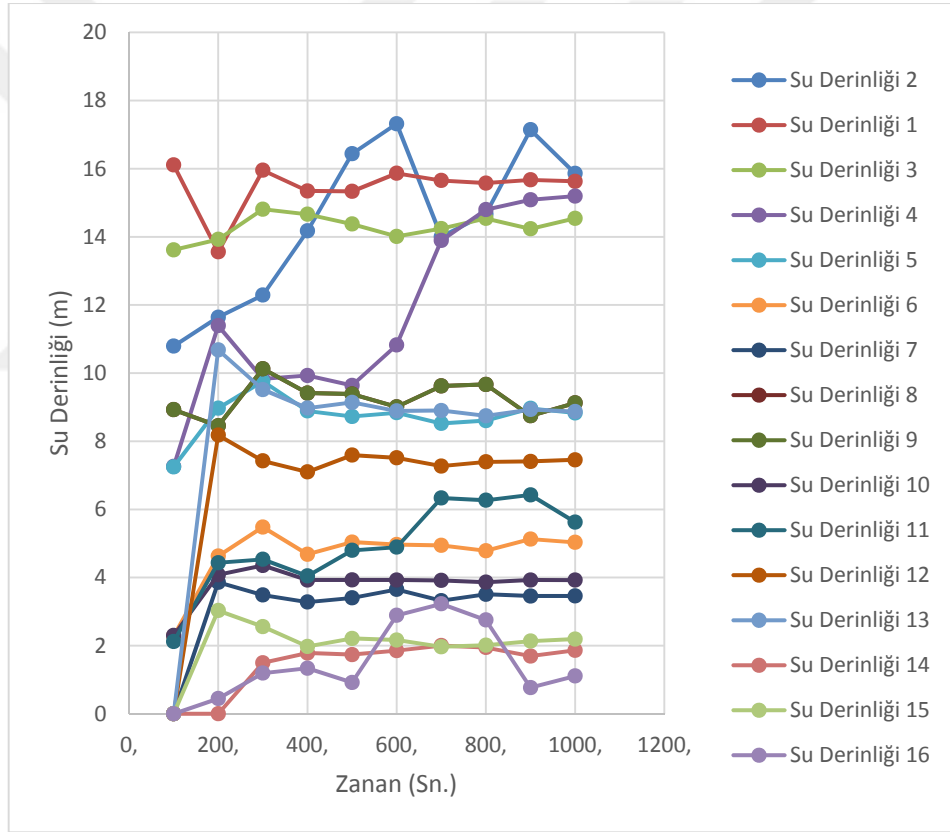
Şekil 7.40 14 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



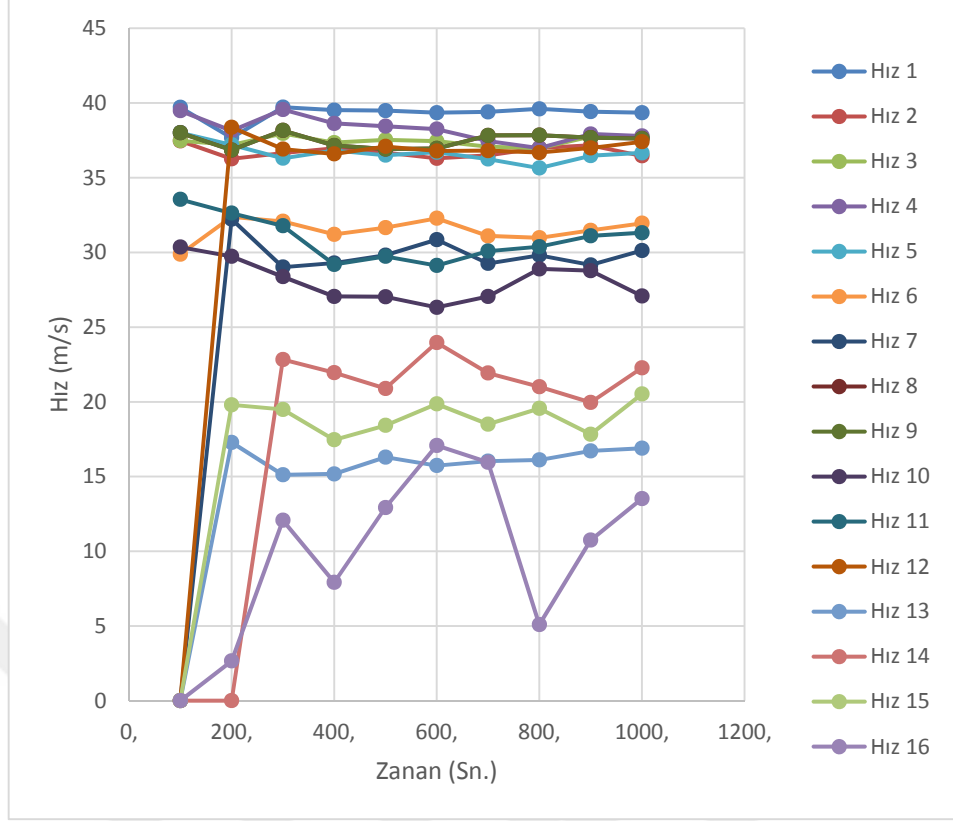
Şekil 7.41 15 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



Şekil 7.42 16 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi

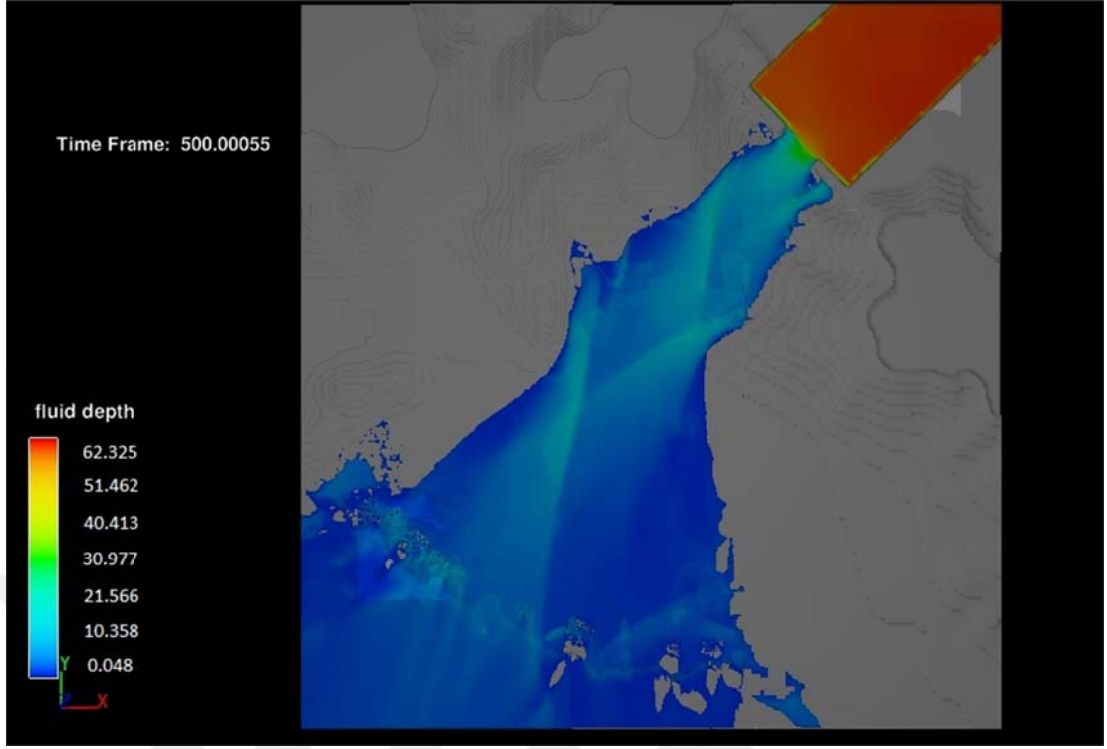


Şekil 7.43 Farklı noktadaki zamana göre suyun derinliği

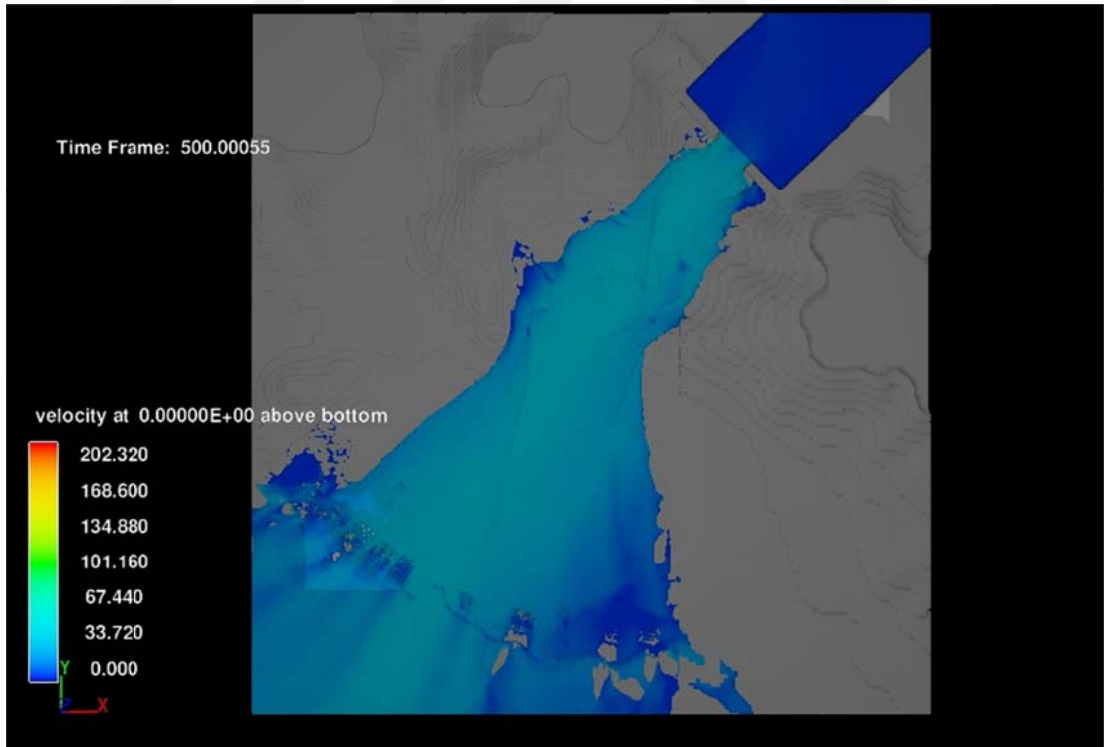


Şekil 7.44 Farklı noktadaki zamana göre suyun hızı

Şekil 7.45 ve 7.46 2 boyutlu olarak suyun sahile kadar geldikten sonra farklı bölgelerde derinliği ve hızını göstermektedir.

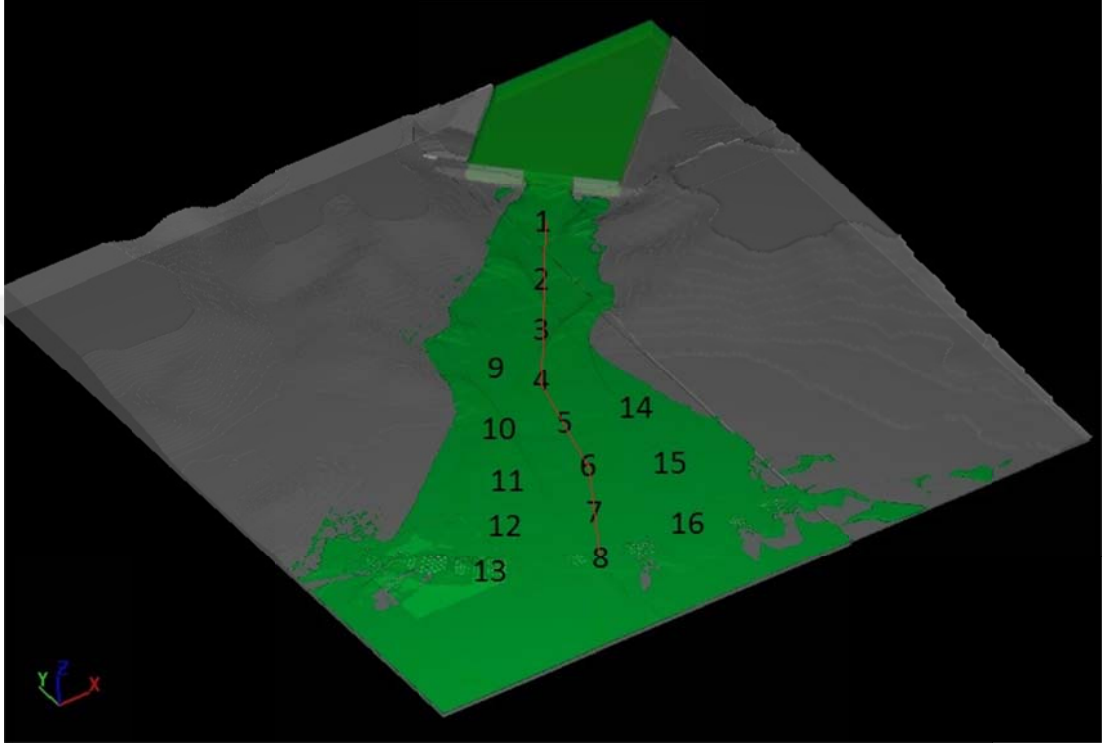


Şekil 7.45 Sahile kadar gelen suyun derinliği farklı bölgelerde

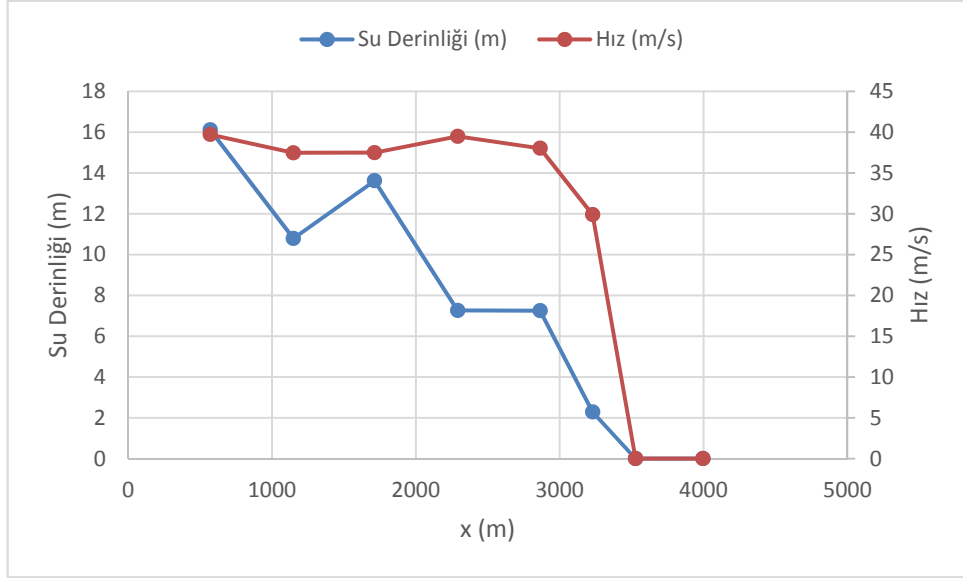


Şekil 7.46 Sahile kadar gelen suyun hızı farklı bölgelerde

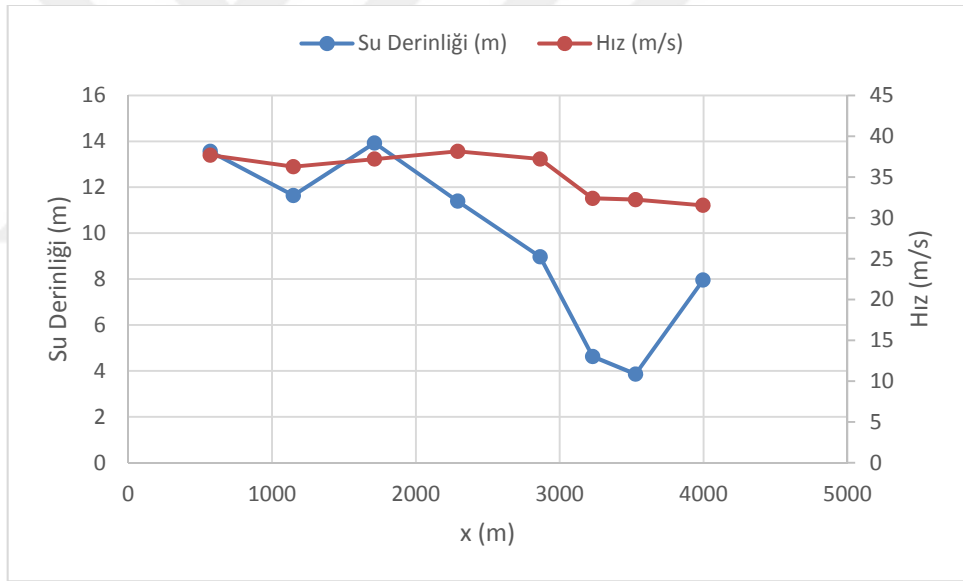
Baraj gövdesinden denize kadar olan hat üzerinde boyuna profilin zamana göre değişimini görebilmek için Şekil 7.47’de verilen noktalar seçilmiştir. Bu hat boyunca akım derinliklerinin farklı zamanlardaki değerleri Şekil 7.48 ile 6.57 arası görölmektedir.



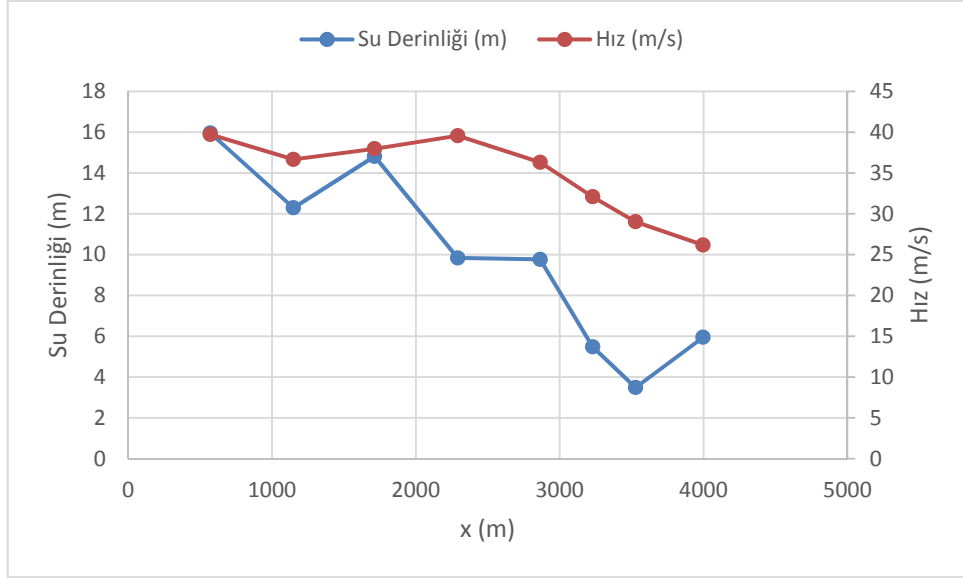
Şekil 7.47 Suyun ilerleyişini incelemek için seçilen hat



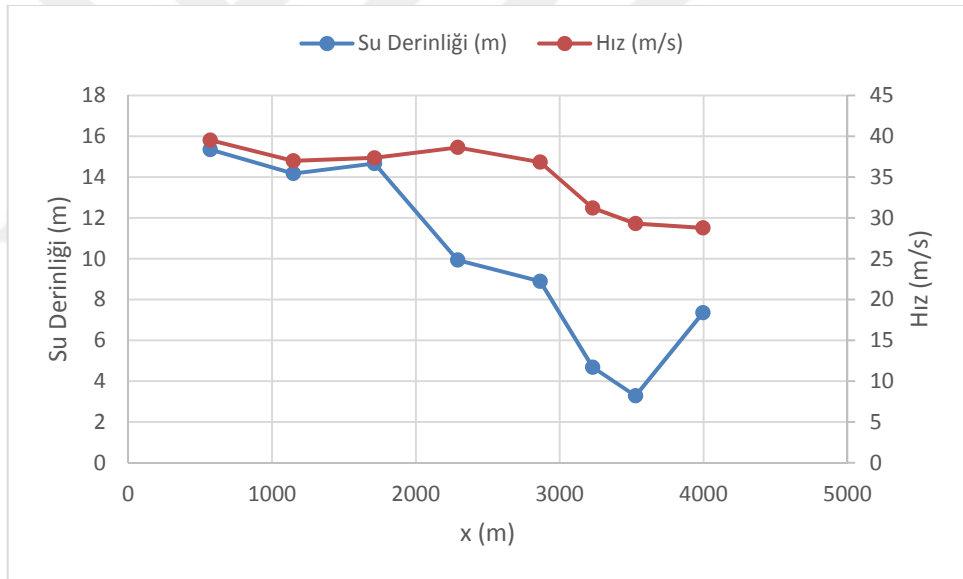
Şekil 7.48 Su derinliği ve hız 100. saniyede



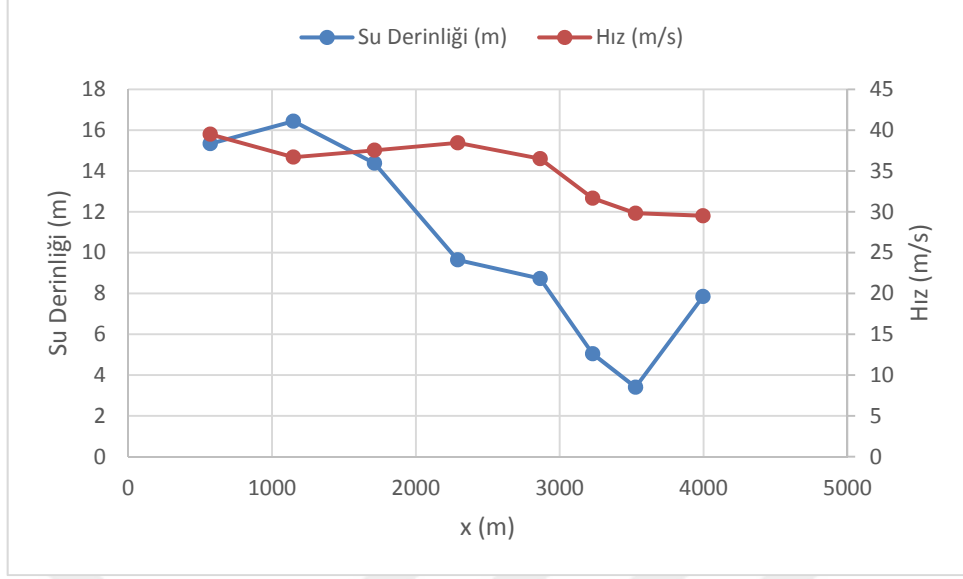
Şekil 7.49 Su derinliği ve hız 200. saniyede



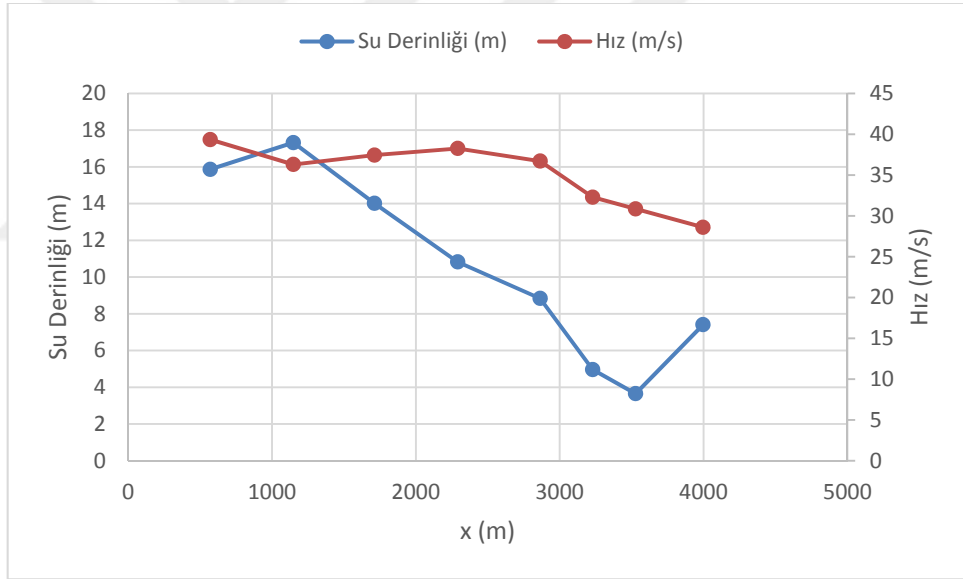
Şekil 7.50 Su derinliği ve hız 300. saniyede



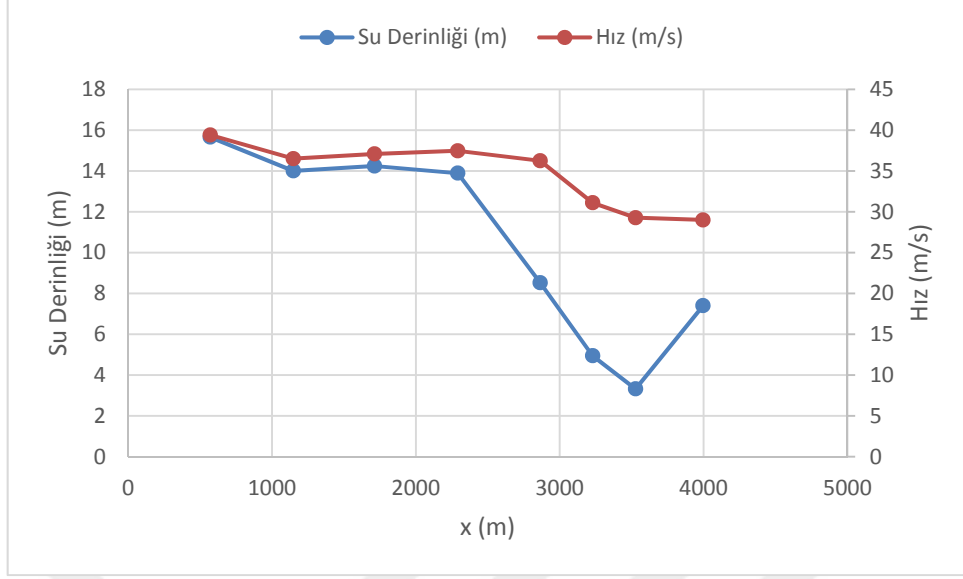
Şekil 7.51 Su derinliği ve hız 400. saniyede



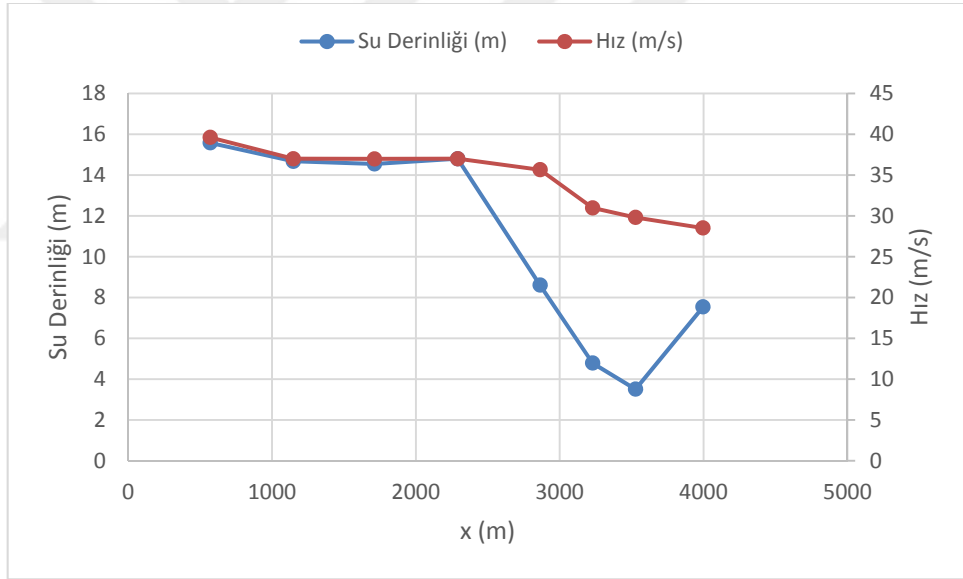
Şekil 7.52 Su derinliği ve hız 500. saniyede



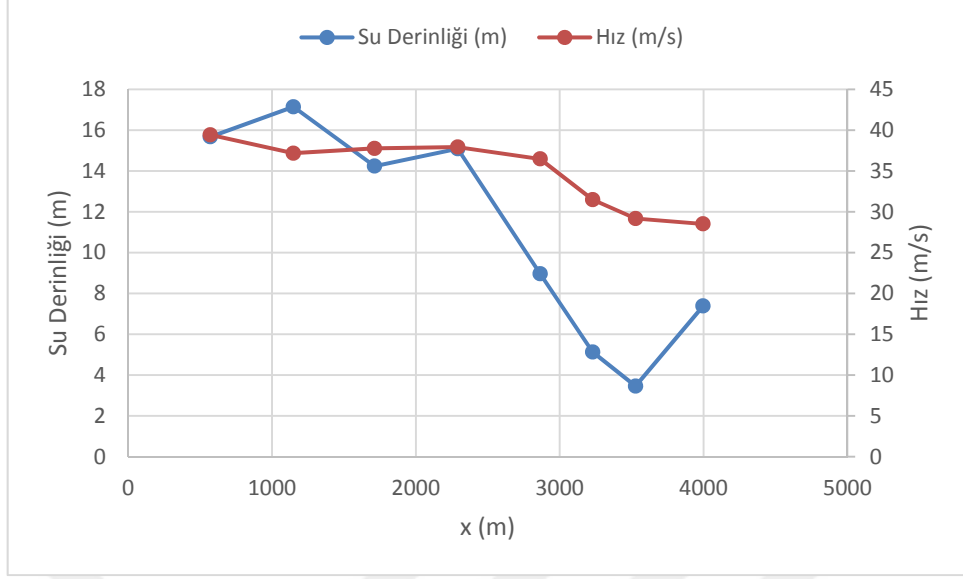
Şekil 7.53 Su derinliği ve hız 600. saniyede



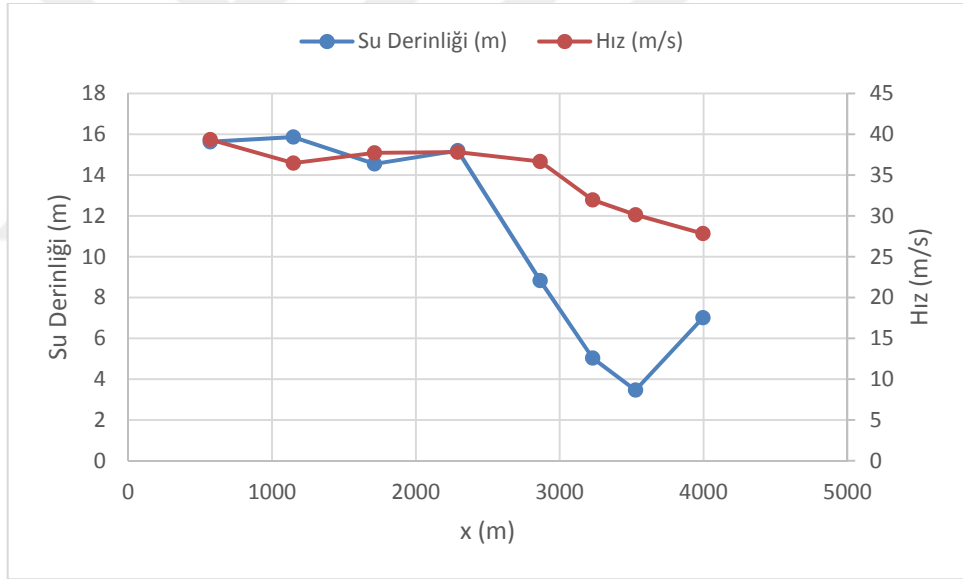
Şekil 7.54 Su derinliği ve hız 700. saniyede



Şekil 7.55 Su derinliği ve hız 800. saniyede



Şekil 7.56 Su derinliği ve hız 900. saniyede



Şekil 7.57 Su derinliği ve hız 1000. saniyede

Taşkın dalgalarının ilerleyişini görmek açısından Şekil 7.47’de görülen noktalarda derinlik değerlerinin farklı zamanlardaki değerleri Tablo 7.6’de ve hızın değerleri ise Tablo 7.7’de 50% yıkılma için verilmiştir.

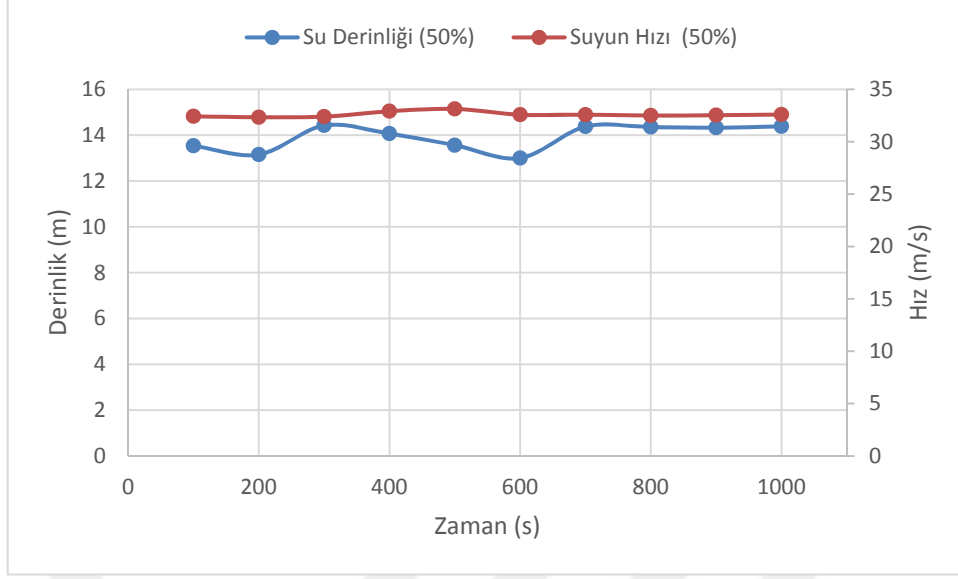
Tablo 7.6 Derinliğin zamana göre değişimi

Nokta Zaman	1	2	3	4	5	6	7	8
100	13,54	11,50	13,66	8,07	6,28	0,00	0,00	0,00
200	13,15	11,35	11,09	8,48	8,33	4,47	3,55	0,00
300	14,42	12,28	12,15	8,90	8,88	4,28	2,88	1,52
400	14,07	13,27	12,36	9,06	7,66	4,40	3,05	1,47
500	13,56	12,66	12,30	8,93	7,50	4,46	3,05	1,81
600	13,00	13,16	12,48	9,60	7,58	4,48	3,68	1,87
700	14,37	13,52	12,49	9,68	7,46	4,78	3,20	1,71
800	14,35	13,36	13,37	9,68	7,34	4,69	3,15	1,73
900	14,32	13,23	13,17	9,45	7,59	4,51	3,02	1,71
1000	14,38	13,45	12,76	9,57	7,63	4,25	3,10	1,67

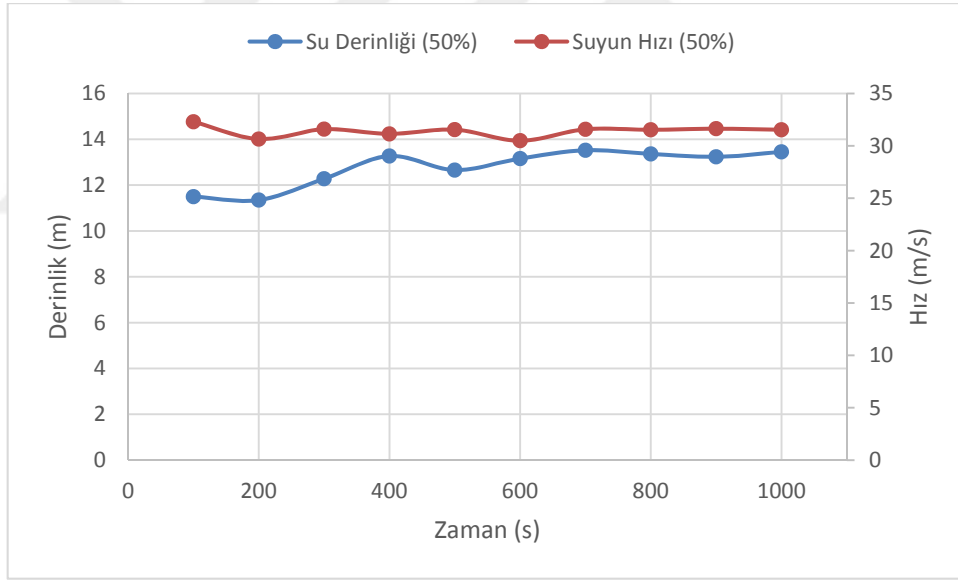
Tablo 7.7 Hızın zamana göre değişimi

Nokta Zaman	1	2	3	4	5	6	7	8
100	32,42	32,30	27,02	16,77	21,80	0,00	0,00	0,00
200	32,33	30,65	27,65	16,40	19,07	18,50	16,10	0,00
300	32,39	31,59	28,05	17,18	18,94	17,70	14,17	4,79
400	32,90	31,14	27,78	16,45	19,44	16,89	15,65	6,25
500	33,13	31,54	27,22	15,54	19,18	17,05	14,93	5,64
600	32,57	30,49	26,88	15,77	19,86	16,73	14,58	5,53
700	32,58	31,58	27,09	14,33	19,23	16,14	13,54	4,71
800	32,49	31,53	27,08	15,02	19,66	16,41	12,79	3,42
900	32,52	31,63	27,22	15,54	19,80	16,49	12,79	5,39
1000	32,58	31,54	27,29	15,66	19,80	16,48	12,84	4,76

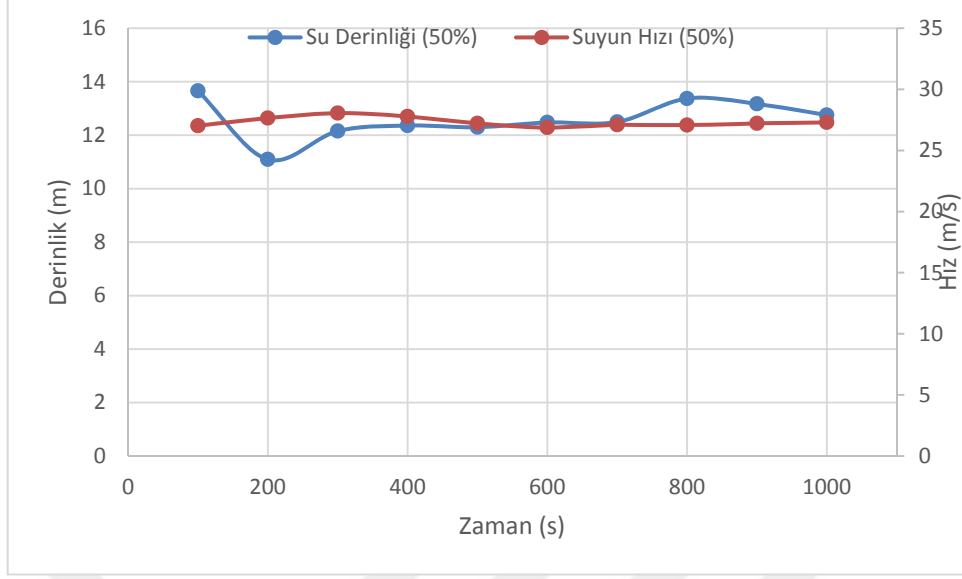
Söz konusu noktalarda hız ve derinliği zamana bağlı değişimleri ise Şekil 7.58-7.65 arasında görülmektedir.



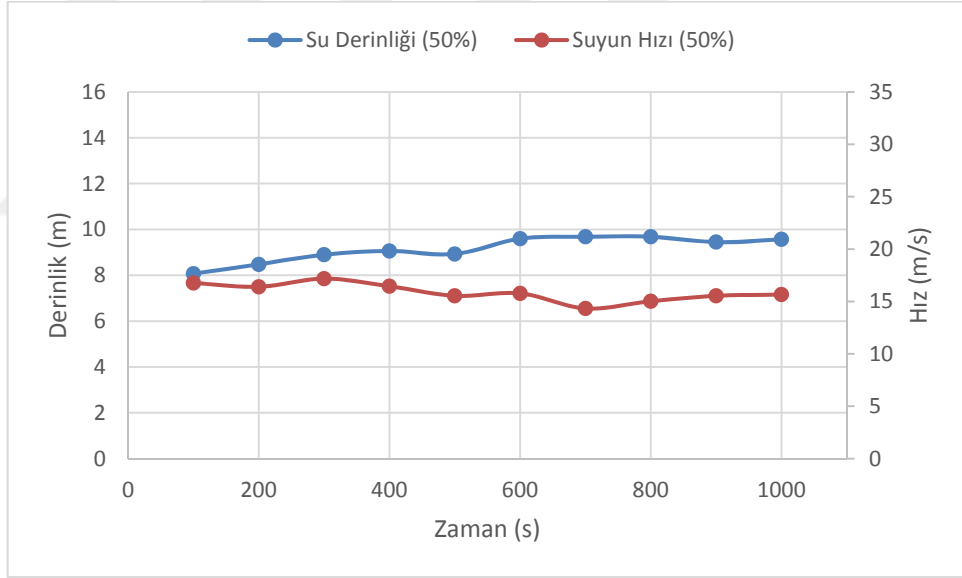
Şekil 7.58 1 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



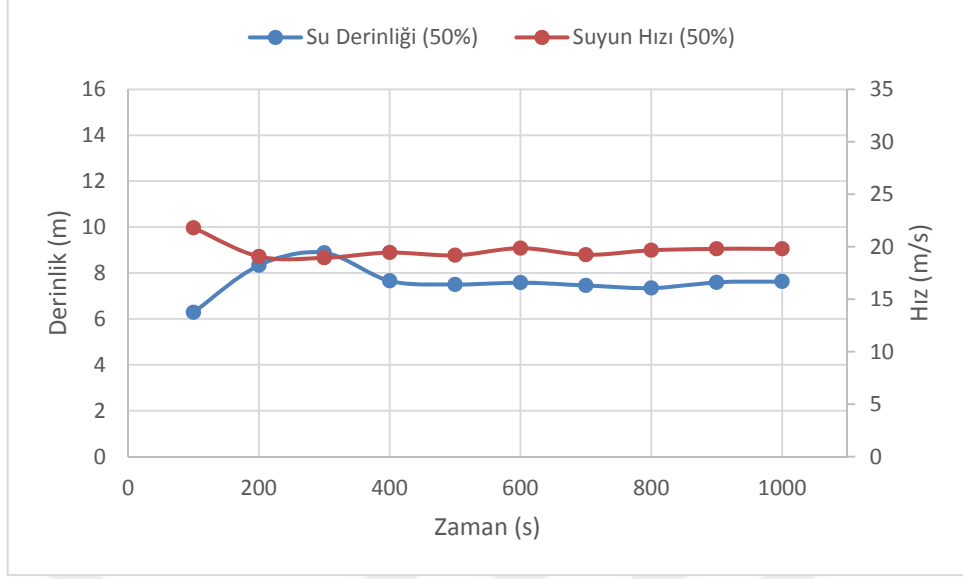
Şekil 7.59 2 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



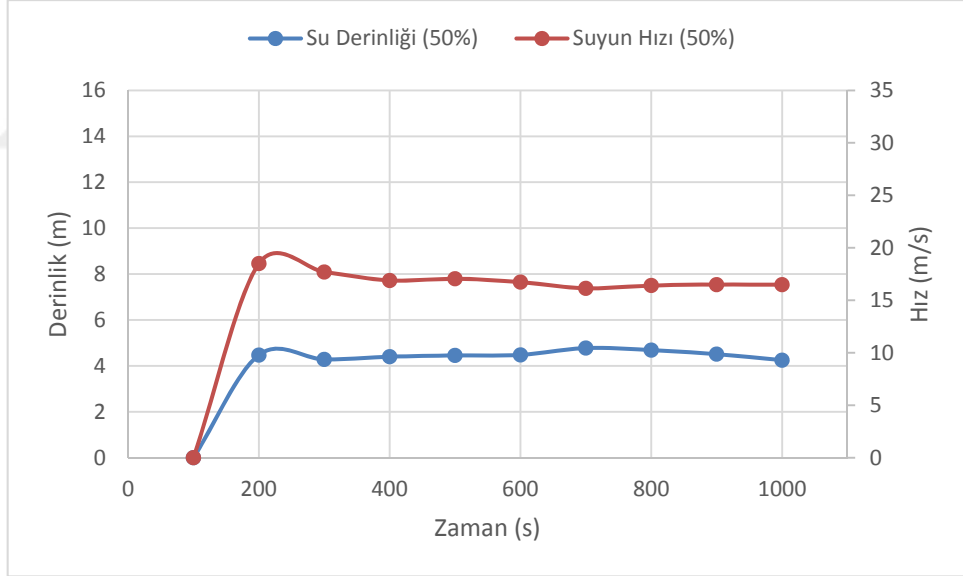
Şekil 7.60 3 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



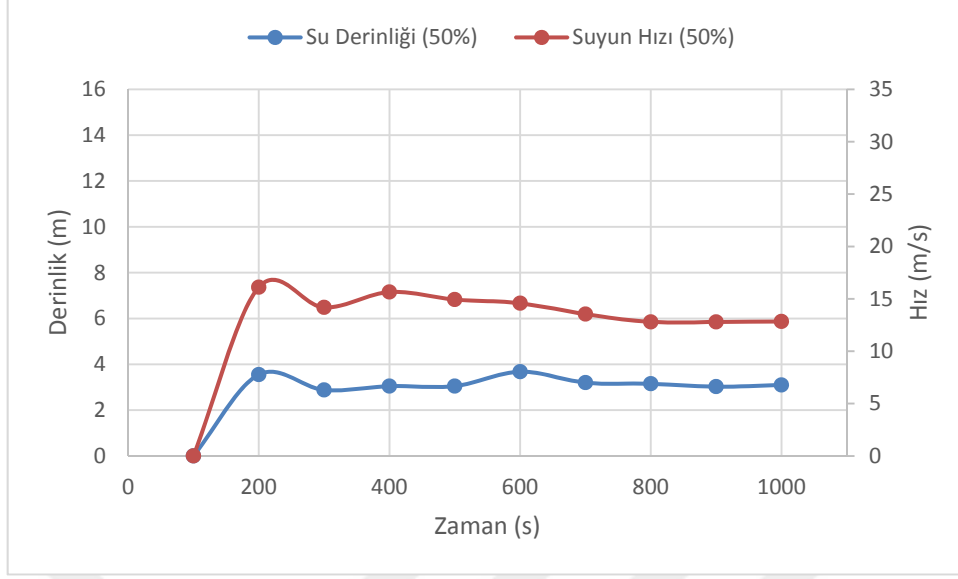
Şekil 7.61 4 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



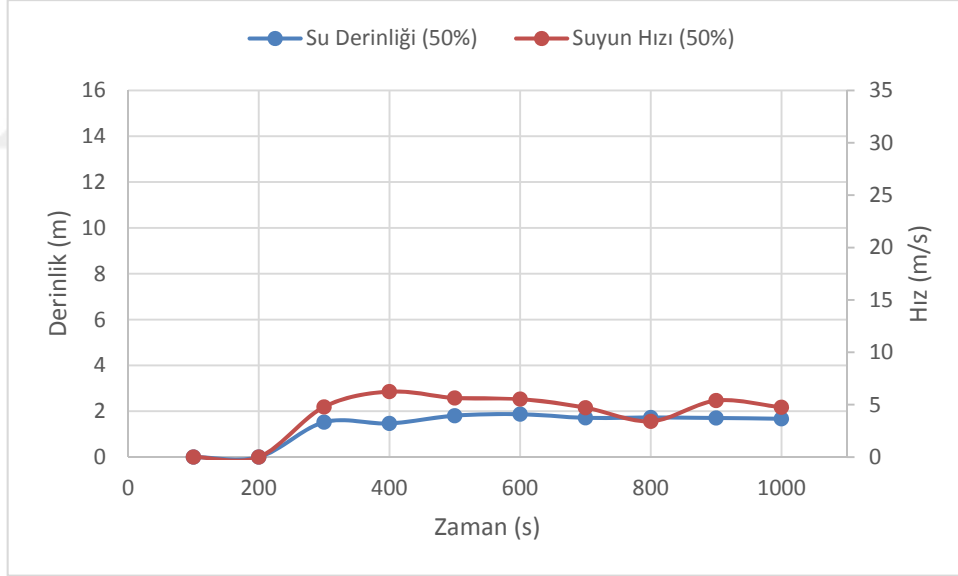
Şekil 7.62 5 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



Şekil 7.63 6 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



Şekil 7.64 7 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



Şekil 7.65 8 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi

Taşkın dalgalarının ilerleyişini görmek açısından Şekil 7.47’de görülen noktalarda derinlik değerlerinin farklı zamanlardaki değerleri Tablo 7.8’de ve hızın değerleri ise Tablo 7.9’da 25% yıkılma için verilmiştir.

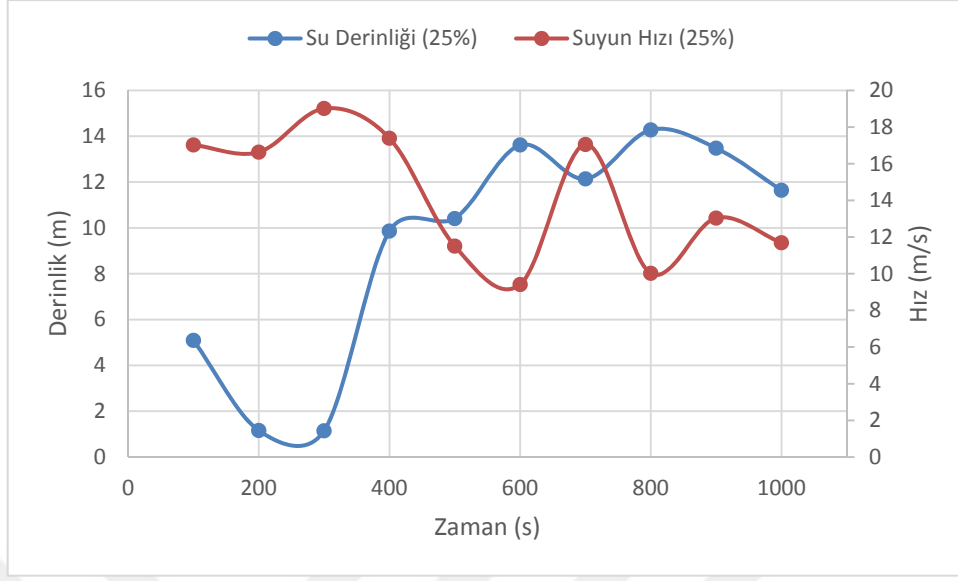
Tablo 7.8 Derinliğin zamana göre değişimi

Nokta	1	2	3	4	5	6	7	8
Zaman								
100	5,10	7,71	3,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	1,16	8,55	2,93	3,15	0,00	0,00	0,00	0,00
300	1,15	10,99	3,66	4,08	4,33	0,00	0,00	0,00
400	9,86	11,16	3,58	3,89	5,30	3,54	0,00	0,00
500	10,41	10,16	3,52	4,61	6,34	3,37	2,33	0,00
600	13,62	11,14	3,47	4,71	6,52	4,35	2,05	0,00
700	12,14	10,09	3,75	5,17	6,84	3,92	2,42	1,10
800	14,28	9,70	3,36	4,33	6,68	4,17	2,08	1,22
900	13,48	9,10	3,22	4,93	6,78	4,24	2,10	1,37
1000	11,64	8,95	2,91	4,74	6,99	3,97	2,02	1,03

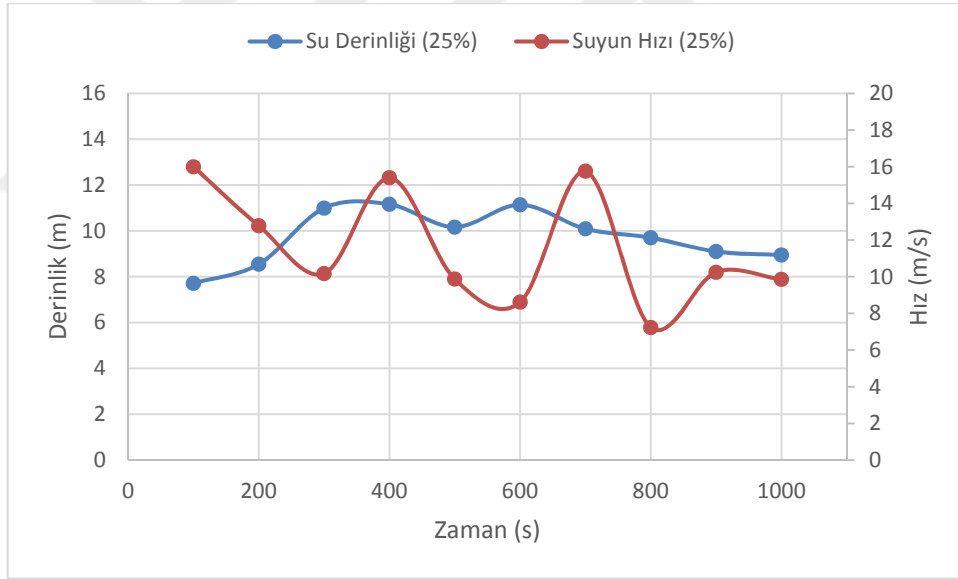
Tablo 7.9 Hızın zamana göre değişimi

Nokta Zaman	1	2	3	4	5	6	7	8
100	17,02	16,00	10,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	16,63	12,78	13,67	9,09	0,00	0,00	0,00	0,00
300	19,01	10,17	15,91	5,34	9,36	0,00	0,00	0,00
400	17,39	15,40	15,32	2,03	4,37	6,95	0,00	0,00
500	11,50	9,87	16,04	5,76	7,68	5,26	2,28	0,00
600	9,41	8,62	14,19	5,73	5,53	6,90	6,59	0,00
700	17,05	15,75	13,53	6,78	7,41	6,52	4,48	1,82
800	10,02	7,23	14,84	5,01	6,86	7,47	5,38	1,96
900	13,04	10,24	13,49	6,63	7,11	6,72	5,73	1,40
1000	11,69	9,85	13,48	6,73	6,01	6,69	5,68	1,52

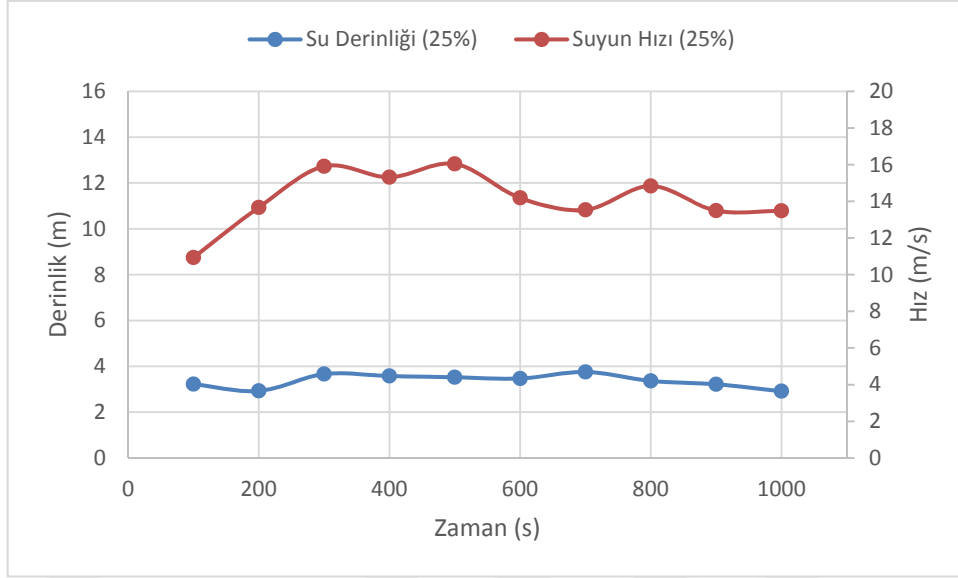
Söz konusu noktalarda hız ve derinliği zamana bağlı değişimleri ise Şekil 7.66-7.73 arasında görülmektedir.



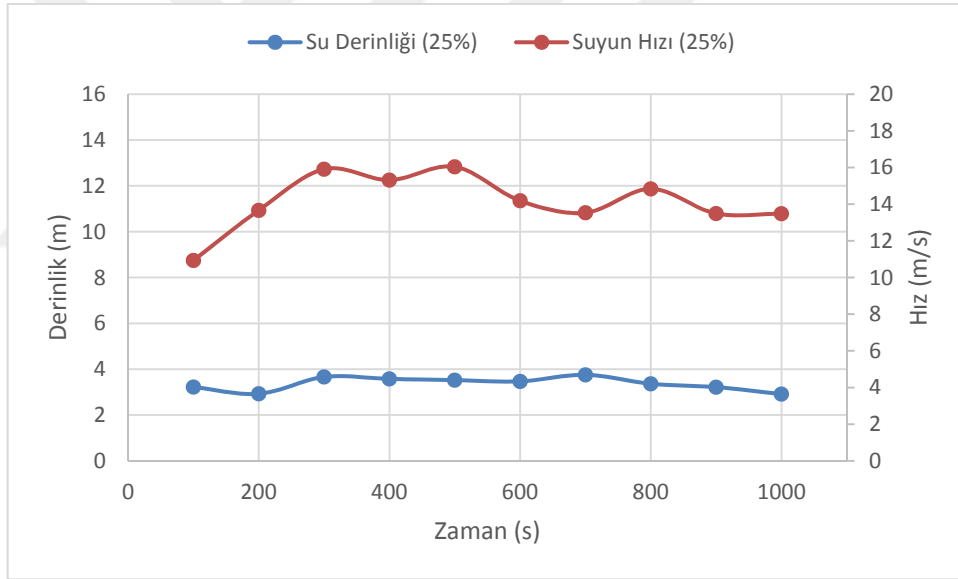
Şekil 7.66 1 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



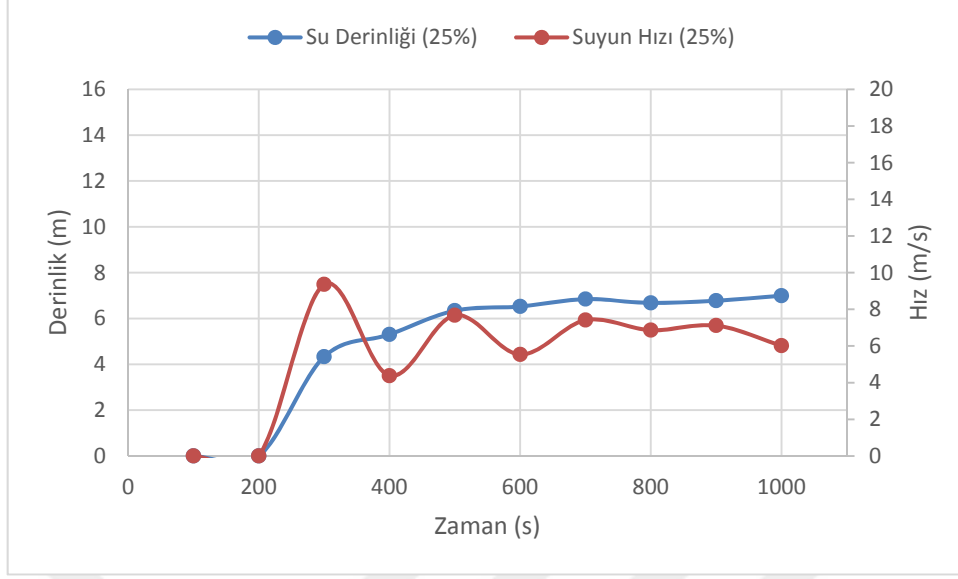
Şekil 7.67 2 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



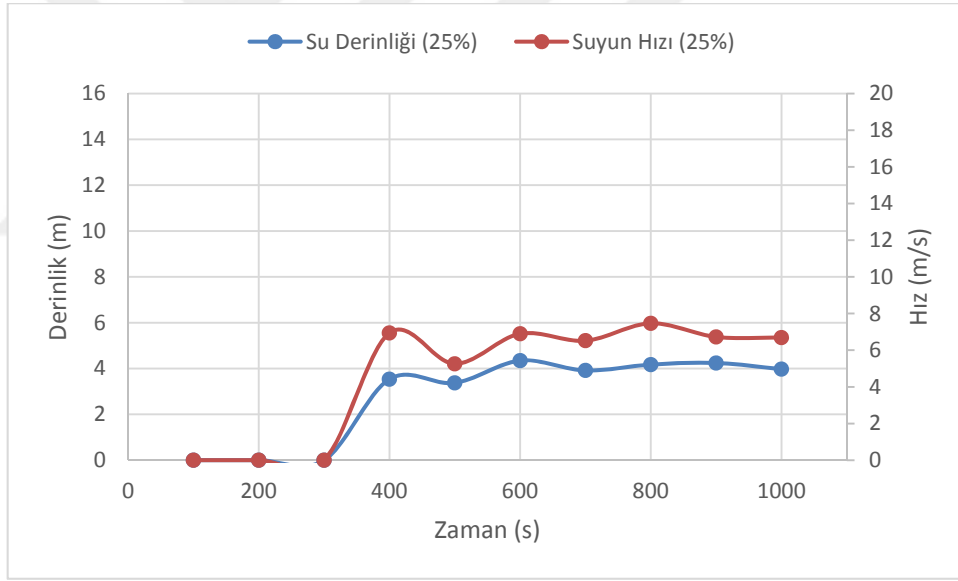
Şekil 7.68 3 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



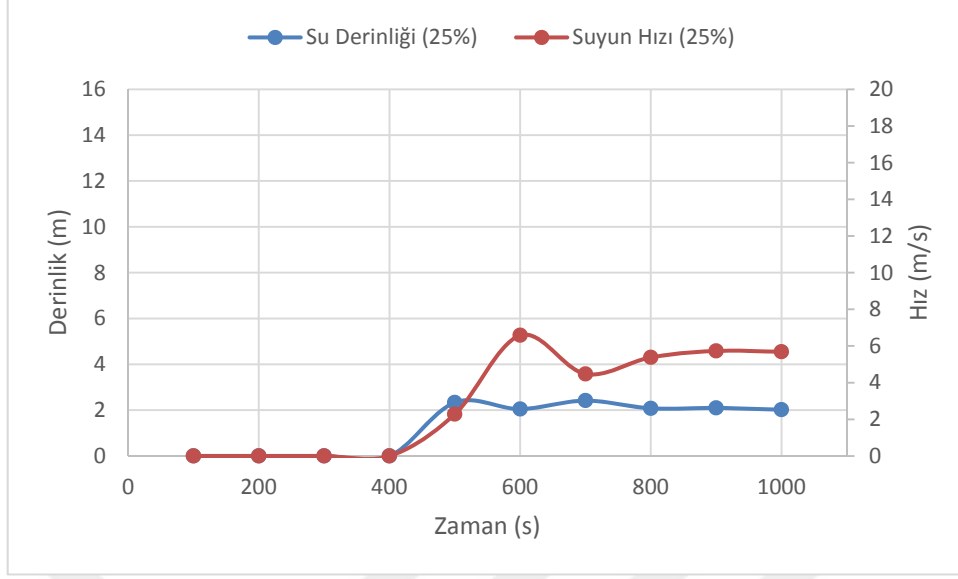
Şekil 7.69 4 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



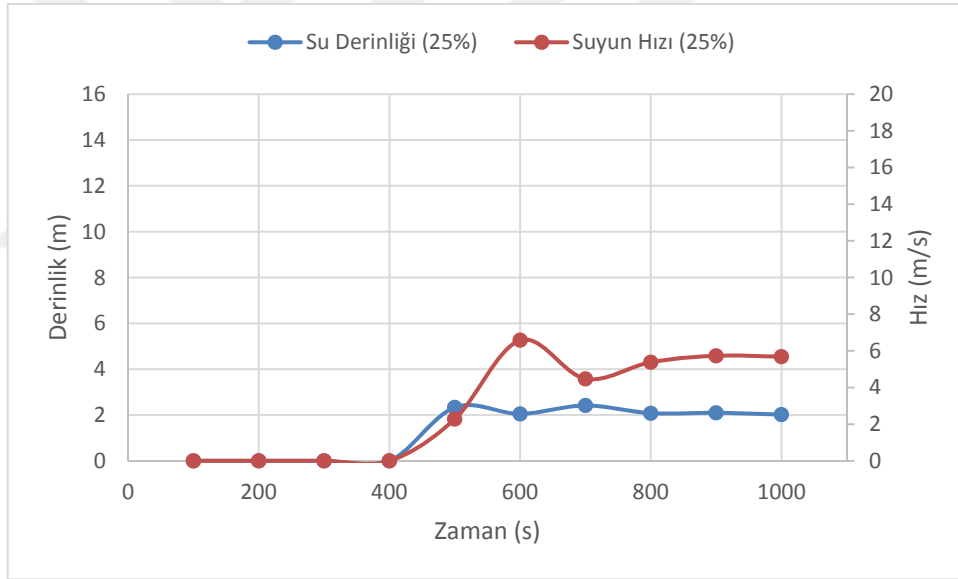
Şekil 7.70 5 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi



Şekil 7.71 6 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi

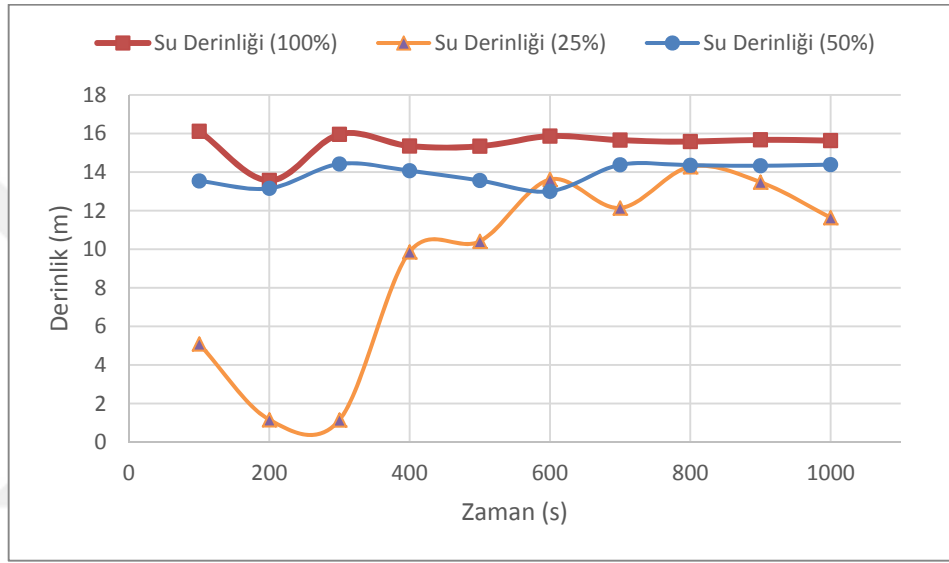


Şekil 7.72 7 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi

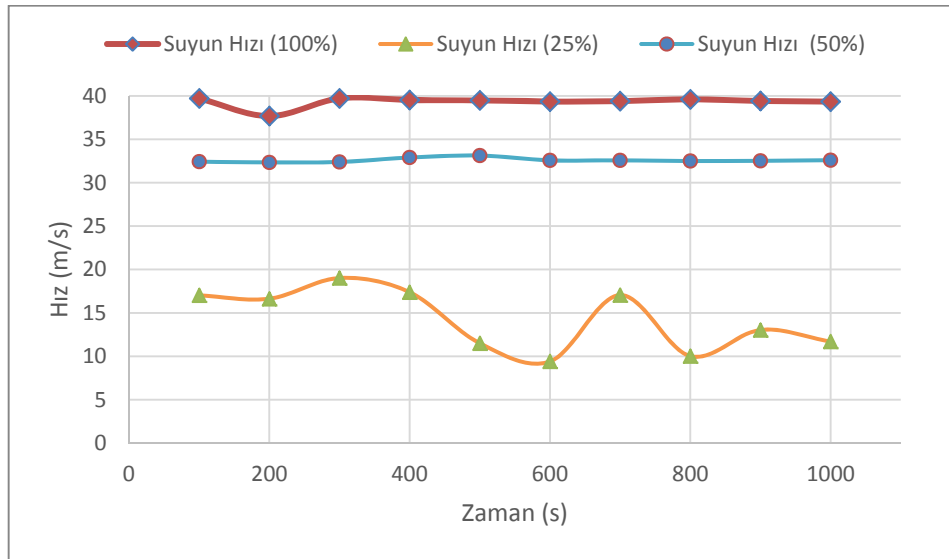


Şekil 7.73 8 Noktasında derinlik ve hızların zamana göre değişimi

Farklı seviyelerde (25% 50% 100%) yıkılmaların karşılaştırması Şekil 7.74 ile 7.89 arası şekillerde gösterilmiştir. Şekil 7.74 ve 7.75'ta görüldüğü üzere, baraja yakın olan bölgelerde ilk 500 saniyede 100% ve 50% seviyelerindeki yıkılma sonucu su derinliği, 25% seviyesindeki yıkılma sonucu oluşan su derinliğinden daha fazladır; ancak, bu fark zaman geçtikçe azalmaktadır. Aynı bölgede hızlara baktığımızda ise baştan sona kadar suyun hızı 50% ve 100% seviyesindeki yıkılmada birbirine yakın olsa da, 25% seviyesindeki yıkılmada suyun hızı çok daha azdır.

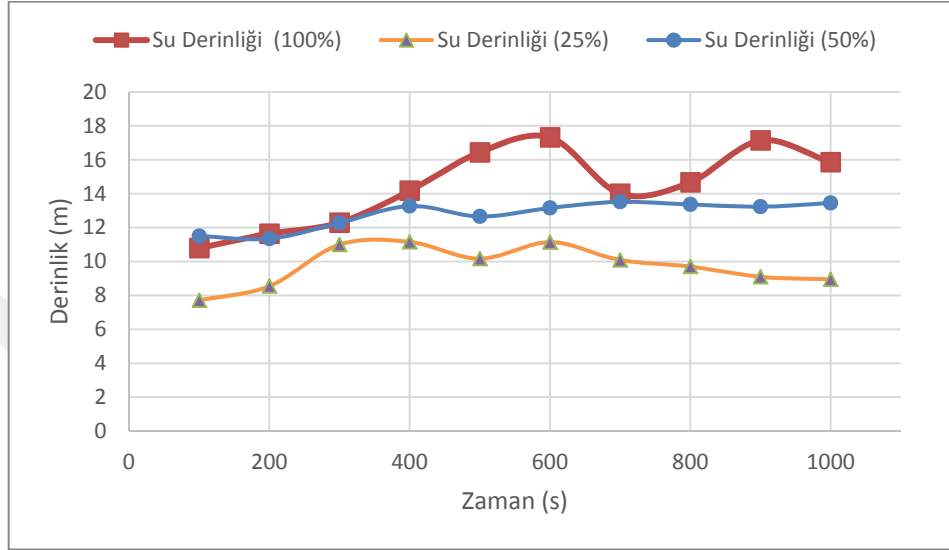


Şekil 7.74 1 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda derinliğin zamana göre değişimi

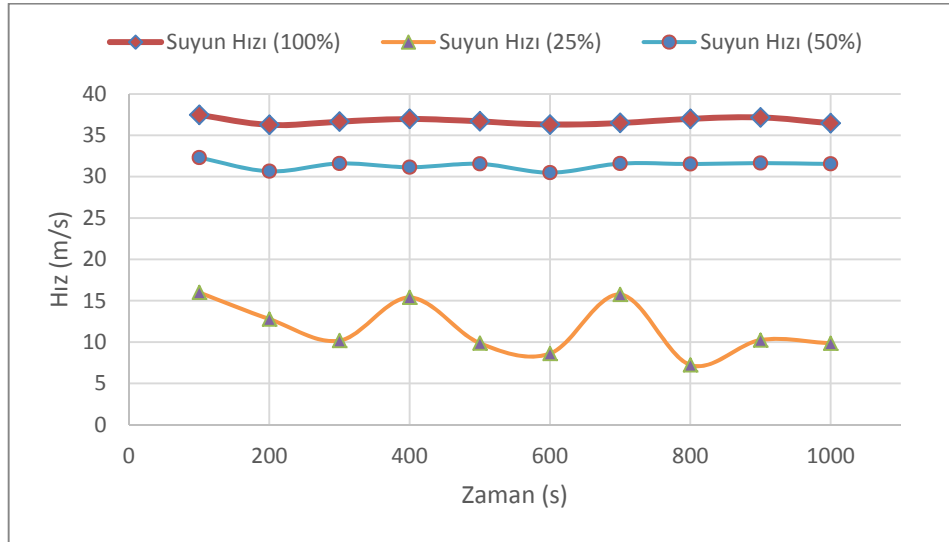


Şekil 7.75 1 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda hızın zamana göre değişimi

Barajdan yaklaşık bir kilometre ileride farklı seviyelerdeki yıkımlara bakıldığında, başlangıçtaki su derinliğinin 2 m ve 6 m arasında bir fark oluşturduğu görülmektedir. Diğer taraftan suyun hızı 50% ve 100% seviyesindeki yıkımlarda birbirine yakındır; ancak, 25% yıkımda suyun hızı çok daha azdır ve 50% ve 100% seviyesindeki yıkımlara göre yaklaşık 20 m/s arada fark bulunmaktadır.

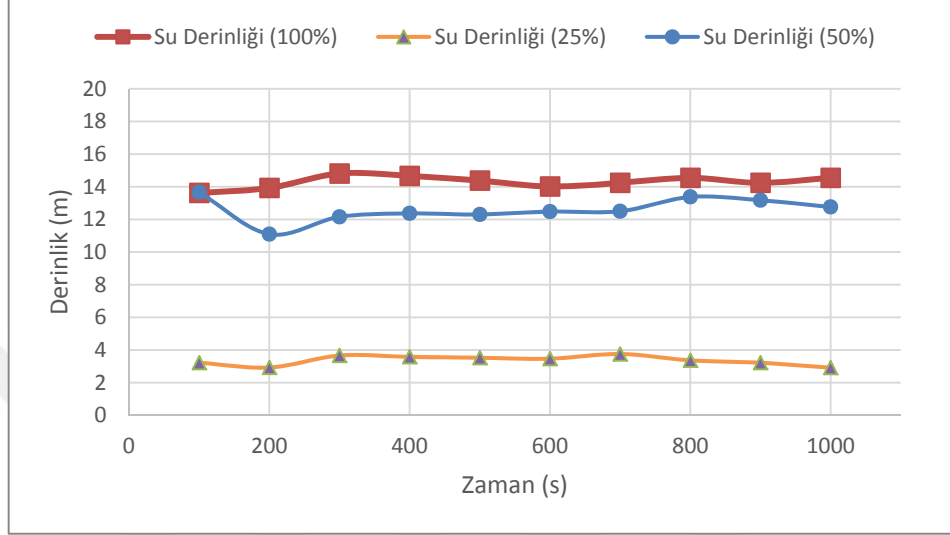


Şekil 7.76 2 Noktasında farklı seviyede yıkımlarda derinliğin zamana göre değişimi

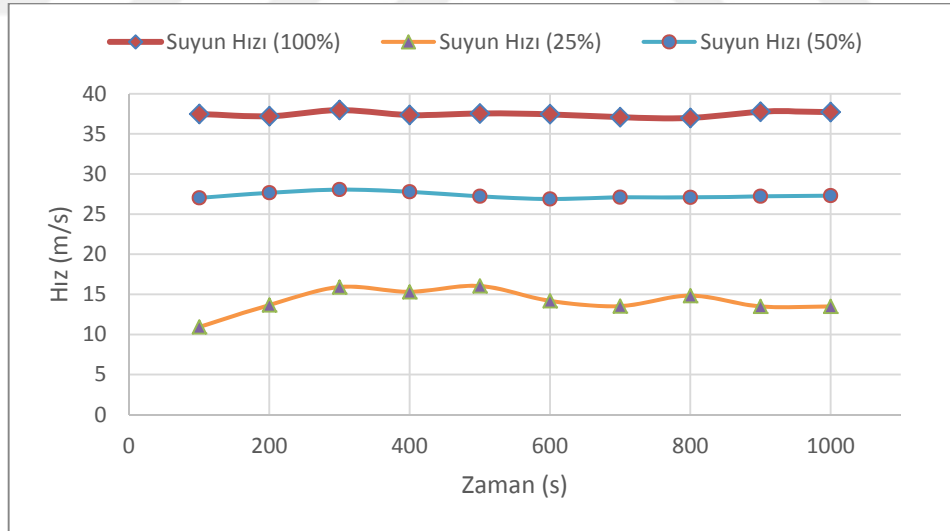


Şekil 7.77 2 Noktasında farklı seviyede yıkımlarda hızın zamana göre değişimi

Barajdan yaklaşık 1.5 kilometre uzaklaştığında ise; suyun derinliği her ne kadar 100% ve 50% seviyesindeki yıkılda birbirine yakın olup, 25% seviyesindeki yıkılmadan daha çok olsa da; suyun hızı 3 farklı yıkılma seviyesinde oldukça büyüktür ve aralarında eşit fark bulunmaktadır.

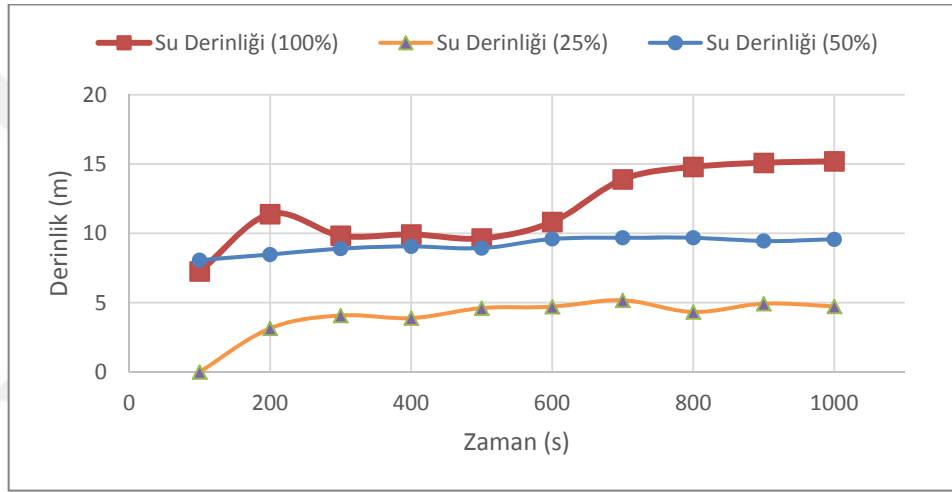


Şekil 7.78 3 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda derinliğin zamana göre değişimi

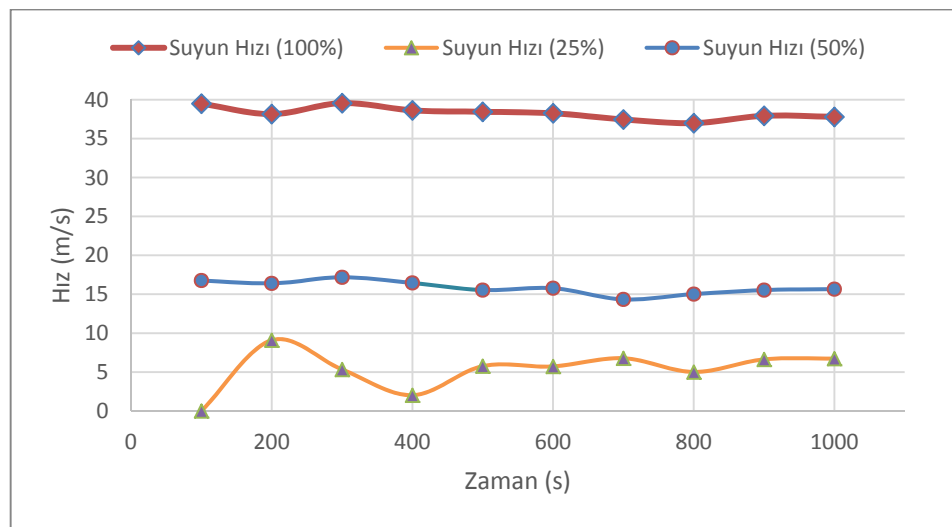


Şekil 7.79 3 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda hızın zamana göre değişimi

Barajdan yaklaşık 2 kilometre uzaklaştığında; 50% ve 100% seviyesinde yıkılınca su derinliği 8 metre olup, 100% yıkılmada zaman geçtikçe 16 metreye kadar yükseldiği görülmektedir; ancak, 50% yıkılmada su yüksekliği neredeyse sabit kalmaktadır. Aynı bölgede barajın 25% yıkıldığı durumda bakıldığında, 200. saniyede suyun bölgeye geldiği ve 5 metreye kadar yükseldiği görülmektedir. Suyun hızı ise; 100% seviyesindeki yıkılmada 40 m/s kadar yükselirken, 50% seviyesindeki yıkılmada oldukça büyük bir farkla suyun hızı 16 m/s'yi bulmaktadır. 25% seviyesinde yıkıldığı durumda ise su hızının 9 m/s mertebesine çıkmasına rağmen, zaman geçtikçe 6 m/s hızla sabit bir şekilde devam etmektedir.

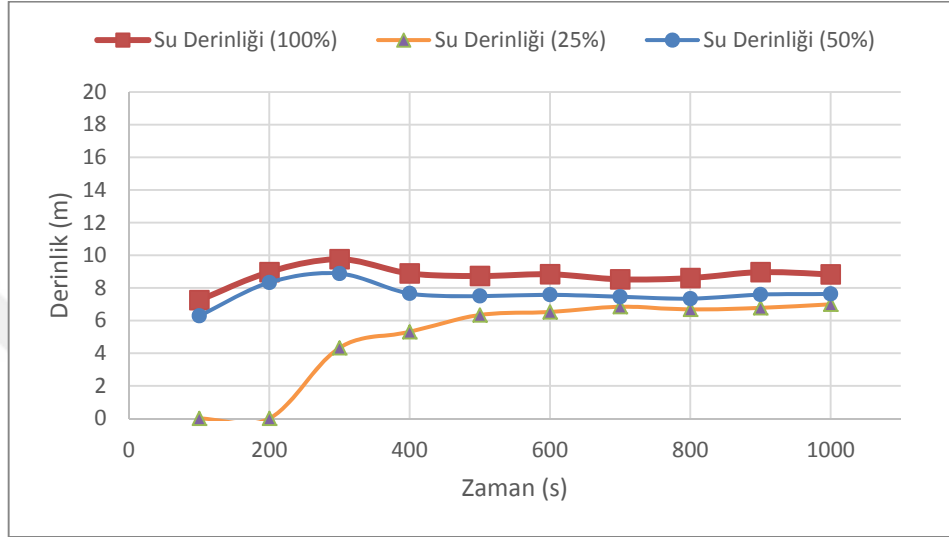


Şekil 7.80 4 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda derinliğin zamana göre değişimi

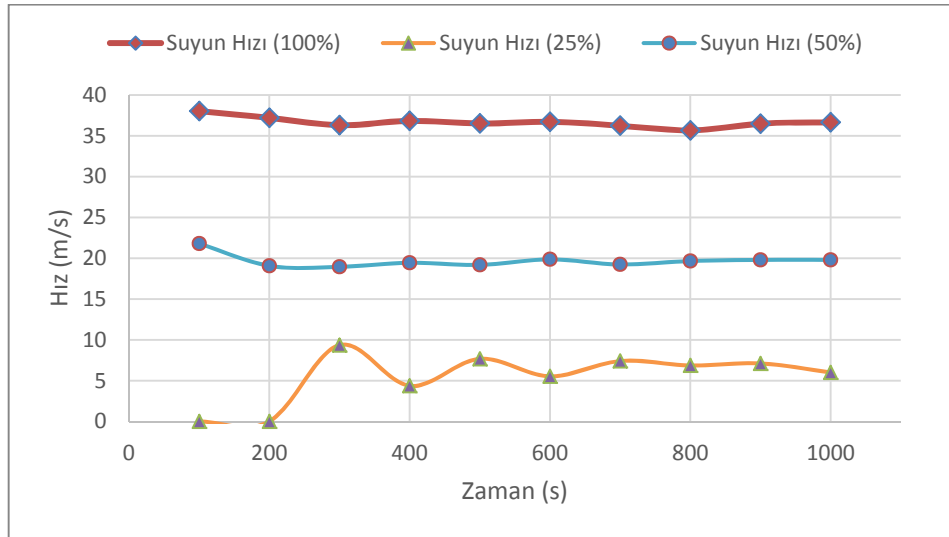


Şekil 7.81 4 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda hızın zamana göre değişimi

Barajdan 2.5 kilometre uzaklaştığında su derinlikleri farklı seviyelerde birbirine oldukça yakındır ve 7 ile 9 m arasında değişmektedir. Suyun hızı ise 100% seviyesindeki yıkılda oldukça yüksek olup, 38 m/s kadar yükselmektedir. 50% seviyesindeki yıkılda 20 m/s sabit hıza ilerlerken, 25% seviyesindeki yıkılda 5 ile 6 m/s arasında değişiklik göstermektedir.

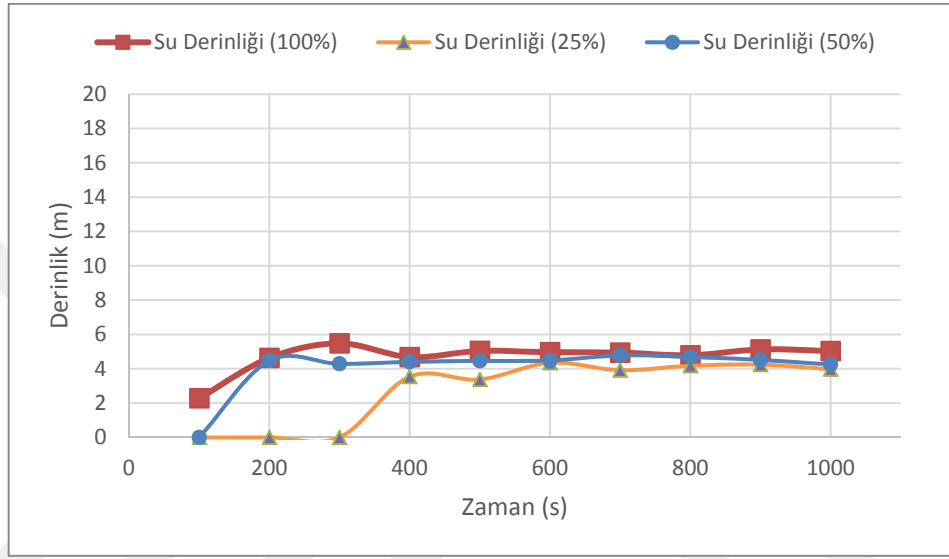


Şekil 7.82 5 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda derinliğin zamana göre değişimi

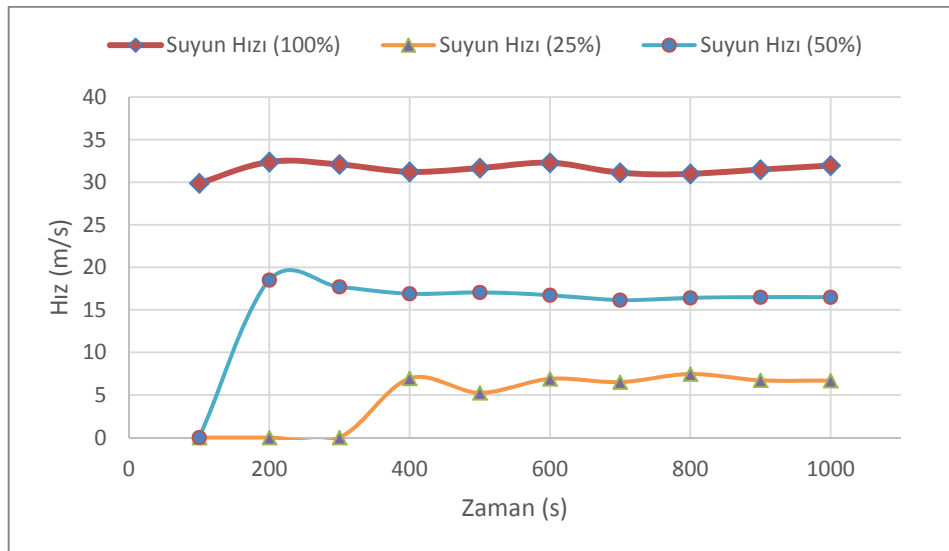


Şekil 7.83 5 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda hızın zamana göre değişimi

Barajdan üç kilometre uzaklaştığında su derinliğinin iyice düştüğü ve her üç yıkılma seviyesinde birbirine yakın sonuçlar çıktığı görülmektedir. Su seviyesi 4 ile 6 m arasında olmasına rağmen, üç farklı seviyede su hızında büyük farklar oluşmaktadır. 100% seviyesinde yıkılma durumunda suyun hızı 32 m/s kadar yükselirken, 50% seviyesinde yıkılınca 17 m/s sabit hızda ilerlemektedir ve 25% seviyesinde yıkılma durumunda su hızı en fazla 7 m/s mertebesine ulaşmaktadır.

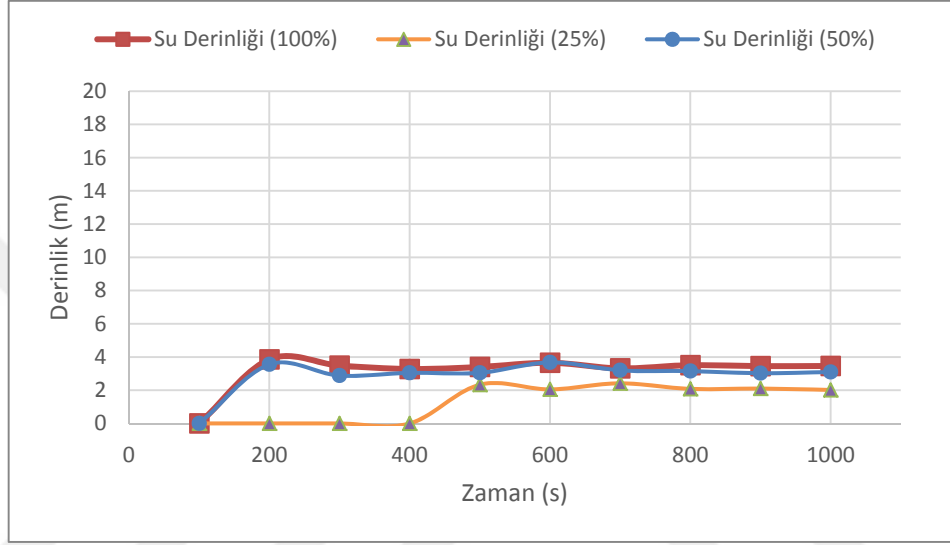


Şekil 7.84 6 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda derinliğin zamana göre değişimi

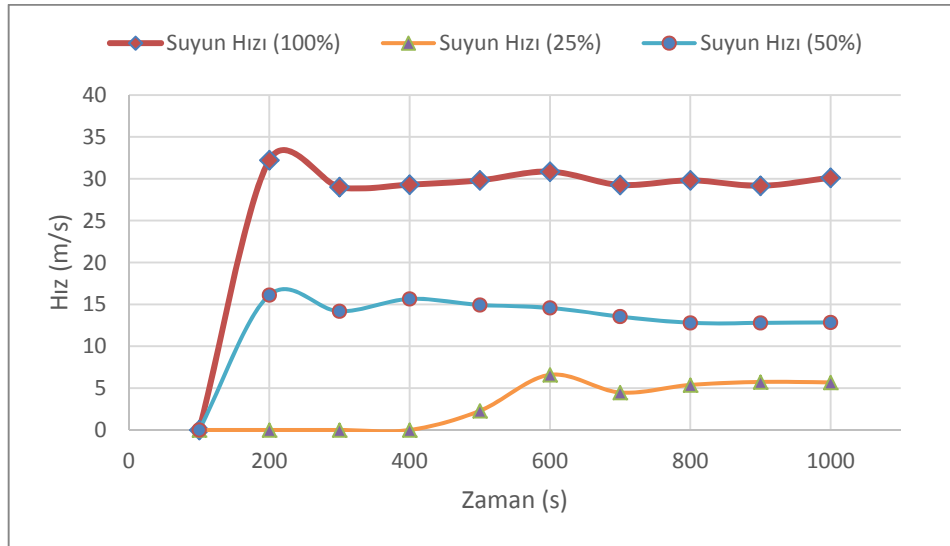


Şekil 7.85 6 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda hızın zamana göre değişimi

Barajdan iyice uzaklaşıp binaların olduğu bölgeye ve sahile yaklaşınca, su derinliğinin iyice düştüğü ve her üç yıkılma seviyesinde 2 ile 4 m arasında değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. Su hızı ise 100% seviyesindeki yıkılmada aynı şekilde yüksek olup, 30 m/s ile ilerlemektedir. 50% seviyesinde yıkılınca, hız 14 m/s'ye kadar düşmektedir. 25% seviyesinde yıkılınca ise en fazla 5 m/s'lik bir hız oluşmaktadır.

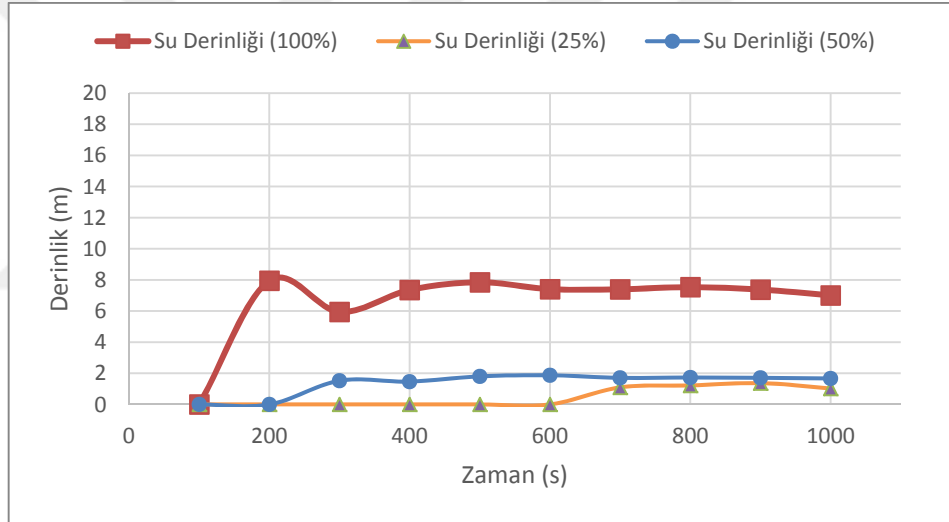


Şekil 7.86 7 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda derinliğin zamana göre değişimi

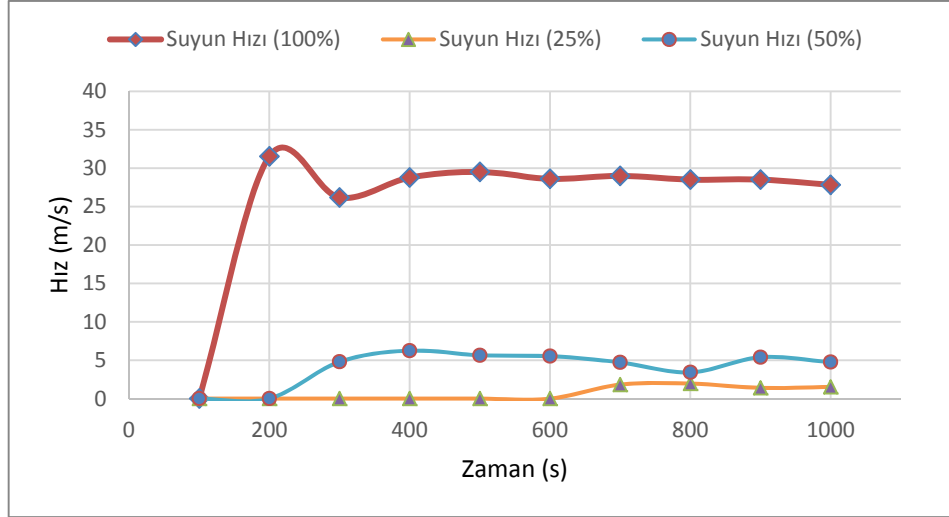


Şekil 7.87 7 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda hızın zamana göre değişimi

En önemli bölge olan binaların bulunduğu yerde su derinliği, baraj 100% seviyesinde yıkılınca 8 metreye kadar yükselmektedir; ancak, 50% ve 25% seviyesindeki yıkılma durumunda en fazla 2 metreye kadar çıkmaktadır. Su hızında da 100%, 50% ve 25% yıkılma seviyeleri arasında oldukça büyük bir fark görmektedir. Suyun hızı 100% yıkılma durumunda 30 m/s'ye ulaştığı halde; 50% yıkılma durumunda en fazla 6 m/s'ye, 25% seviyesinde yıkılınca en fazla 2 m/s'ye kadar çıktığı görülmektedir. Dikkat çeken bir diğer konu ise 25% seviyesindeki yıkılma durumunda 600. Saniyede suyun bölgeye ulaştığı görülmektedir. Bu da orada yaşayan insanlara kaçmak için bir fırsat yaratmaktadır. Bu süre; 50% seviyesindeki yıkılma durumunda 200 saniyeye, 100% seviyesinde yıkılma durumunda ise 100 saniyeye kadar düşmektedir.



Şekil 7.88 8 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda derinliğin zamana göre değişimi



Şekil 7.89 8 Noktasında farklı seviyede yıkılmalarda hızın zamana göre değişimi

Sel akışlarında insanın denge kaybı ve bu denge kaybına bağlı olarak gerçekleşen boğulmalarda, yüksek kişisel bir tehlike oluşmaktadır. Bu bölümde, insanların geçmişteki sel durumlarında denge kayıpları üzerine yapılan deneysel çalışmalar gözden geçirilmiştir. Sel Tehlikesi Araştırma Merkezi (FHRC) tarafından yeni deneylerin sonuçları da rapor edilmiştir.

Bu yeni sonuçlar düşük derinlik/yüksek hızda sel sularının, önceki deneysel çalışmalara dayalı bulgulara göre daha tehlikeli olduğunu göstermektedir. İnsan dengesizliğinin; moment kararsızlığı (devrilme) ve sürtünme kararsızlığı (kayma) olarak tanımlanan bu iki fiziksel mekanizmaya nasıl bağlı olabileceği tartışılmıştır.

Çoğu yazar kritik bir derinlik hızı (hvc) önermektedir. Kritik derinlik hızı, derinlik (h - [m]) ve hızın (v - [m/ s]) çarpım kombinasyonunu göstermektedir ki bu da bir kişinin sel durumundaki denge kaybını belirler:

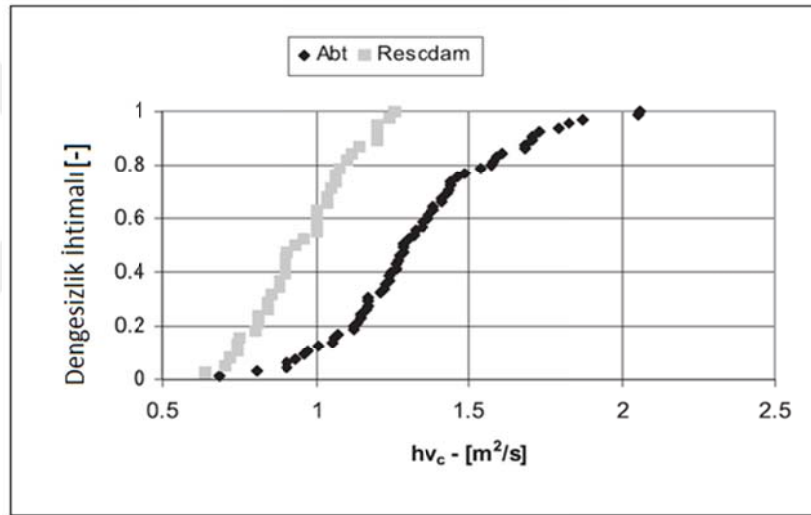
$$hvc = 0.0929 (e^{0.001906Lm+1.09})^2 \quad (7.1)$$

Yapılan deneylerin sonucundan, kritik çarpımı (hvc) tahmin etmek için Denklem (6.1) elde edilmiştir. Bu bağıntı bir insanın hangi durumda dengesiz olduğunu göstermekte olup, insan boyuna (L - [m]) ve kütlesine (m - [kg]) bağlıdır.

Japonya'da sel suları içinde yürüme durumu üzerinde birkaç deney yapılmıştır. Suetsugi (1998) sonuçları, derinlik-hız çarpımının $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$ 'yi aşması durumunda insanların suda yürürken zorluk yaşayacaklarını belirtmektedir.

Rescdam project (Karvonen et al., 2000) adlı başka bir araştırmaya göre, insanın boyu ve kütlesine bağlı olan kritik derinlik-hız çarpımı $0.64 \text{ m}^2/\text{s}$ ve $1.29 \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur.

$$h v_c = 0.004 L m + 0.2 \quad (7.2)$$



Şekil 7.90 Mevcut veri setleri için kritik Derinlik-Hız çarpımının dağılımı

Şekil 7.90, her iki veri seti için kritik derinlik-hız çarpımının olasılık dağılımını göstermektedir. 1 olasılık düzeyine bakıldığında, buradaki veri noktası büyük hvc ölçümünü gösterirken, yatay eksen ile kesiştiği nokta küçük hvc değerinin ölçümünü göstermektedir.

Analizden çıkan sonuçlara göre ise; insan dengesi sekizinci bölgede, yani binaların olduğu yerde yalnızca 25% seviyesinde yıkılınca bozulmamaktadır. Yıkılma seviyesinin artması durumunda, insanların dengesi çok büyük bir ihtimalle suyun bölgeye vardığı andan itibaren bozulacaktır.

Vancouver Kanada BC Hydro Kanadalı Hidrolik Merkezi; Ulusal Araştırma Konseyi yardımıyla bir "Can Güvenliği Modeli" (LSM) geliştirmiştir. LSM-in mevcut gelişimi, günümüzde İngilteredeki Wallingford tarafından kolaylaştırmıştır. LSM; baraj arızaları veya ani sel gibi sel olaylardan kaynaklanan ölümlerin tahmini için geliştirilmiş bir simülasyon tabanlı sayısal modeldir. Başlangıçta baraj yetmezliği ile ilgili yaşam kaybı risklerini belirlemek için geliştirilmiştir. Bu modelin aynı zamanda taşkın durumlarında tahliye potansiyelinin belirlenmesinde önemli olduğu kanıtlanmıştır.

Yapı DV (hız ile çarpılan derinlik) kriteri her bina için ayarlanır. Bu kriterler bir binanın kabul edilebilir hangi DV değerinde çöktüğünü belirlemektedir. Bir bina LSM simülasyon sırasında çökerse, binadaki tüm sakinlerin öldüğü varsayılır. LSM Kullanıcı Kılavuzu (M.Ö. Hidro Mühendislik Raporu No. E310) LSM kullanıldığı zaman aşağıda belirtilen bina kararlılık DV kriterleri değerlerini önermektedir:

- 5 m²/s kötü inşa edilmiş binalar için;
- 10 m²/s iyi inşa edilmiş ahşap binalar için;
- 15 m²/s iyi inşa edilmiş yığma (taş) binalar için;
- 20 m²/s Beton binalar için; ve
- 35 m²/s Büyük beton binalar için.

Analizden çıkan sonuçlara göre; 100% seviyesinde baraj yıkıldığı durumda hiçbir bina suya karşı mukavemet gösteremez. 50% seviyesinde yıkıldığı durumda, sadece kötü inşa edilmiş binalar ve iyi inşa edilmiş ahşap binalar suyun kuvvetine karşı dayanamamaktadır. 25% seviyesinde yıkıldığı durumda ise hiçbir binaya zarar gelmemektedir. Binalar güvenli bir mekan olarak kullanılabilir.

BÖLÜM SEKİZ

SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Tahtalı barajının 100% seviyesinde yıkılması durumunda oluşacak taşkın, sahildeki yerleşim alanlarına ulaşması 2-3 dk mertebesindedir. Dolayısıyla böyle bir olayın gerçekleşmesi durumunda herhangi bir önlem almak mümkün değildir. Ama barajın 50% seviyesinde yıkılması durumunda yerleşim binaların güvenli bir mekan olduğu görünmektedir. 50% seviyesinde yıkılma durumunda 4-5 dakika içerisinde suyun yerleşim yerlerine ve binalara ulaşacağı, bu yüzden de sahilde olan insanların kurtarılma şansının çok olmayacağı, sadece binaların içinde veya yakınında olanların hayatta kalma şanslarının olacağı görünmektedir. 25% seviyesinde yıkılma durumunda ise insanlar hiçbir şekilde tehlikede değildir. Dışarıda olan insanların dengesinin bozulma ihtimali düşüktür. Aynı zamanda binalar da her halukarda su karşısında mukavemet gösterecektir.

Tahtalı barajı İzmir İçme Suyu Projesinin su potansiyeli açısından en büyük tesisidir. Ayrıca İzmir'e içme suyu sağlayan en büyük yüzeysel su kaynağıdır. Baraj gövdesi mansabında Gümüldür ilçe merkezi, sahil siteleri ve tarımsal alanlar yer almaktadır.

Gümüldür merkezinin yamaçta nispeten yüksek kottarda yer alması nedeniyle taşkından etkilenmesi söz konusu değildir. Ancak tarım alanlarının çok büyük bir kısmının sular altında kalacağı görünmektedir. Taşkın esnasında 100% seviyesinde yıkılma durumunda akım hızlarının çok yüksek değerlerde olması nedeniyle, taşkın dalgasına maruz kalacak yapılar çok ciddi hasarlar görecektir. Su ise hızlı bir şekilde yerleşim binalarına ulaşacağından, insanların hayati tehlikesinin olduğu açıktır. Dolayısıyla gövdede oluşabilecek sızma problemlerine zamanında müdahale edilerek yıkılmaya kadar gidebilecek hasarların önlenmesi gerekmektedir ve barajın 25% seviyesinden daha fazla yıkılmasını önleyen tedbirler, barajı inşaa ederken düşünülmelidir. Tahtalı barajı gibi inşaa edilmiş barajlar için de, 100% yıkılma durumunda hasarı olabildiğince azaltmak amacıyla suyun akacağı derede bir bendin inşaa edilmesi tavsiye edilir. Böylece sahildeki insanlara zaman kazandırılır. Aynı zamanda suyun bir kısmı bendin arkasında birikeceği için, su yerleşim yerlerine ve

binalara vardığında su seviyesi daha düşük olacağından, daha düşük bir hızla da akacaktır.

Baraj yıkılması sık rastlanan bir olay olmamakla birlikte, gerçekleştiğinde ciddi can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir. Baraj yıkılmaları için benzer senaryolar oluşturmak mümkündür; ancak, barajların boyutları, göl hacmi ve özellikle de taşkın dalgalarının yayıldığı yatak ve havza özellikleri farklılıklar gösterdiğinde her baraj için yıkılma analizlerinin ayrı ayrı yapılması gerekmektedir.



KAYNAKLAR

Ağıralioğlu, N. (2011). *Baraj gúvenliđi*. İstanbul: Beta Basım Yayın.

Aureli, F. Mignosa, P. ve Tomirotti, M. (1999). Dam-Break flows in presence of abrupt bottom variations. *Proceedings of the XXVIII IAHR Congress*, Technical University Graz.

Bell, S. W. Elliot, R.C. ve Chaudry, M. H. (1992). Experimental results of two dimensional dam-break flows. *Journal of Hydraulic Research*, 30 (2), 225-252

Bellos, V. Soulis, J.V. ve Sakkas, J.G. (1992). Experimental investigation of two-dimensional dam-break induced flows. *Journal of Hydraulic Research*, 30 (1), 47-63.

Bozkuş, Z. (2002). Pre-Event failure analyses of kestel dam for disaster management. *5th International Congress on Advances in Civil Engineering*, 2, 1141-1150.

Bozkuş, Z. (2004). Afet yönetimi için baraj yıkılma analizleri. 1. *İMO Teknik Dergi*, 15 (4), 3335-3350.

Chanson, H. (2004a). *Hydraulics of open channel flow: An Introduction*. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.

Chanson, H. (2005). *Applications of the Saint-Venant equations and method of characteristics to the dam break wave problem CH55/05*. Department of Civil Engineering, The University of Queensland.

Dressler, R. F. (1952). Hydraulic resistance effects upon the dambreak functions. *Journal of Research*, 49 (3), 217-225.

Flow Science (2011). *FLOW3D user manual version 10.0*. Flow Science, Santa Fe, NM.

- Frazaio, S. Lories, D. Taminiau, S. ve Zech, Y. (2003). Dambreak flow in a channel with a sudden enlargement. proceedings, *30th IAHR Congress*, C-II, 221-228.
- İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi - İZSU (2011). *Tahtalı barajı ve içme suyu arıtma tesisi*. 15 Eylül 2015 <http://www.izsu.gov.tr/Pages/standartPage.aspx?id=218>.
- Jovanovic, M. ve Djordjevic, D. (1995). Experimental verification of the MacCornack numerical scheme. *Advanges in Engineering Software*, 23, 61-64.
- Kocaman, S. (2007). *Baraj yıkılması probleminin deneysel ve teorik olarak incelenmesi*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Laigle, P. ve Coussot, P. (1997). Numerical modelling of mudflows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123 (7), 617-623.
- Lauber, G. ve Hager, W. H. (1997). Positive front of dambreak wave. *27 IAHR Congress San Francisco A:729-739*.
- Lauber G. ve Hager, W.H. (1998a). Experiments to dambreak wave: horizontal channel. *Journal of Hydraulic Research*, 36(3), 291-308.
- Lauger, G. ve Hager, W. H. (1998b). Experiments to dambreak wave: sloping channel. *Journal of Hydraulic Research*, 36 (5), 761-773.
- Mohapatra, P. K. ve Bhallamudi, S. M. (1996). Computation of a dam-break flood wave in channel transitions. *Advances in Water Resources*, 19 (3), 181-187.
- Mohapatra, P. K. Eswaran, V. ve Bhallamudi, S. M. (1999). Two-Dimensional analysis of dam-break flow in vertical plane. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125 (2), 183-192.

Nsom, B. Debiane, K. ve Piau, M. J. (2000). Bed slope effect on dam break problem. *Journal of Hydraulic Research*, 38 (6), 459-464.

Sezer, C. (1992). Barajların yıkılması ve tehlike analizlerinin önemi. *Devlet Su İşleri Teknik Bülteni*, 77.

Stoker, J. J. (1957). *Water waves..* Newyork : Wiley.

Visscher, D. L. ve Hager, W. H. (1998). *Dam hydraulics*. England : John Willey and Sons Ltd.

Wu, C. Huang, G. ve Zheng, Y. (1999). Theoretical solution of dam-break shock wave. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125 (11), 1210-1215.

Zhao, D. H. Shen, H.V. Laj, J. S. ve Tabios, G. Q. (1996). Approximate riemann solvers in FVM for 2D hydraulic shock wave modelling. *Journal of Hydraulic Engineering*, 122 (12), 692-702.