

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BARAJ YIKILMASI SONUCU OLUŞAN TAŞKIN
DALGALARININ DENEYSEL VE NÜMERİK
METODLAR İLE ARAŞTIRILMASI



Tanıl ARKIŞ

Ekim, 2020

İZMİR

BARAJ YIKILMASI SONUCU OLUŞAN TAŞKIN DALGALARININ DENEYSEL VE NÜMERİK METODLAR İLE ARAŞTIRILMASI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

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

Tanıl ARKIŞ

Ekim, 2020

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

TANIL ARKIŞ, tarafından PROF. DR. MEHMET ŞÜKRÜ GÜNEY yönetiminde hazırlanan “BARAJ YIKILMASI SONUCU OLUŞAN TAŞKIN DALGALARININ DENEYSEL VE NÜMERİK METODLAR İLE ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet Şükrü GÜNEY

Yönetici

Prof. Dr. Ayşe FİLİBELİ

Tez izleme Komitesi Üyesi

Doç. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Tez izleme Komitesi Üyesi

Prof. Dr. Gökmen TAYFUR

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Gökçen BOMBAR

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Özgür ÖZÇELİK

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bursiyer olarak görev yaptığım TÜBİTAK 110M240 nolu proje ile bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde maddi destek sağladığı için TÜBİTAK’a teşekkür ederim. “Baraj Yıkılması Sonucu Oluşan Taşkının Deneysel ve Nümerik Metotlar ile Araştırılması—Gerçek Barajlara CBS Ortamında Uygulanması” adlı bu projede kaynaklar konusunda beni yönlendiren ve araştırmalarımı ışık tutan tez danışmanım Prof. Dr. M. Şükrü Güney’e teşekkürlerimi sunarım. Projenin her safhasında engin bilgilerini bizimle paylaşan emekli Prof. Dr. Turhan Acatay’a müteşekkirim.

Ürkmez Barajının inşa edildiği bölgeye ait 1/5.000’lik haritaların ve baraj gövdesi kesitlerinin elde edilmesinde DSİ 2. Bölge Müdürlüğü ayrıca güncel yerleşim durumunu gösteren dijital vaziyet planını temin eden İZSU Genel Müdürlüğü yetkililerine şükranlarımı sunarım.

Hidrolik Laboratuvarı’nda ders aşamasında katkı ve yardımlarından dolayı Doç. Dr. Ayşegül Özgenç Aksoy’a, yapılan deneylerde yardımcı olan Doç. Dr. Mustafa Doğan’a, Doç. Dr. Gökçen Bombar’a, teknisyen İsa Üstündağ’a ve laboratuvardaki arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Aliğa STAR Rafinerisi Projesinde çalıştığım şirketim Yenigün Ailesi’nden Sayın Mithat Yenigün, Sayın Fikret Yenigün’e, proje müdürümüz Sayın Koray Özdemir’e ve çalıştığı süre boyunca teknik ofis şefim İbrahim Uluğ ve planlama şefim Engin Salman’a doktora çalışmalarım sırasında gösterdikleri hoşgöründen dolayı teşekkür ederim.

Doktora eğitimim süresince her türlü fedakarlığı yapan Öğretim Görevlisi annem Güngör Arkış’a, beni yetiştiren aileme teşekkürü borç bilirim. Jeoloji Yüksek Mühendisi ağabeyim Enis Arkış’a simülasyonlardaki katkısından dolayı ayrıca teşekkür ederim.

Tez yazımı sırasında sonsuzluğa uğurladığım arkadaşım Alice ve Cavit amcamın anısına saygıyla.

Tanıl ARKIŞ

BARAJ YIKILMASI SONUCU OLUŞAN TAŞKIN DALGALARININ DENEYSEL VE NÜMERİK METODLAR İLE ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Ürkmez Baraj gölü, baraj gövdesi ve denize kadar olan mansap bölgesini içeren çarpıtılmış bir fiziksel model yatay ölçeği 1/150 ve düşey ölçeği 1/30 olacak şekilde inşa edilmiştir. Model inşa edilirken Devlet Su İşleri'nden (DSİ) elde edilen harita ve baraj gövdesine ait kesitlerle beraber İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi (İZSU) Genel Müdürlüğü'nden temin edilen güncel dijital vaziyet planından yararlanılmış ve ilgili topoğrafyayla beraber Seferihisar – Kuşadası Karayoluyla birlikte evler modele yansıtılmıştır.

Su derinlikleri e+ WATER L seviye ölçerleri kullanılarak ölçülmüştür. Hızlar Ultrasonic Velocity Profiler (UVP) algılayıcılarıyla belirlenmiştir. Taşkın dalgasının yayılması kamera vasıtasıyla kaydedilmiştir. Nümerik araştırmalar Flow 3D programı ile RNG, LES ve k-ε türbülans modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde farklı üç senaryo gerçekleştirilmiş olup en büyük su derinliklerinin ani yıkılmada olduğu gözlemlenmiştir. Ani yıkılmadan sonra sırasıyla trapez gedik ve üçgen gedik durumlarında maksimum su derinlikleri elde edilmiştir. Ani yıkılmada maksimum derinliğe ulaşma süresi en kısa olup bunu trapez gedik ve üçgen gedik oluşumları izlemiştir.

Deneylerde 12 cm'ye varan su derinlikleri ölçülmüş olup doğada 3,6 m'ye karşılık gelmekte ve böylece bir katlı evler suya gömülmektedir. Deneylerde ölçülen hızlar 6 m/s mertebesine ulaşmakta ve bu da doğada 32,88 m/s hıza karşılık gelmektedir. Bu mertebedeki hızlar yapılara önemli bir hidrodinamik etki uygulayarak stabilitelerini tehdit edecek büyüklüktedir.

Taşkın dalgasının evlerin yoğun olduğu bölgeye yaklaşık 6 saniyede ulaştığı deneylerde gözlemlenmiş olup doğada 2,7 dakikaya karşılık gelmektedir. Deneylerde taşkın dalgasının karayoluna ulaşma süresi 7 saniye olarak ölçülmüş olup doğada 3,2 dakikaya karşılık gelmektedir.

Sayısal çözümler sonucunda RNG ile elde edilen sonuçların deneysel bulgulara daha yakın olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Fiziksel model, çarpıtılmış model, benzeşim kanunları, baraj yıkılması, taşkın yayılması, Flow 3D



EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF PROPAGATION OF FLOOD WAVES DUE TO DAM BREAK

ABSTRACT

The distorted physical model of Ürkmez Dam was constructed together with its reservoir and the downstream part. The horizontal and vertical scales of the model are 1/30 and 1/150, respectively. The model was constructed by means of the maps and drawings obtained from State Hydraulic Works (DSI) and current digital layout plan obtained from the General Directorate of Water and Sewerage Administration (IZSU). Seferihisar - Kuşadası highway and residences were reflected in the model together with the relevant topography.

Water depths were measured by using e + WATER L level meters. Velocities were determined with Ultrasonic Velocity Profiler (UVP) sensors. The propagation of the flood wave was recorded by high definition camera. Numerical analysis was performed by means of Flow 3D software by using RNG, LES and k- ϵ turbulence models.

The experiments were carried out with three different scenarios and the magnitudes of the maximum water depths were observed in the following order: sudden collapse, formation of trapezoidal breach and formation of triangular breach. The shortest time to reach the maximum depths was observed in the sudden collapse case and followed by trapezoidal and triangular formation cases.

In the experiments, water depths up to 12 cm were measured. This value corresponds to 3.6 m meaning that the residences of one floor will be submerged. The velocities measured in the experiments reached 6 m/s, which corresponds to a speed of 32.88 m/s in nature. Such velocities are large enough to threaten the stabilities of the structures because of significant hydrodynamic effect.

During the experiments the time elapsed for the flood wave to reach the intense residential area is about 6 seconds, which corresponds to 2.7 minutes in nature. In the experiments, the flood wave reached the highway approximately in 7 seconds, which corresponds to 3.2 minutes in nature.

It was revealed that numerical results obtained by using RNG turbulence model was more compatible with the experimental findings.

Keywords: Physical model, distorted model, similarity laws, dam break, flood propagation, Flow 3D



İÇİNDEKİLER

Sayfa

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
TABLOLAR LİSTESİ.....	xvii

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışmanın Kapsamı.....	2

BÖLÜM İKİ - GEÇMİŞTE OLUŞAN ÖNEMLİ BARAJ YIKILMALARI VE KONUSYLA İLGİLİ MEVCUT ÇALIŞMALAR..... 3

2.1 Geçmişteki Önemli Baraj Yıkılmaları.....	3
2.2 Konu ile İlgili Mevcut Çalışmalar	9

BÖLÜM ÜÇ - FİZİKSEL MODELİN TASARIM VE İNŞAATI KULLANILAN DENEY CİHAZLARI VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ..... 13

3.1 Fiziksel Modelin Tasarımı ve İnşaatı	13
3.2 Deney Cihazları ve Ölçüm Yöntemleri	25
3.2.1 Hız Ölçer	27
3.2.2 Derinlik Ölçer	28

BÖLÜM DÖRT - FİZİKSEL MODEL ÜZERİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALAR..... 32

4.1 Trapez Yıkılma	32
--------------------------	----

4.2 Üçgen Yıkılma.....	36
4.3 Ani Yıkılma	40
4.4 Trapez, Üçgen ve Ani Yıkılma Bulguları.....	44
4.5 Göl Su Kotunun Zamana Bağlı Değişimi.....	52
BÖLÜM BEŞ - FLOW 3D YAZILIMI	53
5.1 Flow 3D Yazılımı ile İlgili Genel Bilgiler.....	53
5.1.1 Kütle Korunum Denklemi.....	54
5.1.2 Momentum Denklemleri	55
5.2 Flow 3D ile Simülasyonda Yapılan İşlemler.....	57
5.2.1 Modelin Flow 3D'ye Aktarılması.....	57
5.2.2 Ağ (Mesh) İşlemi ve Menülerin Tanıtılması	61
BÖLÜM ALTI - SAYISAL ÇÖZÜM SONUÇLARI ve DENEYSEL BULGULAR İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	74
6.1 Trapez Gedik Durumunda Elde Edilen Sonuçlar	74
6.1.1 Farklı Pürüzlülük Bölgeleri ve Taşkın Hidrografi Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler	75
6.1.1.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar.....	75
6.1.1.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar	76
6.1.2 Evler, Zemin Pürüzlülüğü ve Taşkın Hidrografi Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler	77
6.1.2.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar.....	77
6.1.2.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar	78
6.1.3 Göl Topoğrafyası Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler	79
6.1.3.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar.....	79
6.1.3.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar	80

6.1.3.3 Noktasal Hızlar ile İlgili Sonuçlar.....	81
6.2 Üçgen Gedik Durumunda Elde Edilen Sonuçlar	82
6.2.1 Farklı Pürüzlülük Bölgeleri Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler	83
6.2.1.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar	83
6.2.1.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar	84
6.2.2 Evler, Zemin Pürüzlülüğü ve Taşkın Hidrografi Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler	85
6.2.2.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar	85
6.2.2.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar	86
6.2.3 Göl Topoğrafyası Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler	86
6.2.3.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar	87
6.2.3.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar	88
6.2.3.3 Noktasal Hızlar ile İlgili Sonuçlar.....	88
6.3 Ani Yıkılma Durumunda Elde Edilen Sonuçlar	89
6.3.1 Farklı Pürüzlülük Bölgeleri Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler	90
6.3.1.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar	90
6.3.1.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar	92
6.3.2 Evler, Zemin Pürüzlülüğü ve Taşkın Hidrografi Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler	92
6.3.2.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar	92
6.3.2.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar	94
6.3.3 Göl Topoğrafyası Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler	94
6.3.3.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar	94
6.3.3.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar	96
6.3.3.3 Noktasal Hız ile İlgili Sonuçlar.....	96
6.4 Farklı Türbülans Modellerinin Karşılaştırılması	97

6.5 Taşkın Hidrografi veya Baraj Gölünün Tanımlanması Arasındaki Farklar ...	102
BÖLÜM YEDİ - SONUÇ VE ÖNERİLER	106
KAYNAKLAR	109
EKLER.....	113
EK 1 - SEVİYE ÖLÇER HAM VERİ ÖRNEĞİ	113
EK 2 - HIZ ÖLÇER HAM VERİ ÖRNEĞİ.....	115
EK 3 - FLOW SIGHT HAM ÇIKTI ÖRNEĞİ	118
EK 4 - UVP İLE DOĞRUDAN ELDE EDİLEN HIZ DEĞERLERİNİN NÜMERİK SONUÇLARLA KARŞILAŞTIRILMASI.....	120

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 St. Francis Barajı.....	4
Şekil 2.2 Malpasset Barajı	4
Şekil 2.3 Vaiont Barajı.....	5
Şekil 2.4 Baldwin Hills Barajı	6
Şekil 2.5 Lower San Fernando Barajı	6
Şekil 2.6 Teton Barajı	7
Şekil 2.8 Algodões Barajı	8
Şekil 2.9 Big Bay Barajı	8
Şekil 3.1 Ürkmez Barajı ve mansap bölgesi	13
Şekil 3.2 (a) Model inşaatının yapıldığı alan (b) Drenaj boruları	16
Şekil 3.3 (a) Dolgu malzemesinin serilmesi (b) Lamalar arası hasırlı donatı uygulaması ve beton dökülmesi.....	16
Şekil 3.4 (a) Lama hazırlanması sırasında kullanılan çarpıtılmış ölçekte hazırlanan enkesit örneği (b) Hazırlanan lamaların kaynatılma işlemi sırasından bir görünüm	16
Şekil 3.5 (a) Enkesitlerin modelde uygulanması (b) Fiziksel modelde baraj gövdesine kadar olan kısım ile ilgili enkesitlerin yerleştirilmesi ve birbirleriyle birleştirilmesi	17
Şekil 3.6 (a) Baraj gölünün tuğla ile örülen duvarları (b) Dolgu malzemesi ile doldurulması.....	17
Şekil 3.7 (a) Betonlama işlemi (b) Beton üzeri şap tabakası imal edilmesi.....	18
Şekil 3.8 Baraj model gölü.....	18
Şekil 3.9 (a) Baraj gövdesi yerinin belirlenmesi (b) Mansap bölgesine ait kesitlerin tamamı ve sahil şeridine karşılık gelen profilin yerleştirilmesi.....	19
Şekil 3.10 (a) (b) (c) (d) Mansap bölgesinin betonlanması.....	19
Şekil 3.11 (a) Evlerin konumunu gösteren işaretlemeler (b) Vidaların deliklere montajı	20
Şekil 3.12 Ahşap blokları yerleştirme öncesinde vida başlarının kesilmesi	21
Şekil 3.13 (a) Fiziksel modelde temsil edilen Seferihisar-Kuşadası karayolu (b) Mansaptan genel bir görünüm	21

Şekil 3.14 Fiziksel modelin sahilden genel görünüşü.....	22
Şekil 3.15 (a) Farklı yıkılma senaryoları için imal edilmiş olan baraj gövdeleri (b) Gövdenin yerleşebilmesi ve gediği temsil eden kısmın çekilip asılması için yapılan mekanizma.....	22
Şekil 3.16 Baraj gövdesine ve mekanizmasına ait detaylar	23
Şekil 3.17 (a) (b) Baraj gölünün yalıtımı yapıldıktan sonraki hali	23
Şekil 3.18 Baraj gövdesine giren suyun tahliye edilmesi için yapılan tamirat	24
Şekil 3.19 Fiziksel modelin çatısı	24
Şekil 3.20 Ani yıkılma baraj kapağı düzeneği	25
Şekil 3.21 Ani yıkılma baraj kapağı ölçüleri	25
Şekil 3.22 Trapez, üçgen gedik şeklinde kısmi yıkılma durumunda göl hacim - su derinliği eğrisi	26
Şekil 3.23 Ani yıkılma durumunda göl hacim - su derinliği eğrisi.....	26
Şekil 3.24 UVP cihazı	27
Şekil 3.25 Algılayıcı çeşitleri.....	27
Şekil 3.26 UVP'nin çalışma prensibi.....	28
Şekil 3.27 e + Water L (a) seviye ölçer iveri (b) cihazı.....	29
Şekil 3.28 UVP, seviye ve hız ölçerlerin konumunu gösteren kroki	30
Şekil 3.29 Baraj gölüne yerleştirilen seviye ölçer.....	31
Şekil 3.30 (a) (b) (c) (d) Mansap bölgesine yerleştirilmiş olan seviye ölçerler ve UVP algılayıcıları.....	31
Şekil 4.1 Trapez deneylerine ait göl hacmi - zaman grafiği	32
Şekil 4.2 Trapez deneylerinin taşkın hidrografları.....	33
Şekil 4.3 Trapez deneyleri (a) S1, (b) S2, (c) S3, (d) S4, (e) S5, (f) S7, (g) S10 ve (h) S11 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafikleri	33
Şekil 4.4 Trapez deneyler için maksimum debi - hacim - hidrograf gruplandırması	35
Şekil 4.5 Üçgen deneylerine ait göl hacmi - zaman grafiği	36
Şekil 4.6 Üçgen deneylerinin taşkın hidrografları	36
Şekil 4.7 Üçgen deneyleri (a) S1, (b) S2, (c) S3, (d) S4, (e) S5, (f) S6, (g) S7, (h) S10 ve (i) S11 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafikleri.....	37
Şekil 4.8 Üçgen deneyler için maksimum debi - hacim - hidrograf gruplandırılması	39
Şekil 4.9 Ani yıkılma deneylerine ait göl hacmi - zaman grafiği	40

Şekil 4.10 Ani yıkılma deneylerinin taşkın hidrografları.....	40
Şekil 4.11 Ani yıkılma deneyleri (a) S1, (b) S2, (c) S3, (d) S4, (e) S5, (f) S6, (g) S7, (h) S10 ve (i) S11 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafikleri.....	41
Şekil 4.12 Ani yıkılma deneyleri için maksimum debi - hacim - hidrograf gruplandırması.....	43
Şekil 4.13 Yıkılma deneylerine ait göl hacmi - zaman grafiği	44
Şekil 4.14 Yıkılma deneylerinin taşkın hidrografları.....	44
Şekil 4.15 Aynı su seviyesine sahip trapez, üçgen ve ani yıkılma senaryolarında seviye ölçerlere ait (a) S1, (b) S2, (c) S3, (d) S4, (e) S5, (f) S6, (g) S7, (h) S10 ve (i) S11	45
Şekil 4.16 (a) (b) (c) (d) Trapez, üçgen ve ani yıkılma senaryolarında ölçülen hız – zaman grafikleri.....	47
Şekil 4.17 1. saniyedeki kamera kayıtları (a) trapez, (b) üçgen ve (c) ani yıkılma....	48
Şekil 4.18 2. saniyedeki kamera kayıtları (a) trapez, (b) üçgen ve (c) ani yıkılma....	49
Şekil 4.19 4. saniyedeki kamera kayıtları (a) trapez, (b) üçgen ve (c) ani yıkılma....	50
Şekil 4.20 6. saniyedeki kamera kayıtları (a) trapez, (b) üçgen ve (c) ani yıkılma....	50
Şekil 4.21 12. saniyedeki kamera kayıtları (a) trapez, (b) üçgen yıkılma ve (c) ani yıkılma.....	51
Şekil 4.22 (a) 0. s, (b) 2. s, (c) 4. s, (d) 6. s, (e) 8. s ve (f) 10. s baraj gölündeki su derinlikleri	52
Şekil 5.1 Birleştirilmiş İZSU ve DSİ haritaları.....	58
Şekil 5.2 Model yapımında kullanılan kesitlerin harita üzerinde görünüşü.....	59
Şekil 5.3 Mansap bölgesinin .stl formatına çevrilmesinden sonra oluşan görünüm..	60
Şekil 5.4 Autocad Civil 3D programında çizilen evler	60
Şekil 5.5 Baraj gölünün üç boyutlu görüntüsü.....	61
Şekil 5.6 Flow 3D uygulamasının başlatılması.....	62
Şekil 5.7 “General” menüsü.....	63
Şekil 5.8 “Physics” sekmesi altındaki menüler.....	64
Şekil 5.9 Yerçekimi ivmesinin tanımladığı menü.....	65
Şekil 5.10 Türbülans modelinin seçildiği menü.....	66
Şekil 5.11 "Mesh and Geometry" sekmesi.....	67
Şekil 5.12 "Output" sekmesi	68

Şekil 5.13 "Numerics" ekranındaki seçenekler	69
Şekil 5.14 Simülasyonun başlatılması	70
Şekil 5.15 "Display" menüsündeki seçenekler.....	71
Şekil 5.16 "Display" menüsünde birimlerin belirlenmesi.....	72
Şekil 5.17 "Analyze" ekranı	73
Şekil 6.1 Simülasyonlarda tanıtılmış mansap bölgesi (Trapez gedik)	74
Şekil 6.2 Pürüzlülük değerlerinin verildiği alt bölgeler (Trapez gedik)	75
Şekil 6.3 Trapez gedik deneyleri farklı pürüzlülük (a) S2, (b) S3, (c) S4 ve (d) S6 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafikleri.....	76
Şekil 6.4 Hem ev hem zemin pürüzlülüğü tanımlanmış mansap bölgesi (Trapez gedik)	77
Şekil 6.5 Trapez gedik deneyleri zemin pürüzlülüğü ve evler tanıtılmış mansaptaki (a) S2, (b) S3, (c) S4, (d) S5 ve (e) S6 seviye ölçerlere ait derinlik - zaman grafikleri	77
Şekil 6.6 Göl topoğrafyası ve mansap kısımları ile birlikte kapak mekanizması eklenmiş trapez çözüm ekranı	79
Şekil 6.7 Trapez gedik deneyleri göl topoğrafyası tanıtılmış (a) S2, (b) S3, (c) S4, (d) S5, (e) S6 ve (f) S10 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafiği.....	80
Şekil 6.8 (a) Tabandan 1 cm, (b) 2 cm ve (c) 3 cm yukarıda noktasal hız - zaman grafiği (Trapez gedik).....	82
Şekil 6.9 Simülasyonlarda tanıtılmış mansap bölgesi (Üçgen gedik).....	83
Şekil 6.10 Pürüzlülük değerlerinin verildiği alt bölgeler (Üçgen gedik)	83
Şekil 6.11 Üçgen gedik deneyleri farklı pürüzlülük (a) S2, (b) S3, (c) S5 ve (d) S6 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafikleri.....	84
Şekil 6.12 Hem ev hem zemin pürüzlülüğü tanımlanmış mansap bölgesi (Üçgen gedik)	85
Şekil 6.13 Üçgen gedik deneyleri zemin pürüzlülüğü ve evler tanıtılmış mansaptaki (a) S2, (b) S3, (c) S5 ve (d) S6 seviye ölçerlere ait derinlik - zaman grafikleri	85
Şekil 6.14 Göl topoğrafyası ve mansap kısımları ile birlikte kapak mekanizması eklenmiş üçgen çözüm ekranı.....	87

Şekil 6.15 Üçgen gedik deneyleri göl topoğrafyası tanıtılmış (a) S2, (b) S3, (c) S5 ve (d) S6 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafikleri.....	87
Şekil 6.16 Tabandan (a) 1 cm, (b) 2 cm ve (c) 3 cm yukarıda derinlikte noktasal hız - zaman grafikleri (Üçgen gedik).....	89
Şekil 6.17 Simulasyonlarda tanıtılmış mansap bölgesi (Ani yıkılma).....	90
Şekil 6.18 Pürüzlülük değerlerinin verildiği alt bölgeler (Ani yıkılma).....	90
Şekil 6.19 Ani yıkılma deneyleri farklı pürüzlülük (a) S2, (b) S3, (c) S4, (d) S5, (e) S6, (f) S10 ve (g) S11 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafikleri.....	91
Şekil 6.20 Hem ev hem zemin pürüzlülüğü tanımlanmış mansap bölgesi (Ani yıkılma)	92
Şekil 6.21 Ani yıkılma deneyleri zemin pürüzlülüğü ve evler tanıtılmış mansaptaki (a) S2, (b) S3, (c) S4, (d) S5, (e) S6, (f) S10 ve (g) S11 seviye ölçerlere ait derinlik - zaman grafikleri	93
Şekil 6.22 Göl topoğrafyası ve mansap kısımları ile birlikte kapak mekanizması eklenmiş ani yıkılma çözüm ekranı	94
Şekil 6.23 Ani yıkılma deneyleri göl topoğrafyası tanıtılmış (a) S2, (b) S3, (c) S4, (d) S5, (e) S6, (f) S7, (g) S10 ve (h) S11 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafikleri	95
Şekil 6.24 Tabandan (a) 1 cm, (b) 2 cm ve (c) 3 cm yukarıda noktasal hız zaman-grafigi (Ani yıkılma).....	97
Şekil 6.25 RNG türbülans modeli için hesaplanan maksimum su derinlikleri	101
Şekil 6.26 LES türbülans modeli için hesaplanan maksimum su derinlikleri	101
Şekil 6.27 (k-ε) türbülans modeli için hesaplanan maksimum su derinlikleri	102

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1 Ürkmez Barajı ve modelinin geometrik özellikleri	15
Tablo 3.2 Trapez – üçgen gedik ve ani yıkılma seviye hacim değerleri.....	26
Tablo 3.3 Seviye ölçerlerin konumları.....	30
Tablo 3.4 Hız ölçerlerin konumları.....	30
Tablo 4.1 Trapez gedik deneylerinde maksimum baraj gölü hacim ve hidrograf pik debi değerleri	35
Tablo 4.2 Üçgen gedik deneylerinde maksimum baraj gölü hacim ve hidrograf pik debi değerleri.....	39
Tablo 4.3 Ani yıkılma deneylerinde maksimum baraj gölü hacim ve hidrograf pik debi değerleri	43
Tablo 4.4 Seviye ölçerler bazında senaryoların karşılaştırılması.....	46
Tablo 4.5 Taşkın dalgalarının farklı senaryolarda karayolu ve denize ulaşım süreleri	52
Tablo 6.1 Alt bölgelerin pürüzlülük değerleri	75
Tablo 6.2 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Farklı pürüzlülük – trapez gedik).....	76
Tablo 6.3 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Pürüzlülük ve evler birlikte – trapez gedik)	78
Tablo 6.4 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Göl topoğrafyası ve evler birlikte – trapez gedik).....	81
Tablo 6.5 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Farklı pürüzlülük – üçgen gedik).....	84
Tablo 6.6 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Farklı pürüzlülük ve evler birlikte – üçgen gedik).....	86
Tablo 6.7 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Göl topoğrafyası ve evler birlikte – üçgen gedik).....	88
Tablo 6.8 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Farklı pürüzlülük – ani yıkılma).....	92

Tablo 6.9 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Farklı pürüzlülük ve evler birlikte – ani yıkılma).....	94
Tablo 6.10 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Göl topoğrafyası ve evler birlikte – ani yıkılma).....	96
Tablo 6.11 Trapez gedik için farklı türbülans model sonuçlarının karşılaştırılması..	98
Tablo 6.12 Üçgen gedik için farklı türbülans model sonuçlarının karşılaştırılması ..	99
Tablo 6.13 Ani yıkılma için farklı türbülans model sonuçlarının karşılaştırılması ...	99
Tablo 6.14 1, 2 ve 3 senaryolarından elde edilen nümerik ve deneysel ulaşma süreleri (RNG modeli).....	102
Tablo 6.15 1, 2 ve 3 senaryolarından elde edilen nümerik ve deneysel ulaşma süreleri (LES modeli).....	103
Tablo 6.16 1, 2 ve 3 senaryolarından elde edilen nümerik ve deneysel ulaşma süreleri (k-ε modeli).....	104

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Barajların önemli işlevleri arasında enerji üretimi, sulama, taşkın önleme, rekreasyon, balıkçılık ve bunun gibi birçokları sayılabilir. Ancak barajların yıkılması sonucu büyük felaketler de meydana gelir. Can ve mal kaybının yanı sıra, doğrudan ve dolaylı olarak ülke ekonomisini olumsuz etkileyen neticeler doğar. Bu nedenlerle meydana gelen taşkın dalgasının gerçeğe yakın incelenmesi ve önemli barajların yıkılma ihtimalleri göz önüne alınarak, muhtemel taşkın haritalarının çıkartılması, bu çalışmanın önemini bir kez daha vurgulamaktadır.

Bugüne kadar deneysel çalışmaların büyük bir bölümü dikdörtgen bir kanalda kapağın kaldırılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Fiziksel model inşa ederek yapılmış bazı deneysel çalışmalar olmuş ise de bunların sayısı çok değildir. Bu tez çalışmasında belirli bir bölgede mevcut olan baraj haznesi, baraj gövdesi ve mansap bölgesini içeren çarpıtılmış bir fiziksel modelin tasarımı ve denenerek bulguların değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bu tez kapsamında, baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgasının mansap bölgesinde üç boyutlu yayılımının fiziksel ve nümerik modellerinin geliştirilerek deneysel bulguların sayısal sonuçlarla karşılaştırılması amaçlanmıştır. Fiziki model, küçük ölçekte ve çarpıtılmış olarak, İzmir ili sınırlarında bulunan Ürkmez Barajının hazne ve mansap kısımları göz önüne alınarak tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Trapez gedik ve üçgen gedik oluşarak kısmen yıkılma senaryolarına ilave olarak kapağın devrilmesiyle oluşturulan ani yıkılma senaryosu da araştırılmıştır. Baraj yıkılması sonucunda mansap bölgesinde yayılan taşkın dalgası ile ilgili su derinliği ve yerel hızlar ölçülmüş, taşkın dalgasının yayılması kaydedilmiştir. Flow 3D yazılımı kullanılarak üç boyutlu temel denklemler sayısal olarak çözülmüş ve elde edilen sonuçlar deneysel bulgular ile karşılaştırılarak amaca ulaşılması hedeflenmiştir.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Tez çalışmasının amacı ve içeriğine birinci bölümde değinilmiştir.

İkinci bölümde; yıkılmış olan bazı barajlar hakkında bilgi verilmiştir. Deneysel ve nümerik olarak konuyla ilgili yapılmış olan çalışmalar aktarılmıştır.

Üçüncü bölümde; fiziksel modelin tasarımı ve inşa safhaları anlatılmaktadır. Ayrıca, kullanılan ölçüm cihazları ve ölçüm yöntemleri sunulmaktadır.

Dördüncü bölümde deneysel bulgular verilmektedir

Beşinci bölümde; nümerik çözümlerde kullanılan Flow 3D programının tanıtımına yer verilmiştir. Modelde kullanılan denklemler ve yapılan yaklaşımlara ilave olarak kullanılan parametreler, başlangıç ve sınır şartları anlatılmaktadır.

Altıncı bölümde sayısal sonuçlar deneysel bulgular ile karşılaştırılmakta ve yorumlanmaktadır.

Yedinci bölüm sonuç ve önerileri içermektedir.

BÖLÜM İKİ

GEÇMİŞTE OLUŞAN ÖNEMLİ BARAJ YIKILMALARI VE KONUyla İLGİLİ MEVCUT ÇALIŞMALAR

2.1 Geçmişteki Önemli Baraj Yıkılmaları

Barajların temel yıkılma nedenlerini birkaç maddede toplamak mümkündür:

1. Dolu savak yetersizliği,
2. Yapısal hatalar (temel problemleri)
3. Şev kaymaları,
4. Heyelanlar,
5. Sızma ve borulanma,
6. Suyun baraj gövdesi üstünden aşması,
7. Deprem.

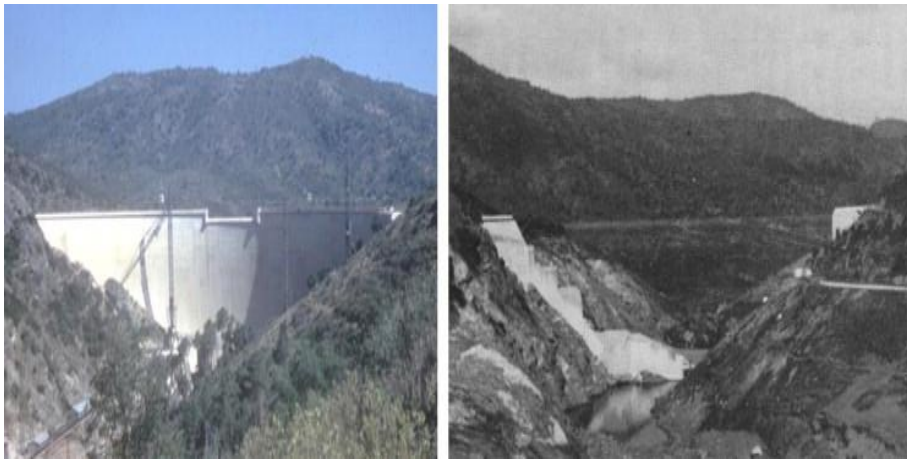
Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (International Commission on Large Dams, ICOLD) 1973 yılında bir rapor sunmuştur. Buna göre, baraj yıkılmalarının %38'ini dolu savak kapasitesinin yetersizliği, %33'nü sızma ve borulanma (genelde toprak ve kaya dolgu barajlarda meydana gelir) ve %23 nü yukarıda bahsedilen diğer sebepler oluşturmaktadır. (Bozkuş, 2004). Bazı gerçek baraj yıkılmalarına ait örnekler kısaca şöyle özetlenebilir (Molu, 1995):

Amerika Birleşik Devletleri'nin Los Angeles şehrinin 72 km kuzeyindeki St. Francis Barajı beton ağırlık kemer barajıdır (Şekil 2.1). 62,5 m yüksekliğinde, 213 m kret uzunluğundadır. 46,9 milyon m³ su ile maksimuma yakın göl hacmiyle 12 Mart 1928'de yıkılmıştır. Barajın sağ ve sol sahil jeolojik yapısının farklılığından dolayı sağ sahilden ve barajın altından sızma nedeniyle yıkım gerçekleşmiştir.



Şekil 2.1 St. Francis Barajı (Tübitak 110M240, 2013)

Malpasset Barajı Fransa kıyısında Frejus'un 12 km yukarısındaki Reyran Nehri üzerindedir. Sulama, kullanma ve içme suyu temini için yapılmıştır. 66,5 m yüksekliğinde, 222 m kret uzunluğundaki kemer barajın dolusavağı kapaksız 29 m uzunluğundadır (Şekil 2.2). Maksimum göl hacmi 50,9 milyon m³ olan baraj, 2 Aralık 1959'da doldurma veya kötü ölçme (su seviyelerine değişikliklerin neden olduğu jeolojik instabilite) nedeniyle aniden yıkıldı. Malpasset Barajı o zamana kadar yıkılan en yüksek baraj ve ilk kemer barajıdır. 423 kişi taşkın sonucunda hayatını kaybetmiştir. Taşkın dalgasının yüksekliği 40 m ve hızı 70 km/saat olarak kaydedilmiştir. İki köyde ve Malpasset ve Bozon yol inşaatlarında tahribe yol açmıştır. Göçmeden 20 dakika sonra taşkın dalgasının yüksekliği 3 m olarak Fréjus kentine ulaşmıştır.



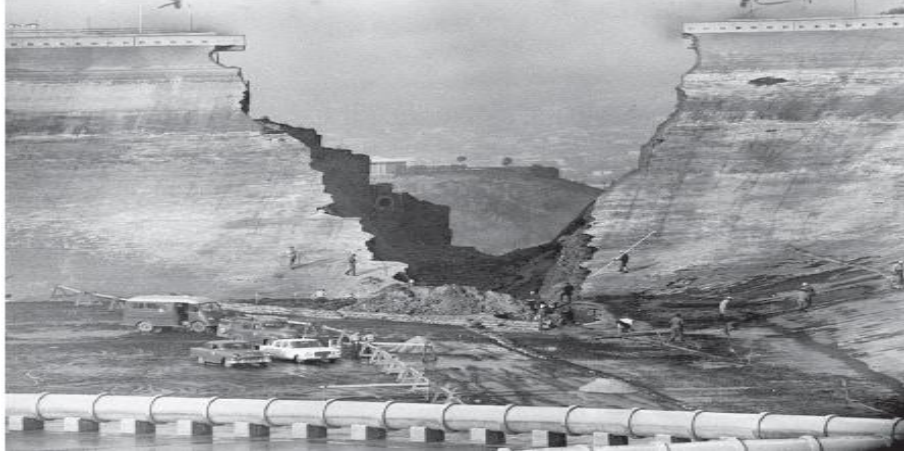
Şekil 2.2 Malpasset Barajı (Tübitak 110M240, 2013)

Vaiont Barajı İtalyan'ın Venedik şehrinin 90 km kuzeyindeki Piave Nehri üzerindedir. 267 m yüksekliğinde, kret uzunluğu 160 m olan beton kemer baraj 1957 yılında inşaatına başlanıp 1959 yılında tamamlanmıştır (Şekil 2.3). Monte Toc bölgesinde çatlak ve hareketliliğe dair birkaç işaret gözlemlenmiştir. İlk dolgusu 1960 yılında yapılmıştır. Mart ayında haznede ilk kaya yuvarlanması görülmüştür. Kasım ayında da ikinci yuvarlanma meydana gelmiştir Tarihin en büyük felaketlerinden biri olarak 2000'den fazla insanın ölümüne yol açarak 45 saniye süren yer sarsıntısı $260 \times 10^6 \text{ m}^3$ haznede 9 Ekim 1963'te yıkıma neden olmuştur. Jeolojik araştırmanın yetersizliğinden ve bölgenin jeolojik özelliklerinin yanlış yorumlaması sonucu oluşturulan planlama, dizayn ve uygulamanın yanlışlığı sonucu olarak barajın yıkıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 2.3 Vaiont Barajı (Tübitak 110M240, 2013)

Baldwin Hills Baraj yıkılması 14 Aralık 1963'te meydana gelmiştir. Toprak dolgu baraj olup 3 m kalınlığında geçirimsiz kil tabakası vardır (Şekil 2.4). Amerika'nın Los Angeles eyaletinde yer alan baraj 71 m yüksekliğinde ve kapasitesi $0,96 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak 1947 ve 1951 yılları arasında aktif fay üzerine inşa edilmişti. Borulanmaya bağlı erozyon nedeniyle baraj gövdesinde sızma meydana gelmiştir. 4,5 saat içinde baraj tamamen yıkılmıştır.



Şekil 2.4 Baldwin Hills Barajı (Tübitak 110M240, 2013)

Lower San Fernando Barajı, Amerika’da San Fernando Vadisi’nde yer almaktadır. Toprak dolgu baraj 43 m yüksekliğindedir ve rezervuar kapasitesi $25 \times 10^6 \text{ m}^3$ ’tür. Yapım aşaması birkaç bölümden oluşmaktadır. 1912-1925 yılları arasında hidrolik dolgusu yapılmıştır. 1920 ve 1930 yılları arasında yükselmeye başlayan barajda çakıl içeren killi zeminin sıkıştırılması yapılmıştır. Membada 1:2,5, mansapta 1:4,5 eğim olacak şekilde betonlanmıştır. 9 Şubat 1971’de Kaliforniya’daki depreme bağlı olarak baraj göçmüştür (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Lower San Fernando Barajı (Tübitak 110M240, 2013)

Teton barajı Amerika Birleşik Devletleri’nin Idaho eyaletinin Rexburg şehrinde Teton nehri üzerindedir (Şekil 2.6). Dar vadide ve sismik bir bölgede yer almaktadır. Temeli bazalt ve riylittir. Rezervuar hacmi $355 \times 10^6 \text{ m}^3$ olan 94 m yüksekliğinde, 950 m kret uzunluklu, 7,65 milyon m^3 gövde hacmindeki toprak dolgu baraj 5 Haziran 1976’da yıkılmıştır. Yıkılmanın temel nedeni jeoloji faktörlerin birleşmesi ve tasarım

hatalarıdır. Geçirimsiz malzeme iç erozyondan yeteri kadar korunamadığından baraj yıkılmıştır.



Şekil 2.6 Teton Barajı (Slyvester, 2016)

Tous Barajı kaya dolgu barajıdır ve İspanya’da bulunmaktadır (Şekil 2.7). Söz konusu baraj 1982 yılında aşırı yağışlar sonucunda düşük kaliteli malzeme ve kalifiye personel eksikliği nedeniyle suyun üstten aşmasıyla yıkılmıştır ve 300 km² alanı sular altında bırakmıştır.



Şekil 2.7 Tous Barajı (Tübitak 110M240, 2013)

Algodões Barajı Brezilya’nın Piaui Eyaletinde yer almaktadır 40 m yüksekliğinde ve rezervuar kapasitesi $52 \times 10^6 \text{ m}^3$ ’tür (Şekil 2.8). Taşkın koruma, içme suyu ve sulama amaçlı 2001 yılında tamamlanmıştır. Tamamlandıktan sonra bazı çatlak ve sızmadan dolayı iyileştirme işleri yapılmıştır. 2009 yılında gerçekleşen yoğun yağışlardan sonra barajın yıkılmayacağı öngörülmüştür ancak 20 gün içinde

çökmüştür. Yağışlar sonucu oluşan gedik dolgu ile dolusavak arasında erozyona sebep olmuştur. Göçme sonrasında 10 m yükseklik ve yaklaşık 80 km/saat hız dalgaları meydana gelmiştir.



Şekil 2.8 Algodoes Barajı (Tübitak 110M240, 2013)

Big Bay Barajı toprak dolgu barajıdır ve Mississippi’de bulunmaktadır. 576 m uzunluğu ve 15,6 m yüksekliğindeki baraj gövdesi (Şekil 2.9) bulunmaktadır. 2004 yılında hizmete girişinin 12. yılında ana dolusavak civarından yıkılmıştır. Kullanılan kötü malzemeye bağlı bir oyuk meydana gelmiştir, bu oyuk büyüyerek yıkıma neden olmuştur. 17,5 milyon m³ su 23 km boyundaki vadide 10 m yüksekliğinde derinlik oluşturmuştur (Yochum vd. 2008).



Şekil 2.9 Big Bay Barajı (Tübitak 110M240, 2013)

Araştırmalara göre, tasarım ve yapımdaki basit iyileştirmelerin etkisiyle son yüzyılda baraj yıkılma yüzdelerinde bir azalma görülmüştür. Ancak mansaptaki nüfus yoğunluğundaki artışlarla baraj yıkılmaları daha tehlikeli olmuştur. Örneğin, Mart 26,

2009 da Endonezya’da, yerleşim yerine yakın bir mevkide bulunan ve 20 milyon m³ hazne hacmine sahip, 10 m yüksekliğindeki toprak dolgu bir baraj yoğun yağış sebebiyle yıkıldı. Su basıncının çok yüksek olması ve baraj bakımının tam yapılmaması yıkılmaya neden olmuştur. Bu yıkım sonucu 100’den fazla kişi hayatını kaybetti ve yüzlerce ev sular altında kaldı. Bu son örnek te gösteriyor ki nadir de olsa bazı barajların yıkılma tehlikeleri hala mevcuttur. Diğer yandan, Wikipedia’daki bilgilere göre; 1900-1970 arası 18, 1970-2000 arası 17 ve 2000’den sonra 39 baraj yıkılmıştır (http://en.wikipedia.org/wiki/Dam_failure).

2.2 Konu ile İlgili Mevcut Çalışmalar

Leal ve diğer. (2002)’de dikdörtgen kesitli kanalda çalışmışlardır. 19,2 m uzunluğunda, 0,50 m genişliğinde ve 0,70 m yüksekliğinde hareketli tabana sahip kanalda deneyler yapmışlardır. Haznenin mansap kısmındaki kanalda yıkılmadan önce belli bir derinlikte su ile çalışmışlardır. Yıkılmayı hareketli kapak ile sağlamışlardır.

Kocaman (2002) baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgalarının ötelenmesinde kullanılacak çözüm tekniklerini tezinde işlemiştir. NWS FLDWAV adlı bilgisayar modeli ile Kozan Barajı üzerinde uygulama gerçekleştirmiştir.

Bellos (2004) çalışmasında iki boyutlu dalga yayılmasını ıslak ve kuru yatak koşullarında ani baraj yıkılmasını deneysel olarak araştırmıştır. Derinlik değişimlerini ve dalga yayılma davranışını analiz etmek için basınç algılayıcıları kullanmıştır. Deneysel bulgular önceden geliştirilmiş kararsız iki boyutlu akım programı ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Vasquez ve Leal (2006) baraj yıkılma deneylerini laboratuvarında açık kanalda gerçekleştirmişlerdir. Alüvyonlu kum taban üzerinde deneysel çalışmışlardır. Kullandıkları sistem 2,40x2,40 m bir hazne ve ortasından 90° köşesi olan 8 m uzunluğunda ve 0,50 m genişliğinde dikdörtgen kanaldan oluşmaktadır. Hazne çıkışındaki kapak kaldırılarak baraj yıkılmasını yansıtmaya çalışmışlar ve akımın açık kanaldaki ilerlemesini gözlemişlerdir.

Soares-Fraza (2007) 5,6 m uzunluklu ve 0,5 m genişlikli dikdörtgen bir kanala yerleştirilmiş üçgen şeklindeki taban eşiği üzerinde taşkın dalgasının yayılmasıyla ilgili deneyler gerçekleştirmiştir.

Testa ve diğer. (2007) Toce River vadisinin kentsel bölümüne karşılık gelen 50 m uzunluklu ve 1:100 ölçekli modeli üzerinde taşkın dalgasının yayılmasını incelemişlerdir. Binalar 15 cm kenar uzunluklu küp şeklindeki beton bloklarla temsil edilmişlerdir.

Alcrudo ve Mulet (2007) 20 Ekim 1982’de Tous Barajı’nın mansabında 5 km mesafede yer alan kasabanın taşkın dalgalarından etkilenmesini matematiksel olarak modellemişlerdir. Böylece, Tous Barajı’ndaki verilerden yola çıkarak elde ettikleri matematiksel modelleri gerçekteki diğer değerler ile karşılaştırmayı hedeflemişlerdir.

Kocaman (2007) doktora tezinde baraj yıkılmasını deneysel, teorik ve sayısal olarak incelemiştir. Yatay dikdörtgen bir kanalda, iki farklı durgun su seviyesini ayıran kapağı ani olarak kaldırıp baraj yıkılmasına ait taşkın dalgalarını elde etmiştir. Farklı kuyruk suyu derinliklerinde deneylerini sürmüştür. Mansap kısmında farklı geometriye sahip taban eşikleri kullanmıştır. Daralma oluşturarak akarsu yatağındaki ve enkesit genişliğindeki değişimlerin etkisinin sonucunda taşkın dalgasının yayılmasını araştırmıştır. Deney sonuçları, analitik çözüm ve sığ su denklemleri ile Reynolds Ortalamalı Navier Stokes denklemlerinin sayısal çözüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Flow 3D paket programında sayısal çözümler elde edilmiştir.

Minussi ve Maciel (2008) 19 m uzunluğunda ve 32 cm genişliğinde bir açık kanalda kapak kullanarak deneyler gerçekleştirmişlerdir.

Kocaman ve Güzel (2011) laboratuvarında hazırlanan baraj hazne modelinin ön kısmına yerleştirilmiş barajı yansıtan düşey bir kapağın ani olarak kaldırılmasıyla oluşturan baraj yıkılması taşkın dalgasının mansap doğrultusunda genişleyerek yayılmasını incelemişlerdir.

Minussi ve Maciel (2012) 1,91 m uzunluğunda, 0,32 m genişliğinde ve 0,15 m yüksekliğinde kanalda Carbopol ile deneysel çalışma gerçekleştirip CFX ile de nümerik sonuçlar elde etmişlerdir. Baraj yıkılmasının erken safhalarında sıg su denklemlerini uygulamışlardır.

Tayfur ve Güney (2013) çarpıtılmış ölçeklerde yatayda 1/30, düşeyde 1/150 inşa edilen Ürkmez Baraj modelinde topoğrafya, ev, yol ve köprünün yerleştirildiği mansap bölgesinde ani kısmi göçme sonuçlarının deneysel olarak fiziksel modelde test etmişlerdir. Seviye ölçümleri için e+WATER L aletleri deneylerde kullanılmıştır.

Tayfur ve diğer. (2013) çarpıtılmış modelde gerçekleştirilen deneylerin sonucunda Ürkmez Baraj modelinin mansap kısmında baraj yıkılması sonucunda taşkın dalgalarının gerçek hayatta 3 metreye ulaşabileceğini, yerleşim bölgelerine 4 dakikada erişeceğini ve pik debide dalga hızının 55 km/saat'i aşabileceğini bildiride sunmuşlardır.

Güney ve diğer. (2015a) çarpıtılmış modelde elde edilen deneysel sonuçlar Flow 3D programında RNG (Renormalized group) türbülans modeli ile karşılaştırılıp yorumlanmıştır. Flow 3D nümerik çözümde model, bölgelere bölünerek pürüzlülük katsayıları girilerek deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Güney ve diğer. (2015b) baraj yıkılma deneyleri üç farklı senaryo ile gerçekleştirilmiştir. Taşkın hidrografları ve mansap bölgesinde yer alan seviye ölçerler trapez, üçgen ve ani yıkılma durumları dikkate alınarak karşılaştırılmıştır.

Haltaş ve diğer. (2016) bir boyutlu hidrolik model HEC-RAS ve iki boyutlu FLO-2D hidrolik modelini kullanarak Ürkmez bölgesinde varsayımsal baraj yıkılması sonucunda oluşacak taşkın dalgasının yayılmasını araştırmışlardır. Nümerik modelde farklı azaltma faktörü değerleri girilerek ve 75 m'lik hücre boyutları kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Evlerin olduğu bölgede 3 m derinliğinde su oluşacağı, baraj yıkılmasından 40 dakika sonra Ürkmez bölgesinin tamamen taşkın altında kalacağı hesaplanmıştır.

Zhang ve diğer. (2016) iki boyutlu nümerik modelde baraj yıkılması sonucunda oluşan akışları ve sediment taşınmasını farklı yatak durumlarında incelemişlerdir.

Zhang ve diğer. (2017) “L” şeklinde bir boy kesite sahip kanalda sonlu elemanlar modelini kullanarak üç boyutlu çalışmışlardır. Deneysel bulgular ile nümerik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Baraj yıkılması ile ortaya çıkan akımların simülasyonlarında yapılar etrafındaki karmaşık yerel akımların belirlenmesinde bu modelin uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Hooshyaripor ve diğer. (2017) 30° - 90° eğimli ani yıkılma kapaklarıyla baraj yıkılması deneylerini farklı hidrograflarla gerçekleştirmişlerdir. Mansapta herhangi bir noktada pik debi ve maksimum su seviyelerinin belirlenmesinde kullanılabilen iki bağıntı sunmuşlardır.

Kamra ve diğer. (2018) baraj yıkılması akımının dik duvara doğru olduğu durumlarda 2 ve 3 boyutlu olarak deneysel ve nümerik çalışmışlardır. Nümerik çözümlerde Reynolds ortalama Navier-Stokes denklemlerini kullanmışlardır.

Liu ve diğer. (2018) basınç ve ultrasonik dalga cihazlarıyla su seviyelerini ölçüp baraj yıkılması dalgalarının evler üzerine etkisini çeşitli senaryolarla incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarda hız ve basınç değerleri de hesaplanmıştır. 40 m uzunluğunda, 3,5 m genişliğinde ve 0,40 m derinliğinde kanalda deneyler gerçekleştirmişlerdir.

Güney ve diğer. (2018) trapez, üçgen ve ani yıkılma deneylerinde derinlik ve hızları seviye ölçerler ve algılayıcılar ile ölçüp karşılaştırılmıştır.

Oğuzhan ve Aksoy (2020) Ürkmez Barajı’nın çarpıtılmış fiziksel modelinde dikdörtgen kapak ve gövde üzerinde üçgen gedik oluşması durumunda bitki örtüsünün taşkın dalgası yayılması üzerine etkisini deneysel olarak araştırmışlardır.

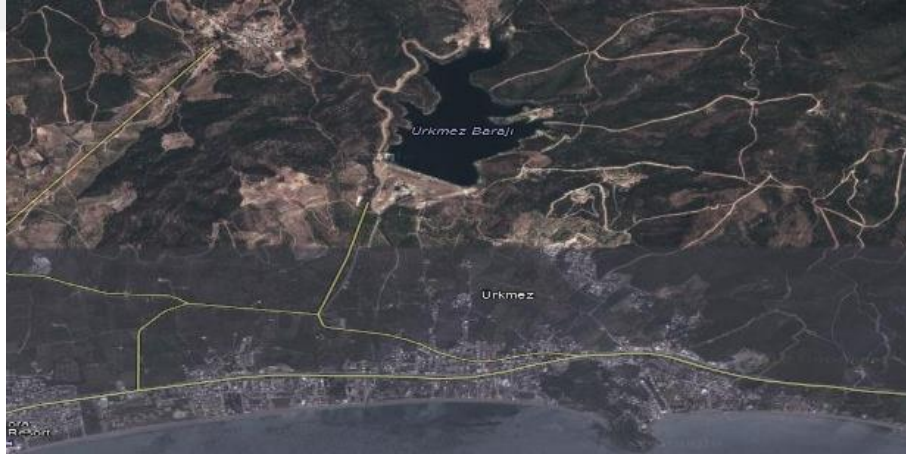
BÖLÜM ÜÇ

FİZİKSEL MODELİN TASARIM VE İNŞAATI

KULLANILAN DENEY CİHAZLARI VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

3.1 Fiziksel Modelin Tasarımı ve İnşaatı

Seferihisar ilçesi Ürkmez beldesinin 3 km kuzeyinde Ürkmez deresi üzerinde bulunan baraj sulama ve içme suyu temini amaçlıdır. Toprak dolgu olarak inşa edilmiştir. Kret kotu 48 m, gövde yüksekliği 32 m, kret genişliği 12 m ve talveg kotu (baraj yerinde dere tabanı yükseltisi) 16 metredir. Üst gövde uzunluğu 500 m ve taban gövde uzunluğu 440 metredir. Projesi ve inşaatı Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapılmıştır. Barajın inşaatı 1990 yılında tamamlanmıştır. Bu yıldan itibaren Ürkmez Ovasına sulama suyu verilmeye başlanmıştır. 2004 yılında İller Bankası tarafından yaptırılan içme suyu arıtma tesislerinin tamamlanmasından sonra da Ürkmez beldesine içme suyu vermeye başlamıştır. İçme suyu arıtma tesisi 2004 yılında İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi (İZSU) Genel Müdürlüğüne devredilmiştir. Şekil 3.1’de Ürkmez baraj gölü ve mansap bölgesine ait bir uydu fotoğrafı yer almaktadır.



Şekil 3.1 Ürkmez Barajı ve mansap bölgesi (Google, 2013)

Fiziksel model yerçekimi kuvveti daha etkin olduğundan Froude benzeşim kanununa göre tasarlanmıştır. Yatay ve düşey ölçekler modelin belirlenen alana uygun olarak inşa edilerek çalıştırılabileceği ve hızların ve derinliklerin yeterli hassasiyetle ölçülebileceği şekilde seçilmiştir. Yatay ölçeğin $\ell_{xr} : 1/150$ ve düşey ölçeğin $\ell_{zr} : 1/30$ olarak seçilmesiyle aşağıdaki ölçekler tanımlanabilmektedir:

Çarpıklık katsayısı:

$$n = \frac{\ell_{zr}}{\ell_{xr}} = 5 \quad (3.1)$$

Eğim ölçeği:

$$S_r = \ell_{zr} / \ell_{xr} = 5 \quad (3.2)$$

En kesit alanı ölçeği:

$$A_r = \ell_{xr} \ell_{zr} = 1 / 4.500 \quad (3.3)$$

Hacim ölçeği:

$$V_r = \ell_{xr}^2 \ell_{zr} = 1/675.000 \quad (3.4)$$

Hız, zaman ve debi ölçekleri için aşağıdaki ifadeler yazılabilmektedir (Yalın, 1971):

Froude hız ölçeği:

$$v_r = v_{xr} = \sqrt{\ell_{zr}} = 1 / 5,48 \quad (3.5)$$

Zaman ölçeği:

$$t_r = \frac{\ell_{xr}}{\sqrt{\ell_{zr}}} = \frac{1}{n} \sqrt{\ell_{zr}} = 1/27,4 \quad (3.6)$$

Debi ölçeği:

$$Q_r = \ell_{xr} \ell_{zr}^{3/2} = 4,057 (10^{-5}) \quad (3.7)$$

Tablo 3.1’de belirlenmiş ölçekler ile prototip ve modele ait değerler verilmektedir.

Tablo 3.1 Ürkmez Barajı ve modelinin geometrik özellikleri

Özellik	Birim	Prototip	Fiziksel Model
Kret uzunluğu	m	426	2,840
Kret genişliği	m	12	0,080
Barajın temelden yüksekliği	m	32	1,070
Baraj gölü minimum hacmi	m ³	375.000	0,556
Baraj gölü maksimum hacmi	m ³	8.625.000	12,778
Baraj gölü normal seviye hacmi	m ³	7.950.000	11,778
Baraj gölü aktif hacmi	m ³	7.575.000	11,222

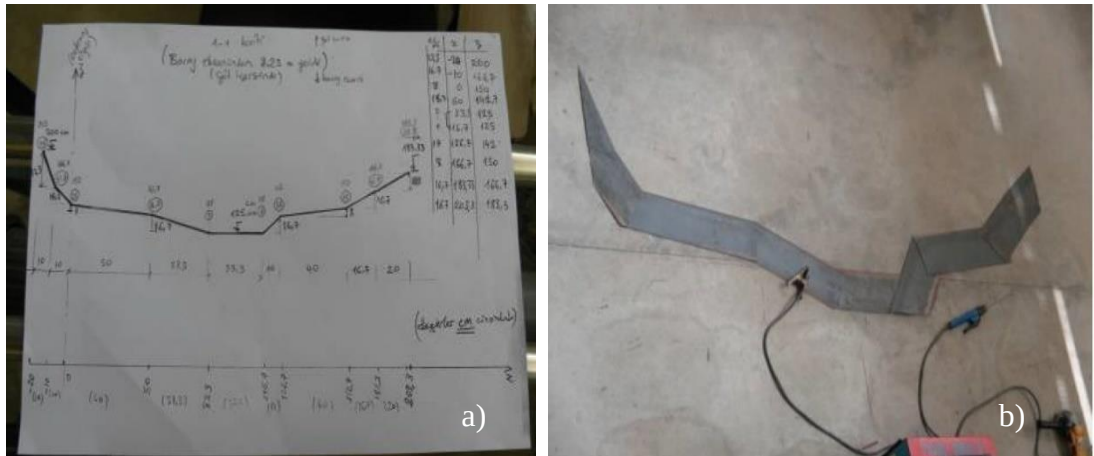
Öncelikle Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne ait Hidrolik Laboratuvarının açık alanında fiziksel modelin inşa edileceği 300 m²'lik alan belirlenmiştir (Şekil 3.2 a). Gerek yağış nedeniyle oluşacak yüzeysel suların gerekse baraj modelinin yıkılması nedeniyle akacak suların tahliyesi için 300 mm çaplı 2 adet boru uygun bir şekilde döşenmiştir, Şekil 3.2 (b)'de drenaj boruları yer almaktadır. Şekil 3.3 (a)'da modelin inşa edileceği alanda yapılan tesviye işlemleri görülmektedir. Tesviye işlemlerinden sonra mıcır dolgu malzemesi serilmiş ve sıkıştırılmıştır. İnşaat alanına platform betonu dökülmeden evvel yüzeysel suları toplayacak kanal ve drenaj borularının girişindeki rögar inşa edilmiştir. Beton dökülmeden önce betonun çatlamasını önlemek ve güçlendirmek için 8 mm çaplı hasır demirler yerleştirilmiştir. Baraj gölüyle ilgili haritalardan yararlanılarak enkesitler çıkarılmış ve çarpıtılmış fiziksel modele ait değerler belirlenmiştir. Şekil 3.4 (a)'da enkesit örneği yer almaktadır. Sac levhalardan kesme ve kaynak işlemleriyle enkesitler hazırlanmış olup hazırlanan enkesit örneği Şekil 3.4 (b)'de gösterilmektedir. İmal edilen enkesitler belirlenen konum ve kotlara uygun olarak yerleştirilmiştir, Şekil 3.5 (a)'da ilk enkesitin modele yerleştirilmesi gösterilmiştir. Baraj gövdesine yakın enkesitler sac levha yerine lama kullanılarak imal edilmiş ve baraj gövdesine kadar olan tüm enkesitler doğadaki topoğrafyayı yansıtacak şekilde haritalar yardımıyla belirlenmiş, imal edilip yerleştirilmiştir, Şekil 3.5 (b)'de baraj gölünde yer alan kesitlerin kaynak ile tutturulması görülebilmektedir.



Şekil 3.2 (a) Model inşaatının yapıldığı alan (b) Drenaj boruları (Tübitak 110M240, 2013)



Şekil 3.3 (a) Dolgu malzemesinin serilmesi (b) Lamalar arası hasırlı donatı uygulaması ve beton dökülmesi (Tübitak 110M240, 2013)



Şekil 3.4 (a) Lama hazırlanması sırasında kullanılan çarpıtılmış ölçekte hazırlanan enkesit örneği (b) Hazırlanan lamaların kaynatılma işlemi sırasında bir görünüm (Tübitak 110M240, 2013)



Şekil 3.5 (a) Enkesitlerin modelde uygulanması (b) Fiziksel modelde baraj gövdesine kadar olan kısım ile ilgili enkesitlerin yerleştirilmesi ve birbirleriyle birleştirilmesi (Tübitak 110M240, 2013)

Baraj gölü tuğla duvarlarının inşaatı yapılırken dolgu ve su basıncına karşı mukavemetini arttırmak amacıyla her üç sıra sonrasında yaklaşık 50 şer cm aralıklarla demir çubuklar yerleştirilmiştir (Şekil 3.6 a). Baraj gölünün etrafı tuğlalar ile örülüp içi dolgu malzemesi ile doldurulmuştur (Şekil 3.6 b). Dolgu malzemesinin üzeri beton ile kaplanmış (Şekil 3.7 a) ve stabilite betonundan sonra tesviye amaçlı şap tabakası imal edilmiştir (Şekil 3.7 b). Baraj gölünün, sızdırmazlık için izolasyon malzemesi ile sıvanması sonrasındaki görünümü Şekil 3.8’de verilmektedir.



Şekil 3.6 (a) Baraj gölünün tuğla ile örülen duvarları (b) Dolgu malzemesi ile doldurulması (Tübitak 110M240, 2013)



Şekil 3.7 (a) Betonlama işlemi (b) Beton üzeri şap tabakası imal edilmesi (Kişisel arşiv, 2013)



Şekil 3.8 Baraj model gölü (Kişisel arşiv, 2013)

Mansap bölgesiyle ilgili güncel durumu yansıtan haritalar ve fotoğraflar elde edildikten sonra, mansap bölgesine ait kesitlerin çizilmesi, imalatı ve akabinde yerleştirilmesi yapılmıştır. Şekil 3.9 (a)'da mansap kesitlerinin yerleştirilmesi ve baraj gövdesi yerinin tahkiki yer almaktadır. Mansap bölgesine ait kesitlerin tamamı yerleştirildikten sonra sahil şeridine karşılık gelen profil yerleştirilmiştir (Şekil 3.9 b). Mansap bölgesi için de betonlama işlemleri gerçekleştirilmiş ve daha sonra tesviye amaçlı şap tabakası imal edilmiş ve yüzeye son şekli verilmiştir. Şekil 3.10'da betonlama işlemlerine ait fotoğraflar bulunmaktadır.



Şekil 3.9 (a) Baraj gövdesi yerinin belirlenmesi (b) Mansap bölgesine ait kesitlerin tamamı ve sahil şeridinde karşılık gelen profilin yerleştirilmesi (Tübitak 110M240, 2013)



Şekil 3.10 (a) (b) (c) (d) Mansap bölgesinin betonlanması (Tübitak 110M240, 2013)

Yerleşim durumuna ait güncel durum ile ilgili haritalar İzmir İZSU Genel Müdürlüğünden elde edildikten sonra konutların imalatı ve yerleştirilmesine geçilmiştir. Bu amaçla kat yükseklikleri 3 m kabul edilerek 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40

cm ve 50 cm olan ahşap bloklar imal edilmiş ve haritaya uygun olarak yerleştirilmiştir. Modelin inşa edildiği dönemde bölgede yapılan arazi incelemesinde daha çok 1 ve 2 katlı yapıların mevcut olduğu, yazlık yerleşimin deniz kenarında, narenciye ağaçlarının ise baraj etrafında olduğu görülmüştür. Bu nedenle çok katlı binalardan oluşan yerleşim alanı daha çok deniz kenarı ile baraj gövdesinin aşağısında kalan orta yerlerde bulunmaktadır. Bu evler beton zemine monte edilmeden önce zemin matkapla bir vida genişliğinde delinmiş ve daha sonra o deliğe epoksi tatbik edilip ardından vidanın başlı olan kısmı deliğe sokulmuştur. Dışarıda kalan sivri uca ahşap bloklar vidalanarak evlerin montajı gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.11 a ve 3.11 b). Ancak, yakın delikler açma durumunda zeminde birtakım çatlaklar oluşturması ve epoksi kutusundan sadece bir başlık çıkması nedeniyle açılan kutunun hemen tüketilmesi gibi bazı olumsuz yönleri nedeniyle bu yaklaşımdan daha sonra vazgeçilmiştir.



Şekil 3.11 (a) Evlerin konumunu gösteren işaretlemeler (b) Vidaların deliklere montajı (Tübitak 110M240, 2013)

Yeni yöntemde şarjlı tornavida ile vida sivri ucundan zemine vidalanmaktadır. Vidanın dışarıda kalan başı Şekil 3.12'deki gibi kesilerek sivri kısım sağlanmış ve eğer yeri uygunsa tahta evler döndürülerek, yer uygun değil ise çekiçle üstüne vurularak vidalara tutturulmuştur. Bu yöntem hem daha sağlam bir montaj hem de daha ekonomik bir yaklaşım olmuştur.



Şekil 3.12 Ahşap blokları yerleştirme öncesinde vida başlarının kesilmesi (Kişisel arşiv, 2013)

Şekil 3.13 (a)'da ise Seferihisar-Kuşadası yolu görülmektedir. Teknik geziler esnasında yapılan tespitlere uygun olarak yol, zeminin 1,5 – 2 cm üstüne yapılmıştır. Şekil 3.13 (b)'de görülebildiği gibi birbirine çok yakın evler çok sayıda delik açıp zeminin zedelenmesini önlemek için uç kısımlarına iki delik açılarak tek blokla temsil edilmiştir.



Şekil 3.13 (a) Fiziksel modelde temsil edilen Seferihisar-Kuşadası karayolu (b) Mansaptan genel bir görünüm (Kişisel arşiv, 2013)

Fiziksel modelin tamamlanmış halinin mansaptan görünüşü Şekil 3.14'te verilmektedir.



temizlenmiş, gövde yerinden çıkarılmış ve diğer gövdeler yerine konmuştur. İlk deneyler ölçüm aleti kullanılmadan yapılmış ve gözlenen sızmaları önlemek için güçlü yalıtım malzemesiyle tekrar sıvanmıştır (Şekil 3.17 a ve Şekil 3.17 b).



Şekil 3.16 Baraj gövdesine ve mekanizmasına ait detaylar (Kişisel arşiv, 2013)



Şekil 3.17 (a) (b) Baraj gölünün yalıtımı yapıldıktan sonraki hali (Kişisel arşiv, 2013)

Diğer bir temel sorun ise baraj gövdesinin ek kısmından ve alt kısmından sızan suydur. Alt kısmına silikon çekilerek alttan sızan su engellendi. Ek kısmından sızan su ise daha farklı bir çözüm gerektirdi. Vidalama yöntemiyle birleştirilmiş sac parçalardan oluşan gövdenin içine su girdiği fark edildi. Bu aynı zamanda motorun da çalışmasını zorlaştıran bir durumdu. İçine su giren baraj gövdesi daha da ağırlaşmış olduğundan motorun ek parçayı yıkılma esnasında yukarı kaldırırken zorlandığı daha uzun sürede kaldırdığı göze çarpmaktaydı. Baraj ana gövdesine ve ek parçaya kaynak yoluyla iki boru eklenmiş ve içerideki su Şekil 3.18'deki gibi tahliye edilmiştir.



Şekil 3.18 Baraj gövdesine giren suyun tahliye edilmesi için yapılan tamirat (Kişisel arşiv, 2013)

Şekil 3.19'da ise fiziksel modelde rahat çalışılabilmesi ve deney aletlerinin güneşten zarar görmemesi için modelin üstüne yapılan çatı verilmiştir.

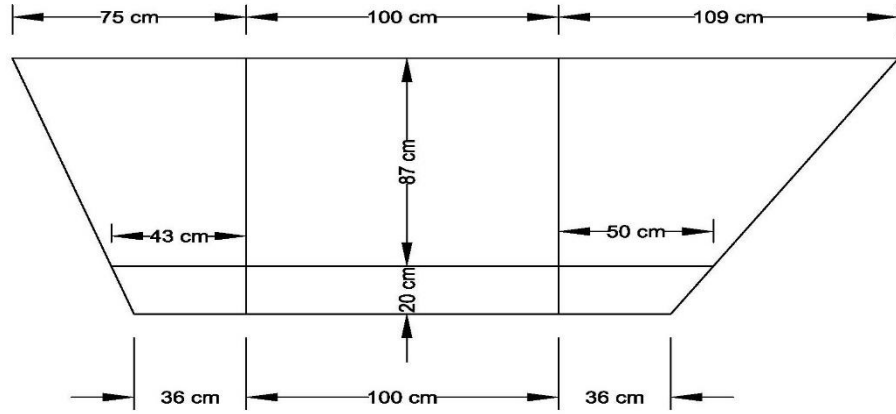


Şekil 3.19 Fiziksel modelin çatısı (Kişisel arşiv, 2013)

Şekil 3.20'de ani yıkılma deneyleri için oluşturulan baraj kapağı mekanizması yer almaktadır. Şekil 3.21'de ani yıkılma kapak ölçüleri bulunmaktadır. Kapak açılması sırasında zemine zarar vermemesi için deneylerde kapağın çarptığı yere tahta konulmuştur.



Şekil 3.20 Ani yıkılma baraj kapağı düzeneği (Kişisel arşiv, 2013)



Şekil 3.21 Ani yıkılma baraj kapağı ölçüleri

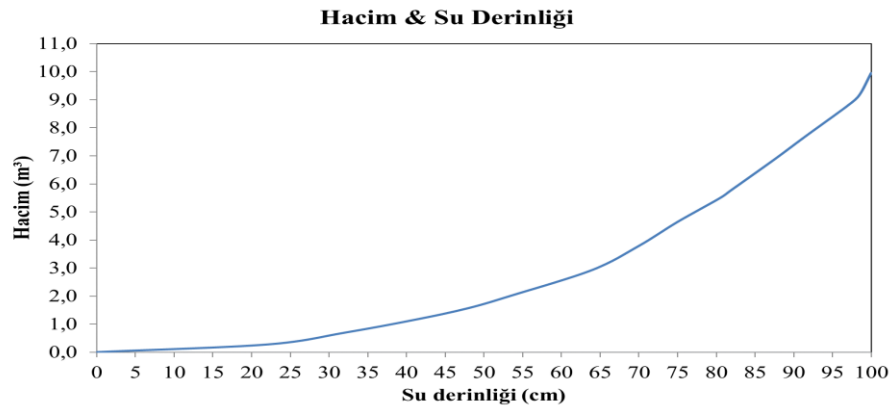
3.2 Deney Cihazları ve Ölçüm Yöntemleri

Öncelikle fiziksel modelde baraj gölünün seviye-hacim eğrisi belirlenmiştir. Bu amaçla göl sabit debi verilerek doldurulurken geçen süreler ve göldeki su derinlikleri eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Deneylerde hem baraj gövdesi kullanılarak kısmi yıkılma hem de kapak kullanılarak ani yıkılma senaryoları oluşturulduğundan farklı iki adet seviye-hacim eğrileri elde edilmiştir.

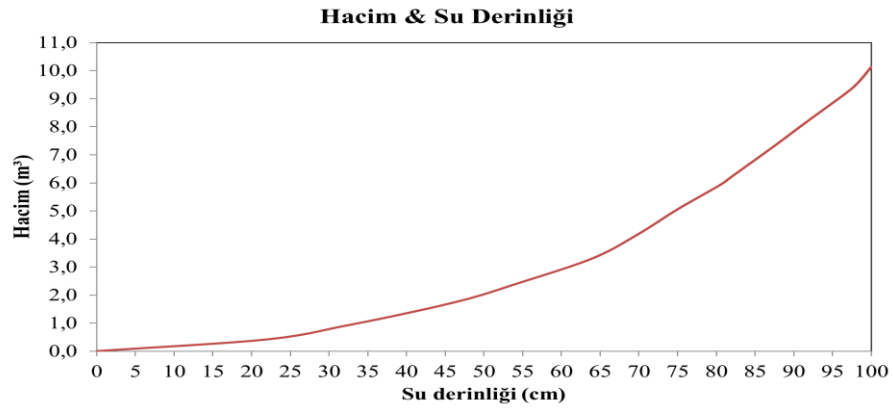
Trapez veya üçgen şeklinde gedik açılmasıyla oluşan kısmi yıkılma durumundaki hacim-su derinliği eğrisi Şekil 3.22’de, ani yıkılma durumuna karşılık gelen hacim-su derinliği eğrisi ise Şekil 3.23’te verilmektedir. Tablo 3.2’de trapez, üçgen ve ani yıkılma baraj seviye – hacim değerleri verilmektedir.

Tablo 3.2 Trapez – üçgen gedik ve ani yıkılma seviye hacim değerleri

Seviye (cm)	Trapez – Üçgen Hacim (m ³)	Ani Yıkılma Hacim (m ³)
0	0	0
22	0,273	0,418
32	0,692	0,899
41	1,150	1,410
48	1,569	1,867
54	2,054	2,382
64	2,931	3,303
70	3,786	4,181
75	4,642	5,053
80,5	5,497	5,922
82	5,789	6,219
87,5	6,870	7,311
91,5	7,691	8,137
97	8,796	9,246
98,5	9,176	9,626
100	9,954	10,125



Şekil 3.22 Trapez, üçgen gedik şeklinde kısmi yıkılma durumunda göl hacim - su derinliği eğrisi



Şekil 3.23 Ani yıkılma durumunda göl hacim - su derinliği eğrisi

3.2.1 Hız Ölçer

Hız ölçümünde kullanılan UVP DUO-MX (Met-Flow SA) cihazı Şekil 3.24'te gösterilmiştir. UVP (Ultrasonic Velocity Profiler) yüksek frekanslı ses dalgalarının su içindeki parçacıklara çarptıktan sonra yansıyarak geri dönen ses dalgalarının frekanslarındaki değişimini (Doppler prensibi) kullanarak akım hızını bulmaktadır. Bu cihaz serbest yüzeyli açık kanal veya basınçlı akım koşullarında enkesit içerisinde noktasal hızları ölçüp hız profili çıkartabilmektedir. Cihaz, kendisine bağlanan algılayıcılar (transducer) vasıtası ile 0,5 – 1 – 2 ve 4 MHz frekansları yayabilmekte, kullanıcıya ait bir bilgisayara bağlanarak değerleri bilgisayara aktarabilmektedir (Met-flow, 2002). Şekil 3.25'te bu cihaza ait algılayıcılar yer almaktadır.



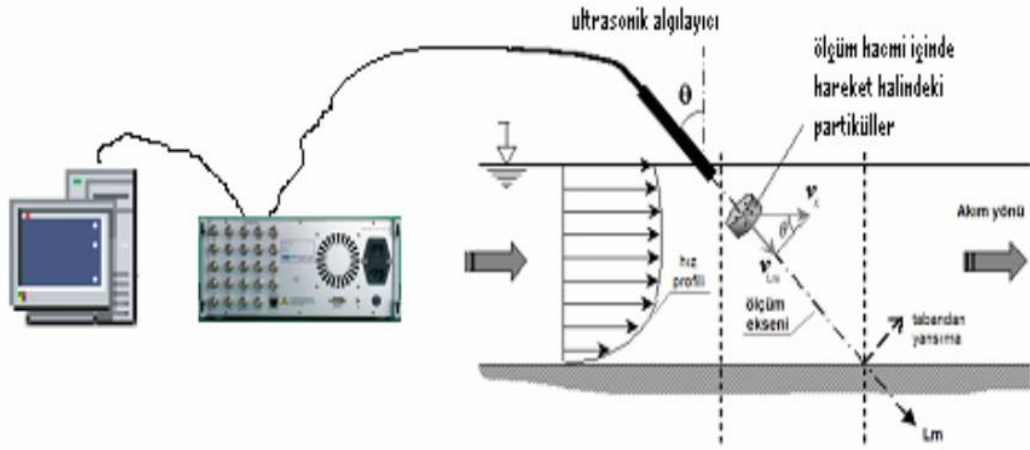
Şekil 3.24 UVP cihazı (Met-flow, 2002)



Şekil 3.25 Algılayıcı çeşitleri (Met-flow, 2002)

Farklı frekanslara sahip UVP (Ultrasonic Velocity Profiler) algılayıcıları denenerek oluşturulan taşkın dalgası durumunda en sağlıklı kayıtları veren değer araştırılmıştır.

Yapılan bir seri deney sonunda 1 MHz frekansına sahip UVP algılayıcılarının en uygun oldukları tespit edilerek bu frekansa sahip algılayıcıların ısmarlanmasına karar verilmiştir. UVP hız algılayıcılarının yerleştirileceği çukurlarda, gelen dalga'nın hızı kaydedilirken sadece buna ait sinyalleri kaydetmesi ve bu kaydı etkileyecek düzensizlikler ve hesapta olmayan çevrinti, vb. olumsuzlukların oluşmaması için en uygun çözüm araştırılmış ve pleksiglastan imal edilen kapaklarda bir yarık açılarak zemin seviyesinde yerleştirilmelerine karar verilmiştir. Cihazın amacı akustik yöntemle hız ölçümüdür. Yüksek frekanslı ses dalgaları, su içindeki parçacıklara çarpar, sonra yansyarak geri döner. Bu geri dönen ses frekanslarındaki değişimi kullanarak akım hızı saptanabilmektedir. Aynı frekansta algılayıcı kullanmak şartıyla birden fazla algılayıcı cihaza bağlanabilmektedir. Şekil 3.26'da UVP cihazının çalışma prensibi görülmektedir.



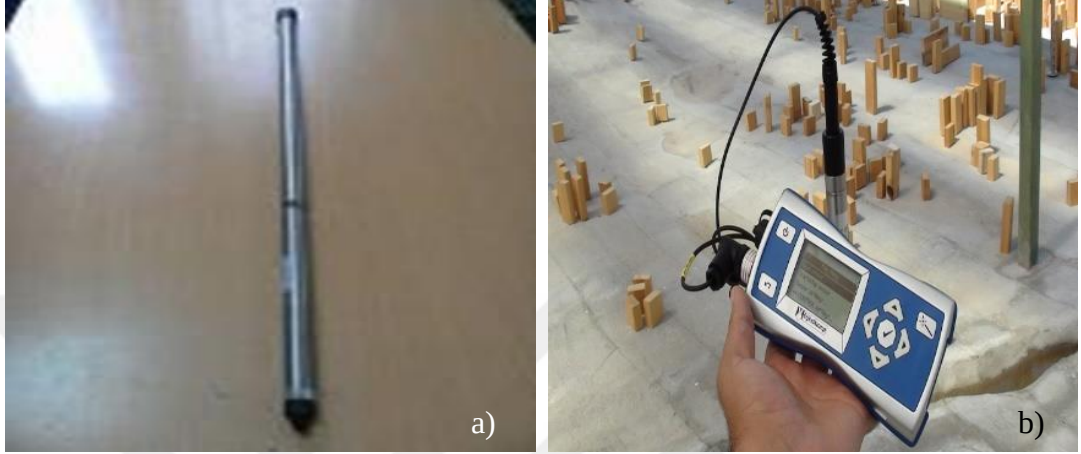
Şekil 3.26 UVP'nin çalışma prensibi (Met-flow, 2002)

UVP algılayıcılarının da laboratuvara ulaşması sonrasında başlayan kapsamlı deneyler 11 adet S1, S2, ..., S11 seviye ölçer ve 8 adet T01, T02, ..., T08 hız ölçer (UVP algılayıcıları) ile gerçekleştirilmektedir. Deneylerde hızlar yer yüzeyinden itibaren alınmıştır, kutu içindeki gömülü derinlik her deneyde not edilmiştir. Kutuların yakınına seviye ölçerler yerleştirilip sonuçlar birlikte yorumlanmıştır.

3.2.2 Derinlik Ölçer

Akım derinlikleri dijital e+WATER L seviye çubukları ile ölçülmüştür. Akım derinliği okumaları yapan basınç sensörlü seviye ölçerler (level meter) ile, 8 noktada zamana bağlı sürekli derinlik okuması yapılarak hafızaya kaydedilmiştir. Seviye

ölçerler 1 mm doğrulukla ölçüm yapabilmekte olup paslanmaz çelikten üretilmiş ve 0–150 cm aralığında okuma yapabilmektedir. Hava sıcaklığındaki değişim nedeniyle oluşabilecek atmosfer ve su basıncındaki değişimlere karşın, seviye çubukları gerekli hassasiyeti gösterebilme kabiliyetine sahiptirler. Şekil 3.27’de seviye ölçer yer almaktadır.



Şekil 3.27 e + Water L (a) seviye ölçer iveri ve (b) cihazı (Kişisel arşiv, 2013)

Tablo 3.3’te seviye ölçerlerin koordinatları yer almaktadır. Tablo 3.4’te hız ölçerlerin konumları yer almaktadır. Şekil 3.28’de UVP yuvaları, seviye ve hız ölçerler şematik olarak gösterilmiştir.

Deneylerin başında S1 çubuğu baraj gölünde baraj gövdesine çok yakın yerleştirilerek seviye hacim eğrisi elde edilmesinde kullanılmıştır. S2 çubuğu ise baraj gölünde oluşacak seviye değişimlerini görmek için yerleştirilmiştir. Daha sonra baraj gölünde bir seviye çubuğu bırakılarak S1 olarak adlandırılmıştır. 8 adet seviye çubuğu da mansap bölgesinde değişik yerlere yerleştirilerek seviye ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.29).

Daha önce hazırlanmış olan baraj gölü seviye-hacim eğrisi kullanılarak baraja yakın olan seviye ölçerinden elde edilen seviye değerleri hacim değerlerine dönüştürülmektedir. Bu şekilde belirlenen hacim-zaman eğrisi yardımıyla belirli zaman aralıklarındaki hacim değişimleri (göldeki hacim azalmaları) hesaplanarak debi değerleri belirlenebilmekte ve böylece taşkın hidrografi elde edilebilmektedir.

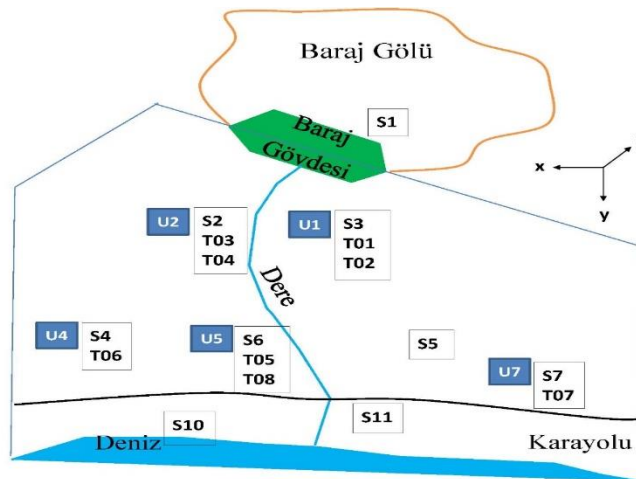
Mansap bölgesine yerleştirilen seviye ölçerler ve hızölçerler Şekil 3.30 (a) (b) (c) (d)'de gösterilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi beş adet UVP algılayıcısı belirlenen sabit yerlere konuşlandırılmış olup diğer iki tanesi de arazide hazırlanmış diğer yuvalardan istenilen birine yerleştirilmekte veya sabit yuvalara yerleştirilen UVP'ler ile birleştirilerek dik yöndeki akış hızını ölçmek amacıyla kullanılabilmektedir.

Tablo 3.3 Seviye ölçerlerin konumları

Seviye Ölçer	X (m)	Y (m)	Z (m)
S2	8,05	4,55	0,304
S3	6,71	3,56	0,373
S4	11,53	7,51	0,127
S5	5,81	9,10	0,099
S6	8,06	7,77	0,160
S7	2,89	10,04	0,070
S10	10,64	13,18	0,042
S11	6,02	11,94	0,055

Tablo 3.4 Hız ölçerlerin konumları

Kutu	Hız Ölçer	X (m)	Y (m)
U1	T01-T02	6,56	3,18
U2	T03-T04	7,71	4,38
U4	T06	11,21	7,35
U5	T05-T08	8,39	7,46
U7	T07	3,15	9,71



Şekil 3.28 UVP, seviye ve hız ölçerlerin konumunu gösteren kroki



Şekil 3.29 Baraj gölüne yerleştirilen seviye ölçer (Kişisel arşiv, 2013)



Şekil 3.30 (a) (b) (c) (d) Mansap bölgesine yerleştirilmiş olan seviye ölçerler ve UVP algılayıcıları (Kişisel arşiv, 2013)

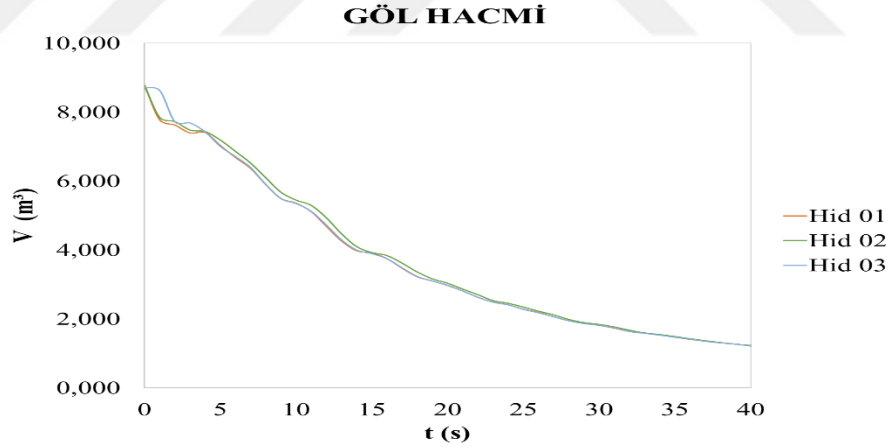
Taşkın dalgasının yayılması yüksek çözünürlüklü kamera ile deneyler sırasında kaydedilmiştir. Suyun ulaşma süreleri kontrollerinde kamera kayıtlarından faydalanılmıştır.

BÖLÜM DÖRT

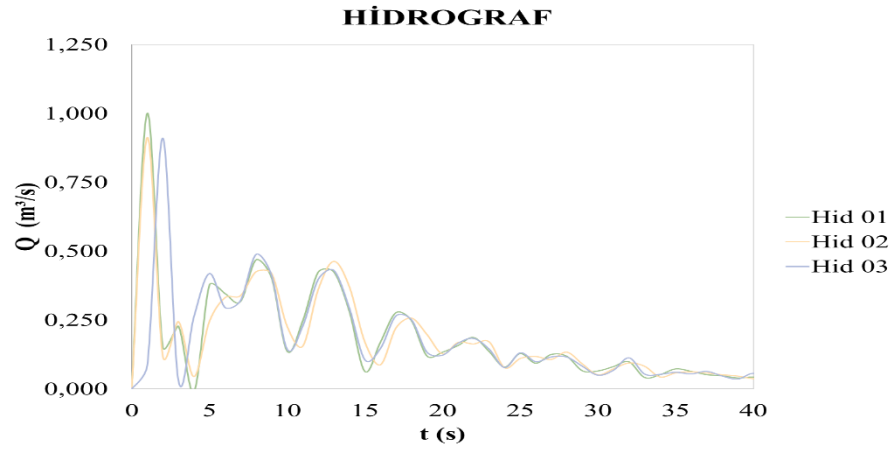
FİZİKSEL MODEL ÜZERİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Trapez Yıkılma

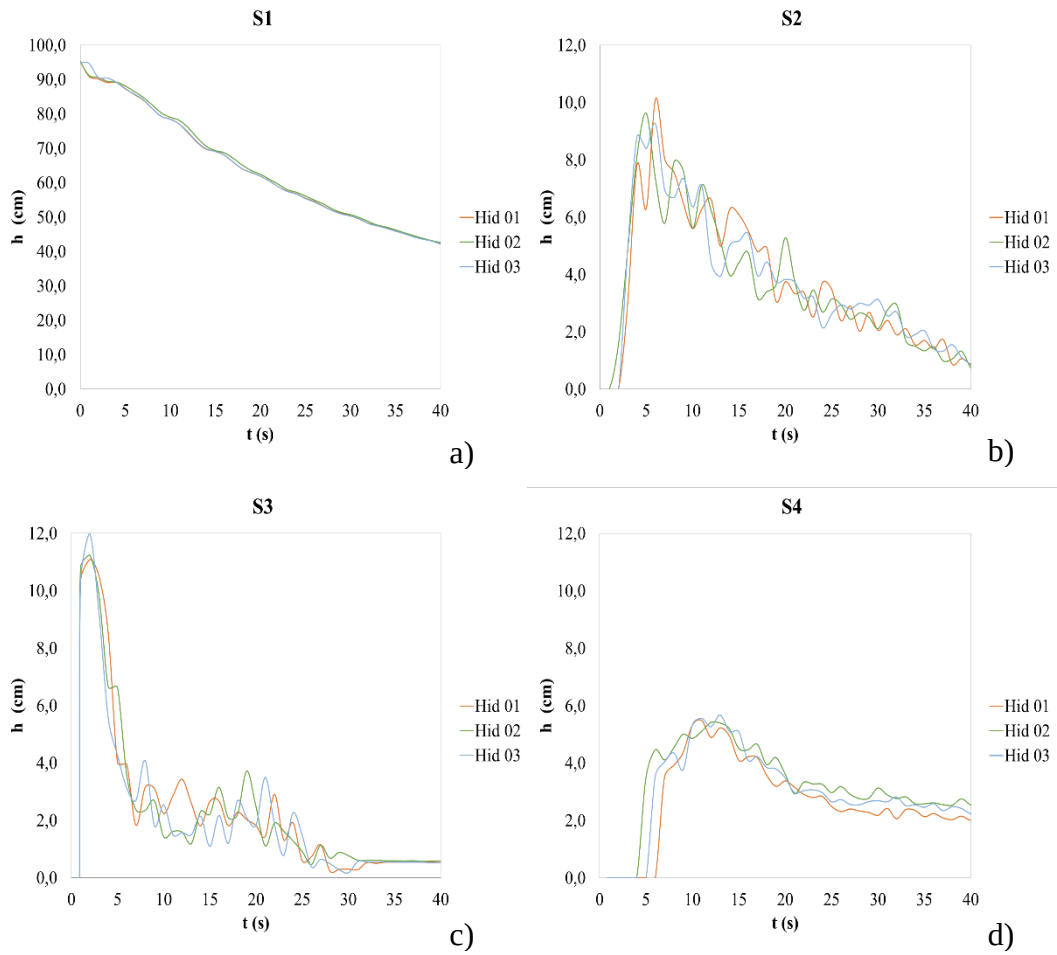
Trapez deneylerine ait göl hacmi, hidrograf ve seviye ölçerlerden ölçülen derinlik grafikleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Trapez senaryosunda kapak kısmının kaldırılmasında yaşanan sıkıntılardan dolayı başta yapılan deneyler sadece video kaydı olarak tutulmuş, kapak açılması sırasında motor gücünün iyileştirilmesi ile kaldırılan kapağın su akışını engellemesi önlenmiştir. Seviye ölçerlerden S8 ve S9’un çalışmaması ve sağlıklı ölçüm yapmaması nedeniyle sağ ve sol sahilden bir noktada derinlik değerleri alınamamıştır. Şekil 4.2’de trapez deneylerine ait hidrografların zamanla değişim grafikleri verilmiştir. Baraj golündeki seviye ölçer son trapez deneyinde mansaba taşınmıştır. Şekil 4.3 (a) (b) (c) (d) (e) (f) (g) (h)’de seviye ölçerlerden alınan su derinlik değişimleri gösterilmektedir.



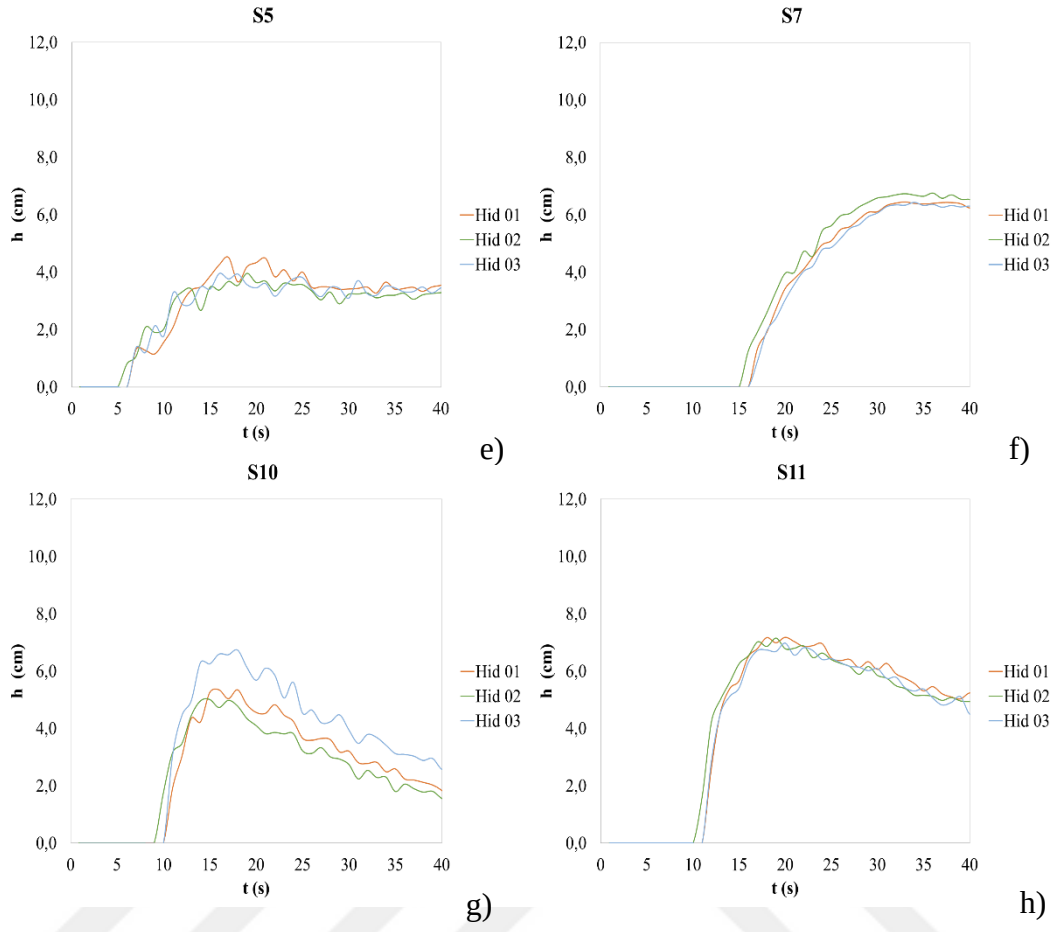
Şekil 4.1 Trapez deneylerine ait göl hacmi - zaman grafiği



Şekil 4.2 Trapez deneylerinin taşkın hidrografları



Şekil 4.3 Trapez deneyleri (a) S1, (b) S2, (c) S3, (d) S4, (e) S5, (f) S7, (g) S10 ve (h) S11 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafikleri



Şekil 4.3 devamı

S1 seviye ölçeri baraj gölünde yer almaktadır ve taşkın hidrografın elde edilmesinde kullanılmaktadır. S2 ve S3 seviye ölçerleri baraşa en yakın olan seviye ölçerlerdir ve su seviyelerinin yaklaşık 10 cm olduğu görülmüştür, prototipte 3 m'ye karşılık gelmektedir. Bu durum o bölgedeki tek katlı yapıların sular altına kalacağını göstermektedir.

S4 seviye ölçeri sağ sahilde yerleşim yerlerinin kısmen az bulunduğu bölgede yer almaktadır ve su derinliği yaklaşık 6 cm ölçülmüştür, prototip değeri 1,8 m'dir. Taşkın dalgalarının yayılma süresini kontrol etmek üzere o bölgeye yerleştirilmiştir.

S5 seviye ölçerinin konumu yerleşim bölgelerinin sıklaştığı konuma yerleştirilmiştir. 5 cm'e varan su derinlikleri deneyler sonucunda bulunmuştur,

prototip olarak 1,5 m'ye yakın bir değere karşılık gelmektedir. Mansap bölgesinin orta kısımlarını yansıtan bir bölgede ölçümler elde edilmiştir.

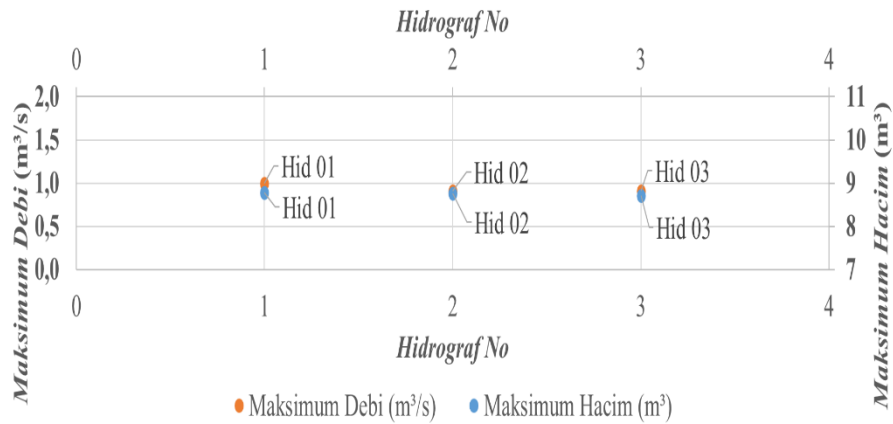
S7 seviye ölçeri sol sahilde tepenin hemen önünde bulunmaktadır. Yerleşim yerlerinin çokluğundan ve Ürkmez – Seferihisar yolunun yakınında yer almasından dolayı taşkın dalgaları bu bölgeye daha geç ulaşmaktadır.

S10 ve S11 seviye ölçerleri suyun modeli terk etmeden önce ölçüm yapılan son seviye ölçerlerdir. Yıkılma senaryolarına göre farklılık görülse de 10-12 saniyede dalgaların yayıldığı hem kamera kayıtlarından hem de seviye ölçerlerden incelenmiştir.

Trapez deneyleri kendi içinde gruplandırılmıştır. Tablo 4.1'de en yüksek baraj gölü hacmi ile taşkın hidrografları sıralanmıştır. Maksimum debi – hacim ve hidrograf gruplandırılması Şekil 4.4'te verilmektedir. Trapez yıkılma deneyi üçgen ve ani yıkılma deneyleri ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.1 Trapez gedik deneylerinde maksimum baraj gölü hacim ve hidrograf pik debi değerleri

Hidrograf	Maksimum Hacim (m ³)	Maksimum Debi (m ³ /s)
Hid 01	8,781	1,001
Hid 02	8,757	0,912
Hid 03	8,710	0,910

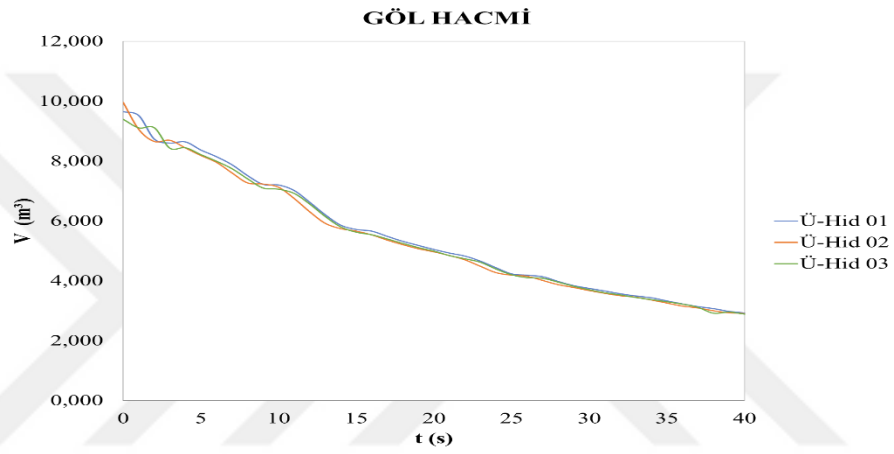


Şekil 4.4 Trapez deneyler için maksimum debi - hacim - hidrograf gruplandırması

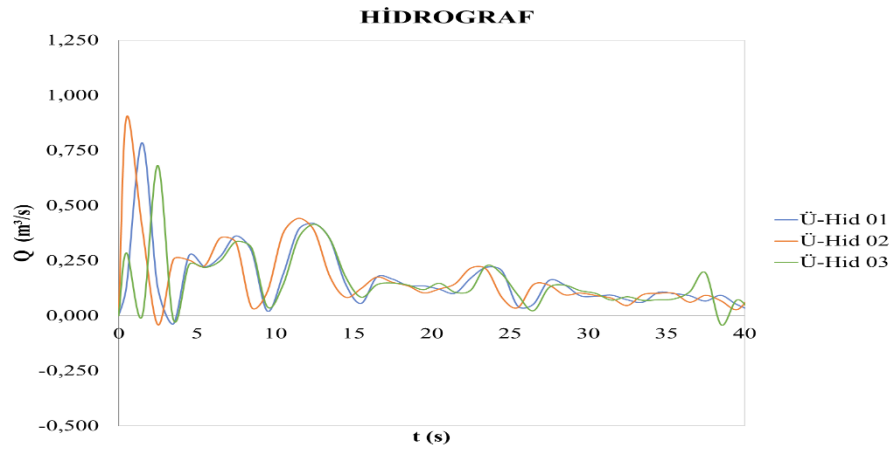
S2 seviye ölçerinden alınan kayıtların bir örneği Ek 1’de sunulmaktadır.

4.2 Üçgen Yıkılma

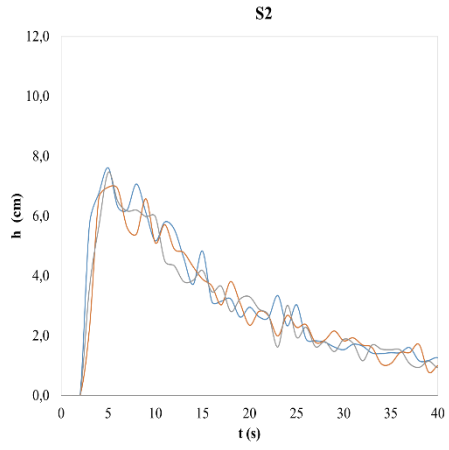
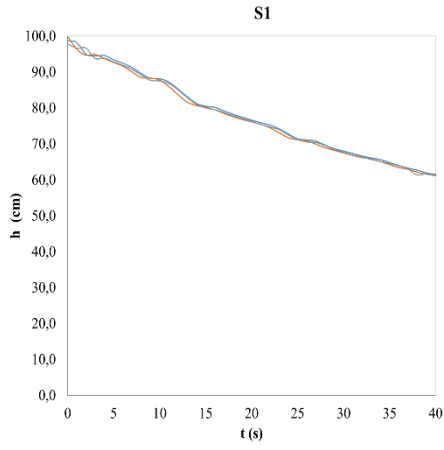
Gedik kısmının geometrisinden dolayı taşkın dalgaları diğer senaryolara göre en yavaş şekilde mansaba yayılmıştır. Şekil 4.5’te göl hacminin zamanla değişimi verilmiştir. Şekil 4.6’da üçgen senaryosuna ait taşkın hidrografları yer almaktadır. Seviye ölçerlerden alınan değerler Şekil 4.7 (a) (b) (c) (d) (e) (f) (g) (h) (i)’de verilmektedir.



Şekil 4.5 Üçgen deneylerine ait göl hacmi - zaman grafiği

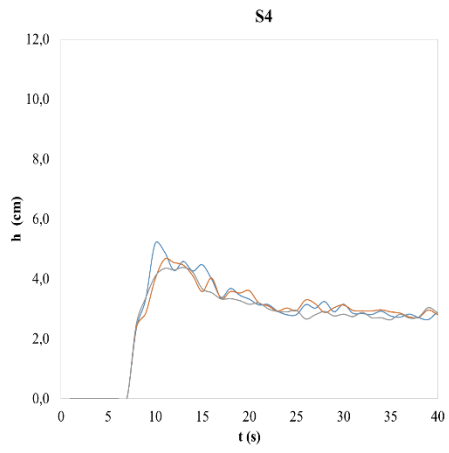
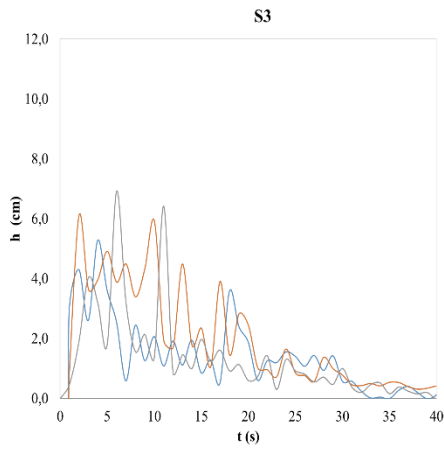


Şekil 4.6 Üçgen deneylerinin taşkın hidrografları



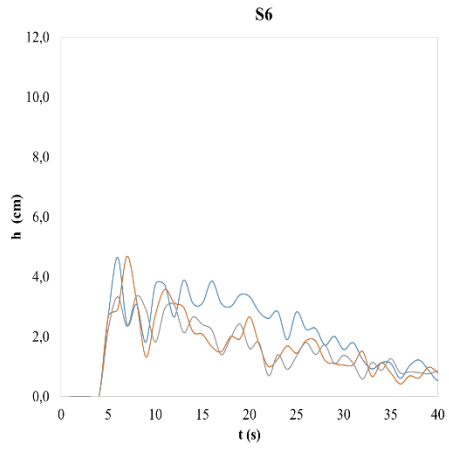
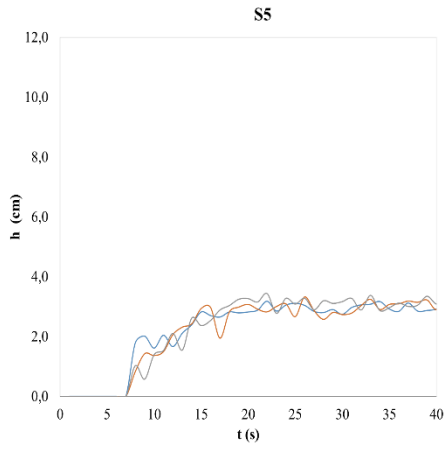
a)

b)



c)

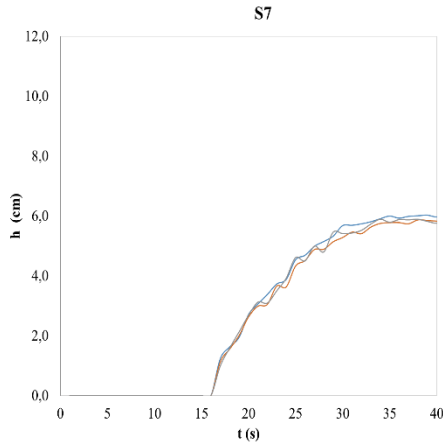
d)



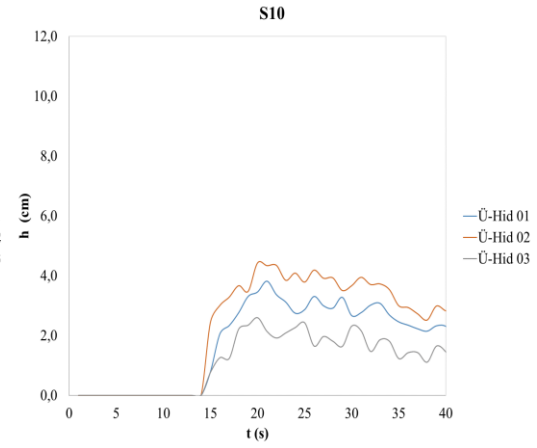
e)

f)

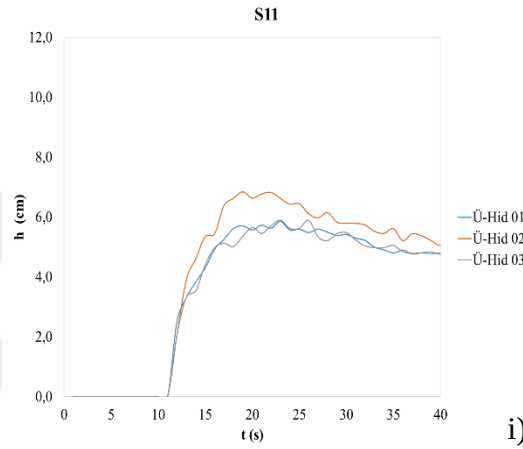
Şekil 4.7 Üçgen deneyleri (a) S1, (b) S2, (c) S3, (d) S4, (e) S5, (f) S6, (g) S7, (h) S10 ve (i) S11 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafikleri



g)



h)



i)

Şekil 4.7 devamı

S2 ve S3'te su seviyelerinin yaklaşık 7 cm olduğu gözlemlenmiştir, prototipte 2,1 m'ye karşılık gelmektedir.

S4 seviye ölçerinde deney başlarında su derinliği yaklaşık 5 cm ölçülmüştür, prototip değeri 1,5 m'dir. Taşkın dalgalarının yayılma süresini kontrolünde hesaplarda kullanılmıştır.

S5 seviye ölçerinde 3 cm'e varan su derinlikleri ölçülmüştür, prototipte 0,9 m'ye yakın bir değere karşılık gelmektedir.

S6 seviye ölçeri suyoluna yakın ve yerleşim bölgeleri başlangıcı sayılabilecek bir konumda yer almaktadır. Modelde 5. saniyede seviye ölçere taşkın dalgaları ulaşmaktadır, prototipte bu değer 2,3 dakikaya karşılık gelmektedir.

S7 seviye ölçerine taşkın dalgaları 16. saniyede varmaktadır. Bu değerin prototipte karşılığı 7,3 dakikadır. Süre olarak S7 seviye ölçerine taşkın dalgaları konumu nedeniyle en geç varmaktadır.

S10 ve S11 seviye ölçerlerine taşkın dalgalarının ulaşma süreleri 11 ve 15 saniyedir. Bu seviye ölçerlerden sonra denize ulaşmaktadır. Konumlarından dolayı bazı bölgelerde taşkın dalgaları denize daha erken varmaktadır, kamera kayıtlarında bu durum görülmektedir.

Üçgen deneyleri kendi içinde gruplandırılmıştır. Tablo 4.2’de en yüksek baraj gölü hacmi ile taşkın hidrografları sıralanmıştır. Maksimum debi – hacim ve hidrograf gruplandırılması Şekil 4.8’de verilmektedir. Karşılaştırmaya karar verilirken baraj gölündeki seviye ölçerlerden alınan yakın değerler dikkate alınmıştır.

Tablo 4.2 Üçgen gedik deneylerinde maksimum baraj gölü hacim ve hidrograf pik debi değerleri

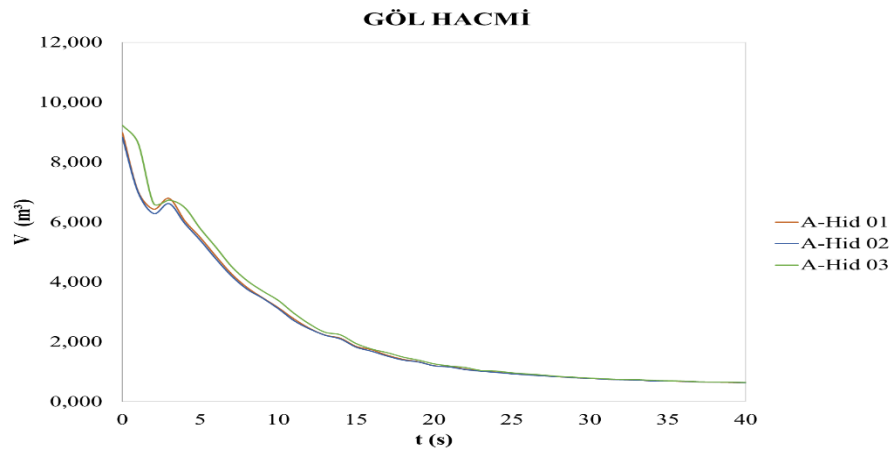
Hidrograf	Maksimum Hacim (m ³)	Maksimum Debi (m ³ /s)
Ü-Hid 02	9,955	0,900
Ü-Hid 01	9,645	0,785
Ü-Hid 03	9,394	0,682



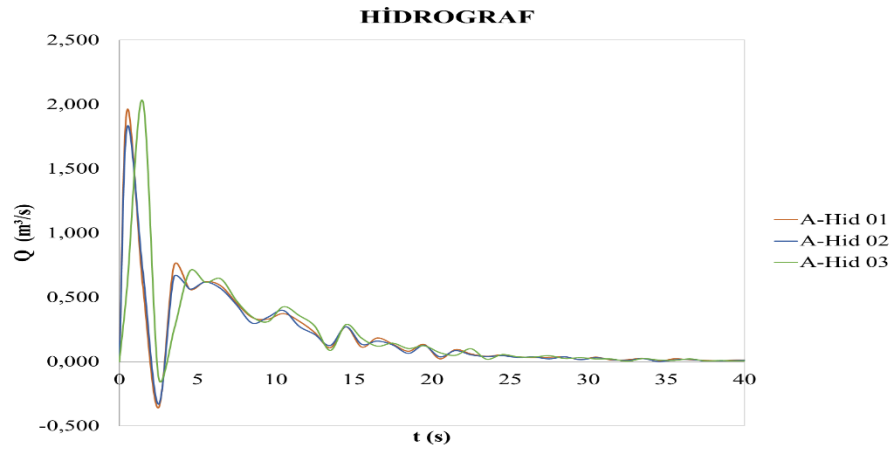
Şekil 4.8 Üçgen deneyler için maksimum debi - hacim - hidrograf gruplandırılması

4.3 Ani Yıkılma

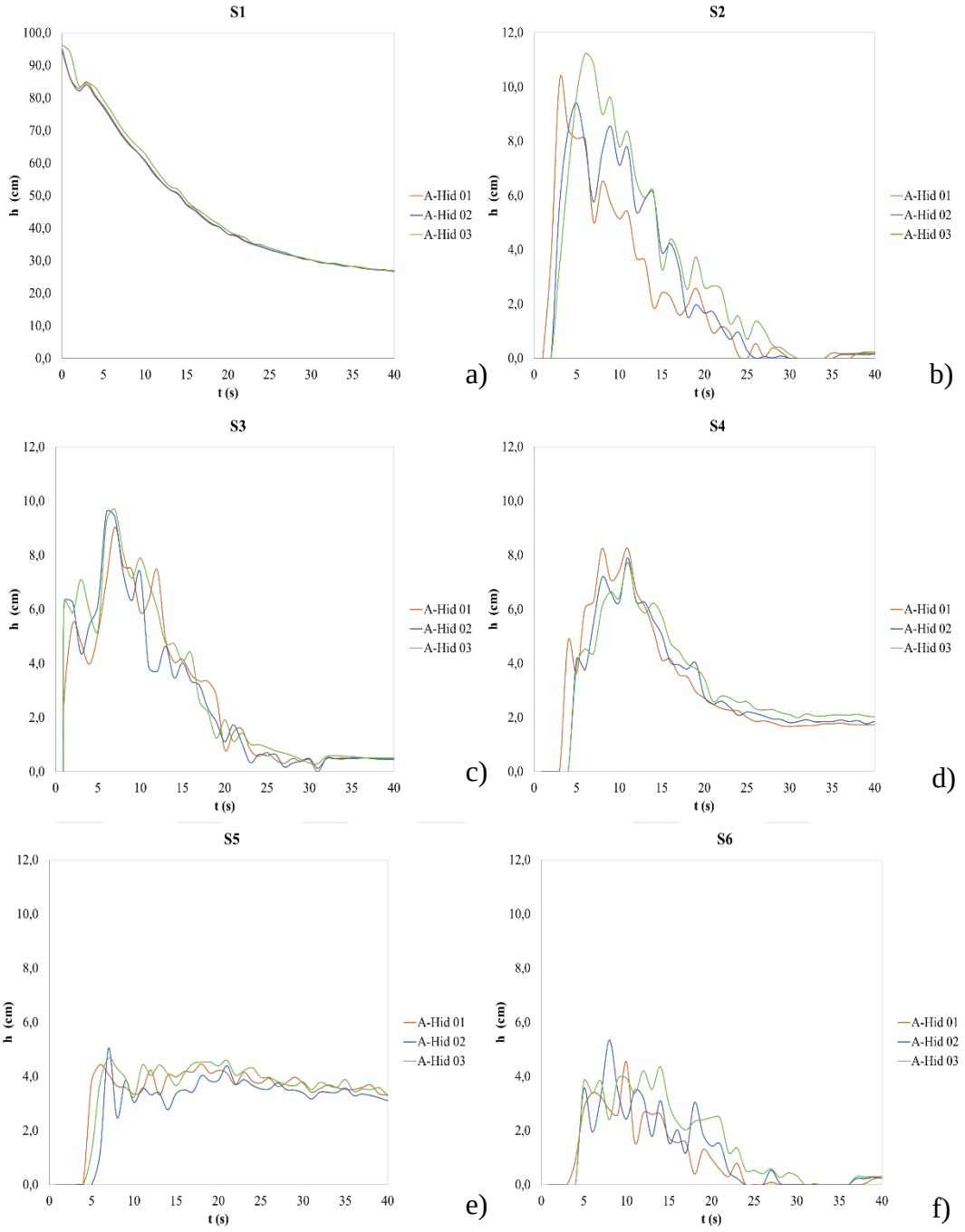
Şekil 4.9'da göl hacminin zamanla değişimi verilmiştir. Şekil 4.10'da ani yıkılma deneylerine ait hidrografların zamanla değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 4.11 (a) (b) (c) (d) (e) (f) (g) (h) (i)'de seviye ölçerlerden elde edilen su derinlikleri yer almaktadır. Tablo 4.3'te baraj göl hacimlerine göre sıralanmış ani yıkılma deneyleri bulunmaktadır. Göl hacmi ve hidrograf değerlerine ait karşılaştırma grafiği de Şekil 4.12'de yer almaktadır.



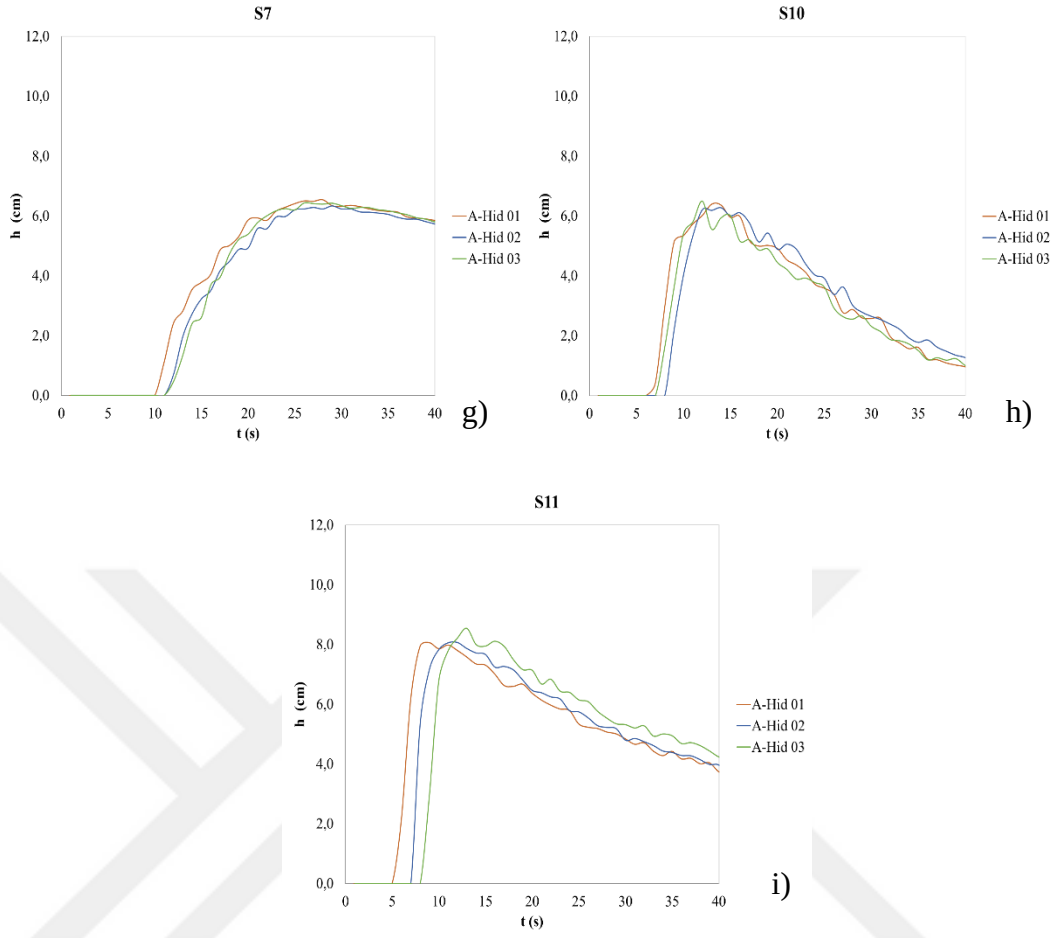
Şekil 4.9 Ani yıkılma deneylerine ait göl hacmi - zaman grafiği



Şekil 4.10 Ani yıkılma deneylerinin taşkın hidrografları



Şekil 4.11 Ani yıkılma deneyleri (a) S1, (b) S2, (c) S3, (d) S4, (e) S5, (f) S6, (g) S7, (h) S10 ve (i) S11 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafikleri



Şekil 4.11 devamı

S2 seviye ölçerinde ilk zamanlarda 10 cm'yi aşan derinlikler ölçülmüştür, S3'te ise su seviyelerinin yaklaşık 10 cm olduğu görülmüştür, prototipte 3 m'yi aşmasından dolayı tek katlı yapılar için tehlike teşkil etmektedir.

S4 seviye ölçerinin bulunduğu bölgede su derinliği yaklaşık 4 cm ölçülmüştür, prototip değeri 1,2 m'dir.

S5 seviye ölçerinin bulunduğu yerleşim yoğunluğunun sık olduğu bölgede 5 cm'e varan su derinlikleri deneyler sonucunda bulunmuştur. Prototipte 1,5 m'ye yakın bir değere karşılık gelmektedir.

S6 seviye ölçerine modelde 4. saniyede taşkın dalgaları ulaşmaktadır, prototipte bu değer 1,8 dakikaya karşılık gelmektedir.

S7 seviye ölçerine taşkın dalgaları 11. saniyede ulaşmaktadır. Prototip 5,0 dakika olarak hesaplanmaktadır. Sol sahilde taşkın dalgalarının en geç ulaştığı bölge burasıdır.

S10 ve S11 seviye ölçerlerine 6-7 saniyede dalgaların yayıldığı diğer yıkılma senaryolarına göre en erken ulaşmaktadır. 2,7 – 3,2 dakika olarak prototip değerleri hesaplanmaktadır.

Tablo 4.3 Ani yıkılma deneylerinde maksimum baraj gölü hacim ve hidrograf pik debi değerleri

Hidrograf	Maksimum Hacim (m ³)	Maksimum Debi (m ³ /s)
A-Hid 03	10,169	2,044
A-Hid 01	9,926	1,953
A-Hid 02	9,773	1,826

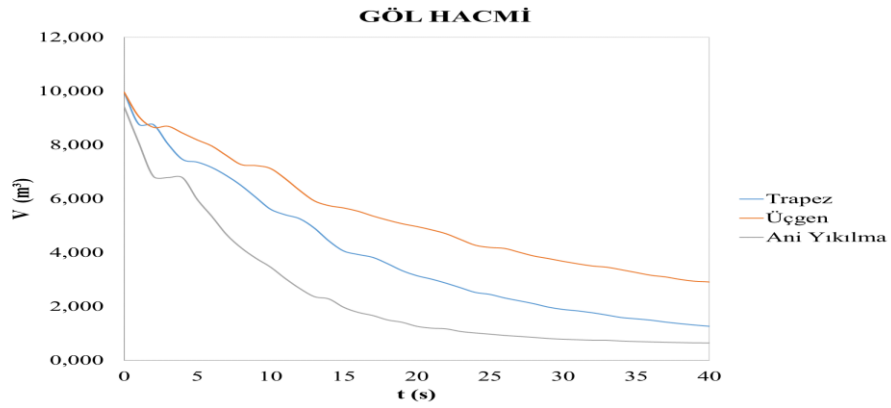


Şekil 4.12 Ani yıkılma deneyleri için maksimum debi - hacim - hidrograf gruplandırması

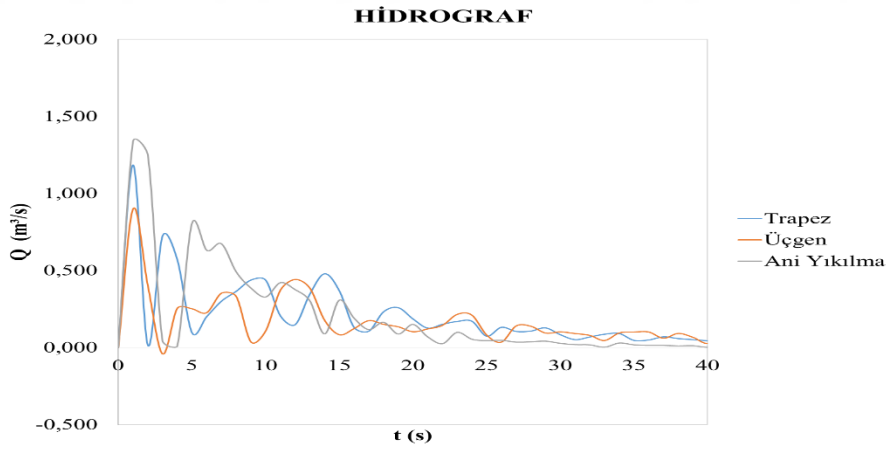
Baraj gölünde su derinlikleri birbirine yakın trapez, üçgen ve ani yıkılma deneyleri karşılaştırılmıştır. Üç farklı senaryo için aynı noktadaki seviye ölçerler birlikte gösterilmiştir.

4.4 Trapez, Üçgen ve Ani Yıkılma Bulguları

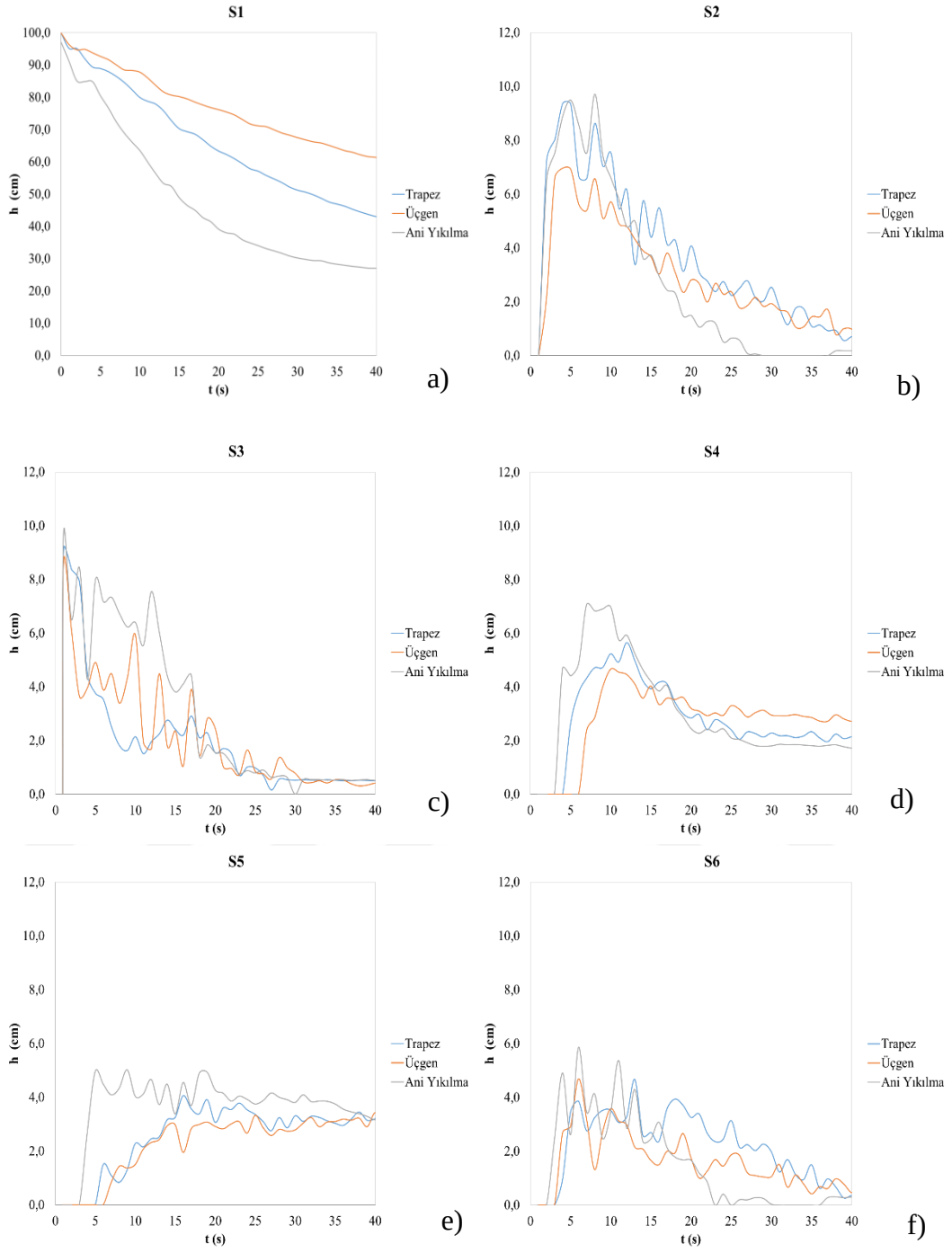
Trapez ve üçgen başlangıç su seviyeleri 100,0 cm, ani yıkılma için 97,3 cm olduğu trapez, üçgen ve ani yıkılma deneyleri hem seviye ölçer hem de hız ölçer değerleri açısından karşılaştırılmıştır, Şekil 4.13'te göl hacminin zamanla değişimi verilmiştir. Şekil 4.14'te yıkılma deneylerine ait hidrografların zamanla değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 4.15 (a) (b) (c) (d) (e) (f) (g) (h) (i)'de seviye ölçerlerden elde edilen karşılaştırmalı su derinlikleri yer almaktadır.



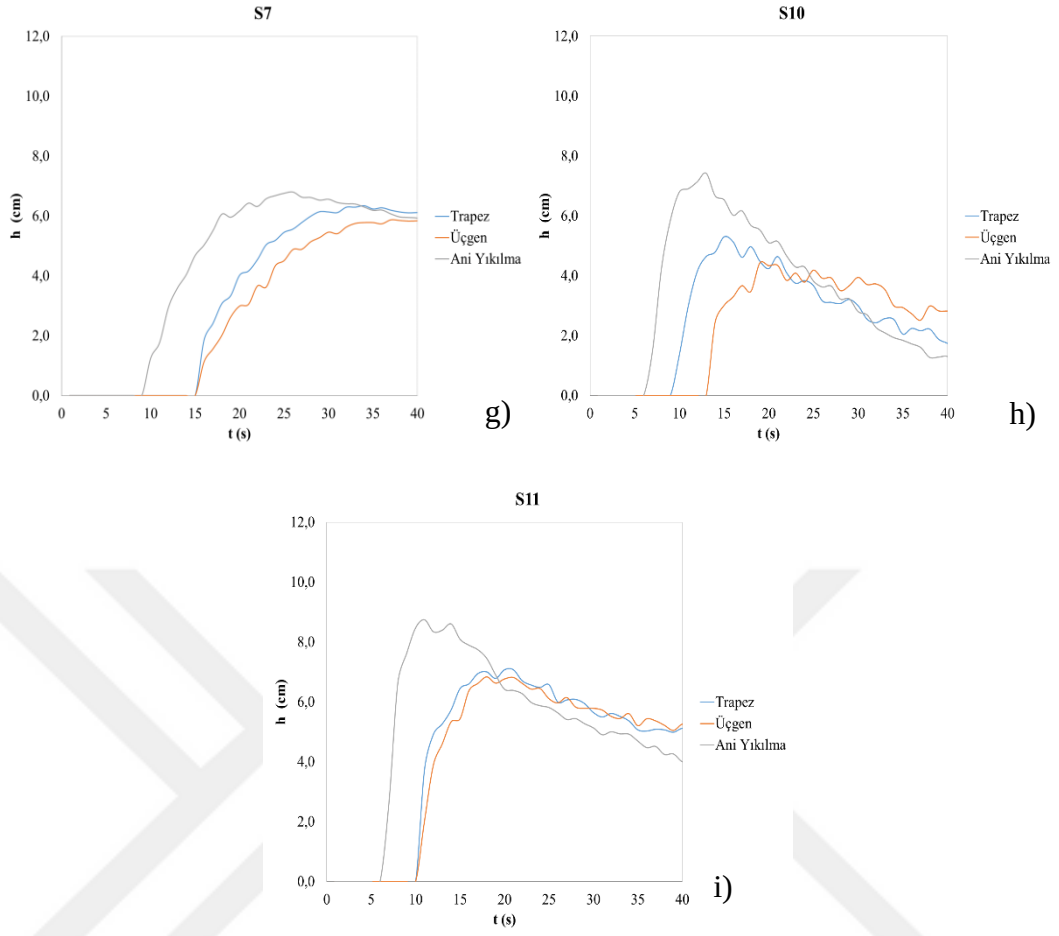
Şekil 4.13 Yıkılma deneylerine ait göl hacmi - zaman grafiği



Şekil 4.14 Yıkılma deneylerinin taşkın hidrografları



Şekil 4.15 Aynı su seviyesine sahip trapez, üçgen ve ani yıkılma senaryolarında seviye ölçerlere ait (a) S1, (b) S2, (c) S3, (d) S4, (e) S5, (f) S6, (g) S7, (h) S10 ve (i) S11



Şekil 4.15 devamı

Seviye ölçerlerden elde edilen bulgular ışığında Tablo 4.4’de sonuçlar yorumlanıp karşılaştırılmıştır.

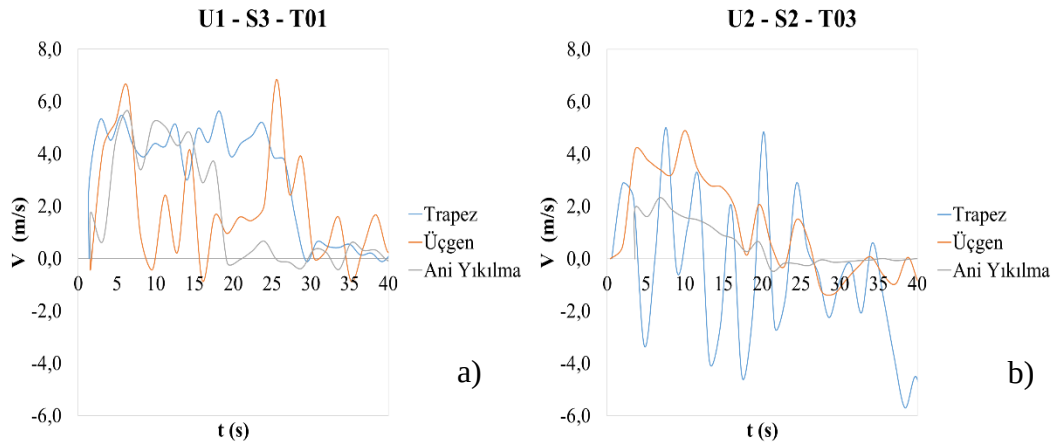
Tablo 4.4 Seviye ölçerler bazında senaryoların karşılaştırılması

Seviye Ölçer	Maksimum Su Derinliği (cm)			Maksimum Derinliğe Ulaşma Süresi (s)		
	Trapez	Üçgen	Ani Yıkılma	Trapez	Üçgen	Ani Yıkılma
S2	9,4	7,0	9,7	4	4	3
S3	9,1	8,6	9,6	2	2	1

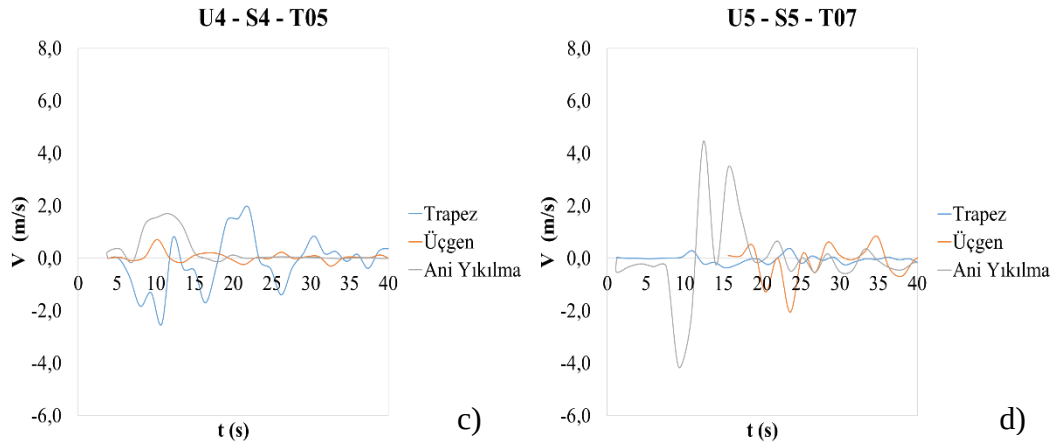
Tablo 4.4 devamı

Seviye Ölçer	Maksimum Su Derinliği (cm)			Maksimum Derinliğe Ulaşma Süresi (s)		
	Trapez	Üçgen	Ani Yıkılma	Trapez	Üçgen	Ani Yıkılma
S4	5,7	4,7	7,1	12	15	7
S5	4,1	3,4	5,0	16	25	9
S6	4,7	4,6	5,9	13	19	6
S7	6,3	5,9	6,8	32	37	25
S10	5,3	4,4	7,4	15	19	13
S11	7,1	6,8	8,7	20	21	11

Hız ölçmek için kullanılan algılayıcılar seviye ölçerlerin yanına kutu açılarak muhafaza edilmişlerdir. Kutu içinde yer alan algılayıcı numarası ve yanında bulunan seviye ölçer numarasına göre UVP doğrultusunda ölçülen kesitsel hız – zaman grafikleri Şekil 4.16’da yer almaktadır.



Şekil 4.16 (a) (b) (c) (d) Trapez, üçgen ve ani yıkılma senaryolarında ölçülen hız – zaman grafikleri



Şekil 4.16 devamı

Trapez gedik açılması senaryosunda T04 algılayıcısından elde edilen kayıtların bir örneği Ek 2’de verilmektedir

Kamera kayıtlarından elde edilen sırasıyla trapez, üçgen ve ani yıkılma durumları için 1, 2, 4, 6 ve 12 saniye sonra elde edilen görüntüler Şekil 4.17 (a) (b) (c) – Şekil 4.18 (a) (b) (c) – Şekil 4.19 (a) (b) (c) – Şekil 4.20 (a) (b) (c) – Şekil 4.21 (a) (b) (c)’de yer almaktadır.



Şekil 4.17 1. saniyedeki kamera kayıtları (a) trapez, (b) üçgen ve (c) ani yıkılma (Kişisel arşiv, 2013)



Şekil 4.17 devamı



Şekil 4.18 2. saniyedeki kamera kayıtları (a) trapez, (b) üçgen ve (c) ani yıkılma (Kişisel arşiv, 2013)



Şekil 4.19 4. saniyedeki kamera kayıtları (a) trapez, (b) üçgen ve (c) ani yıkılma (Kişisel arşiv, 2013)



Şekil 4.20 6. saniyedeki kamera kayıtları (a) trapez, (b) üçgen ve (c) ani yıkılma (Kişisel arşiv, 2013)



Şekil 4.20 devamı



Şekil 4.21 12. saniyedeki kamera kayıtları (a) trapez, (b) üçgen yıkılma ve (c) ani yıkılma (Kişisel arşiv, 2013)

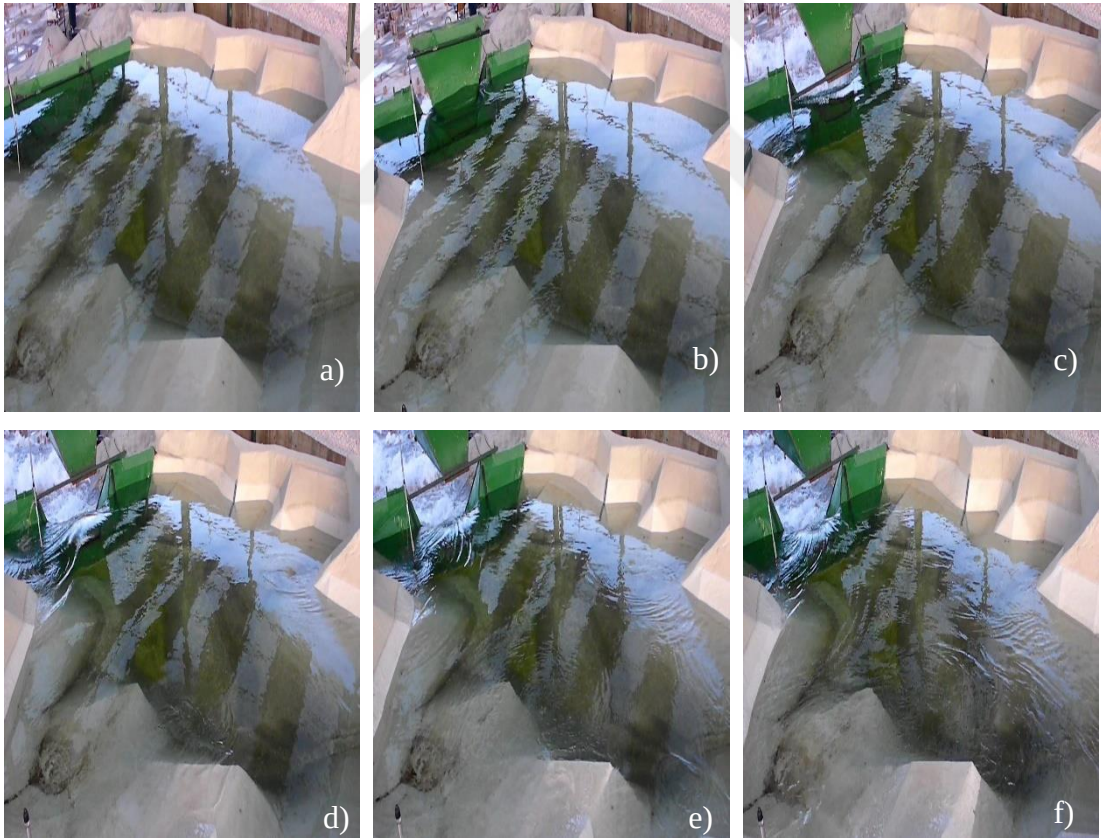
Tablo 4.5'te Farklı senaryolarda taşkın dalgalarının karayolu ve denize ulaşım süreleri verilmektedir.

Tablo 4.5 Taşkın dalgalarının farklı senaryolarda karayolu ve denize ulaşım süreleri

Ulaşılan Yer	Trapez Gedik	Üçgen Gedik	Ani Yıkılma
Karayolu (s)	9	10	7
Deniz (s)	11	12	9

4.5 Göl Su Kotunun Zamana Bağlı Değişimi

Memba sınır şartı olarak baraj gölünün göz önüne alınması baraj gölünde zamana bağlı olarak değişen su kotlarının da gözlemlenmesini ve yorumlanmasını mümkün kılmaktadır. Baraj gölünde su derinliğinin 97,3 cm olduğu ve trapez gedik olduğu deneylere ait fotoğraflar başlangıç anı, 2 s, 4 s, 6 s ve 10 s anları için sırasıyla Şekil 4.22 (a) (b) (c) (d) (e) (f)'de örnek olarak verilmektedir.



Şekil 4.22 (a) 0. s, (b) 2. s, (c) 4. s, (d) 6. s, (e) 8. s ve (f) 10. s baraj gölündeki su derinlikleri (Kişisel arşiv, 2013)

BÖLÜM BEŞ

FLOW 3D YAZILIMI

5.1 Flow 3D Yazılımı ile İlgili Genel Bilgiler

Baraj yıkılması taşkın dalgasının arazi topoğrafyası 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 kullanılabilecek 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 (Kocaman, 2007).

1980 yılında Dr. Tony Hirt tarafından geliştirilen bu yazılımda serbest yüzey takibi metodu olan VOF (Volume of Fluid) metodu kullanılmaktadır.

Kullanımı kolay ara yüzü sayesinde hızlı bir şekilde model oluşturması, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) üzerinden veriler alınabilmesi, kolay ağ kurma yöntemi sayesinde hızlı model hazırlaması ve kendine has ağ yapısı sayesinde hareketli nesneleri kolaylıkla modellemesi programın özelliklerindendir.

Flow 3D yazılımı zamana bağlı olarak değişen üç boyutlu akım problemlerini çözmek için gelişmiş sayısal teknikleri kullanmaktadır. Akışkan hareketi, doğrusal olmayan ve zamana bağımlı ikinci mertebeden diferansiyel denklemlerle tanımlanmaktadır. Hesaplamaların gerçekleştirildiği hücreler; i, j ve k sırasıyla x, y ve z eksenleri doğrultusundaki indisleri simgelemek üzere (i, j, k) adresiyle tanımlanmaktadır. Sıvıya komşu gazın eylemsizliği ihmal edilmekte ve gaz tarafından

işgal edilen hacim yerine üniform basınç ve sıcaklıkla temsil edilen kütle boşluğu yerleştirilmektedir. Flow 3D'nin kullandığı Akışkan Hacmi (The Volume of Fluid – VOF) yöntemi üç ana bileşenden oluşmaktadır: akışkan hacmi fonksiyonunun tanımı, VOF taşınım denklemini çözme yöntemi ve serbest yüzeyde sınır şartlarının oluşturulması.

Diferansiyel denklemler (x, y, z) Kartezyen koordinatları kullanılarak yazılabilmektedir. Tüm denklemlerin formülasyonu karmaşık geometriye sahip bölgelerin modellenmesini sağlayan ve FAVOR (Fractional Area/Volume Obstacle Representation) yöntemi olarak adlandırılan yöntem ile yapılmaktadır. Alan ve hacim oranları genellikle zamandan bağımsız olmakla beraber hareketli engel modeli kullanıldığında zamana bağlı olarak değişebilmektedirler (Flow Science Inc., 2007).

5.1.1 Kütle Korunum Denklemleri

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(\rho u A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) + \xi \frac{\rho u A_x}{x} = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (5.1)$$

şeklinde yazılan kütle korunum denkleminde V_F : akıma açık kesirsel hacmi, ρ : akışkan yoğunluğunu, R_{DIF} : türbülans yayılma terimini, R_{SOR} : kütle kaynağını ve u, v ve w hız bileşenlerini simgelemektedir. A_x , A_y ve A_z : x, y ve z doğrultularında akıma açık kesirsel alanlardır. Takip eden şekilde R katsayısı tercih edilen koordinat sistemin seçimine bağlıdır. ξ : silindirik geometri için Kartezyen denklemlerin hareketinde ilave edilen katsayıdır. Silindirik koordinatlar kullanılacağı zaman $\xi=1$ alınır. Silindirik koordinat sistemi kullanılırsa y türevi azimut türevlerine çevrilmelidir.

$$\frac{\partial}{\partial y} \rightarrow \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} = \frac{r_m}{r} \frac{\partial}{\partial y} \quad (5.2)$$

$y = r_m \theta$ ve r_m sabitlenmiş referans çapıdır. (5.2) dönüşümü, orijinal Kartezyen koordinat denklemlerinde y türevleri yerine $R = r_m / r$ çarpanı uygulaması oldukça uygundur. Kartezyen koordinatlar kullanılacağı zaman $R=1$ ve $\xi=0$ alınmalıdır. (5.1) denkleminin sağındaki ilk ifade türbülans difüzyon ifadesidir.

$$R_{DIF} = \frac{\partial}{\partial x} \left(v_\rho A_x \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(v_\rho A_y R \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_\rho A_z \frac{\partial \rho}{\partial z} \right) + \xi \frac{v_\rho A_x}{x} \frac{\partial \rho}{\partial x} \quad (5.3)$$

ν_p katsayısı $S_c \mu / \rho$ 'e eşittir. μ momentum difüzyonun katsayısı, yani vizkozitedir. S_c sabitinin tersi genellikle türbülans Schmidt sayısı olarak adlandırılmaktadır. Bu tür bir kütle yayılması sadece yoğunluğu üniform olmayan akışkanlardaki türbülans karışım işlemleri için anlamlıdır. (5.1) denklemindeki son ifade R_{SOR} bir yoğunluk kaynak terimi olup örneğin gözenekli engel yüzeyleri boyunca kütle enjeksiyonunu modellemek için kullanılabilir. Sıkıştırılamaz akışkan durumunda ρ sabit olup (5.1) denklemi şöyle yazılmaktadır.

$$\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) + \xi \frac{uA_x}{x} = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (5.4)$$

Akustik basınç dalgalarının yayılmasının önemli olduğu problemlerde önemlidir fakat akışkan başka türlü sıkıştırılamaz olarak işlem görebilir. Yoğunluğun zamana göre türevi yaklaşık:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} \approx \frac{1}{c^2} \frac{\partial p}{\partial t} \quad (5.5)$$

c^2 , ses hızının karesidir ve p basınçtır. Bu yaklaşım (5.6) denklemindeki aralıkta geçerlidir.

$$\left| \frac{\delta p}{p} \right| < 0,1 \quad (5.6)$$

Bu yaklaşımlarla hareket denklemleri (5.7) denklemindeki hali dönüşür.

$$\frac{V_F}{\rho c^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial uA_x}{\partial x} + R \frac{\partial vA_y}{\partial y} + \frac{\partial wA_z}{\partial z} + \xi \frac{uA_x}{x} = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (5.7)$$

5.1.2 Momentum Denklemleri

Hareket denklemleri bazı ilave terimler içeren Navier-Stokes denklemlerinden oluşmaktadır.

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \xi \frac{A_y v^2}{x V_F} = \\ - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \partial u_s) \end{aligned} \quad (5.8.a)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \xi \frac{A_y u v}{x V_F} = \\ - \frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial p}{\partial y} \right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \partial v_s) \end{aligned} \quad (5.8b)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \\ - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \partial w_s) \end{aligned} \quad (5.8c)$$

Bu denklemlerde,

- (G_x, G_y, G_z) kütlelesel ivmeleri,
- (f_x, f_y, f_z) viskoz ivmeleri,
- (b_x, b_y, b_z) akıştaki kayıpları simgelemektedir.

Viskoz ivmeleri:

$$\rho V_F f_x = w s x - \left[\frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xx}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{xz}) + \frac{\xi}{x} (A_x \tau_{xx} - A_y \tau_{yy}) \right] \quad (5.9a)$$

$$\rho V_F f_y = w s y - \left[\frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xy}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{yz}) + \frac{\xi}{x} (A_x - A_y \tau_{xy}) \right] \quad (5.9b)$$

$$\rho V_F f_z = w s z - \left[\frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xz}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{zz}) + \frac{\xi}{x} (A_x \tau_{xz}) \right] \quad (5.9c)$$

şeklinde yazılmakta olup $w s x$, $w s y$ ve $w s z$ cidar kayma gerilmesini simgelemekte olup diğer gerilmeler aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\tau_{xx} = -2\mu \left[\frac{\partial}{\partial x} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right] \quad (5.10a)$$

$$\tau_{yy} = -2\mu \left[R \frac{\partial v}{\partial y} + \xi \frac{u}{x} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right] \quad (5.10b)$$

$$\tau_{zz} = -2\mu \left[\frac{\partial w}{\partial z} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right] \quad (5.10c)$$

$$\tau_{xy} = -\mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + R \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\xi v}{x} \right) \quad (5.10d)$$

$$\tau_{xz} = -\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad (5.10e)$$

$$\tau_{yz} = -\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + R \frac{\partial w}{\partial y} \right) \quad (5.10f)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y} (v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (w A_z) + \xi \frac{u A_x}{x} = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (5.11)$$

Flow 3D yazılımında kullanılmaya hazır altı adet türbülans modeli mevcuttur:

- Prandtl karışım uzunluğu modeli, üç boyutlu türbülans etki çalışmalarının ilk girişimidir, çok yaygın kullanılmamaktadır.
- Tek denklem modeli, L_T karışım uzunluğunun tüm noktalarda bilinmesi gereklidir. Karmaşık modeller için uygun değildir.
- İki denklem modeli ($k-\epsilon$), hem k türbülans kinetik enerjisi hem ϵ dağılma oranını hem de L_T türbülans karışım uzunluğunu hesaplar. Akıslarda geniş bir kullanım alanı vardır.
- RNG modeli (Renormalized Group), birçok endüstriyel problemlerde kullanılmaktadır. Çeper ısı ve kütle transferinde, kıvrımlı akıslarda daha iyi çözümler sağlamaktadır.
- İki denklem modeli ($k-\omega$), ikinci değişkeni $\omega = \epsilon / k$ olarak tanımlar. Serbest kayma akıslarında kullanılır.
- Büyük çevrinti modeli (Large Eddy Simulation – LES), ortalama türbülans kinetik enerjisi temsil etmek için skalerler kullanmak yerine türbülans dalgalanmalarının çoğunu doğrudan çözmektedir. Çok daha küçük hücrelerle çözüm gerektirmekte olup türbülanslı akışın çok daha kapsamlı istatistik bilgilerini kapsamaktadır.

5.2 Flow 3D ile Simülasyonda Yapılan İşlemler

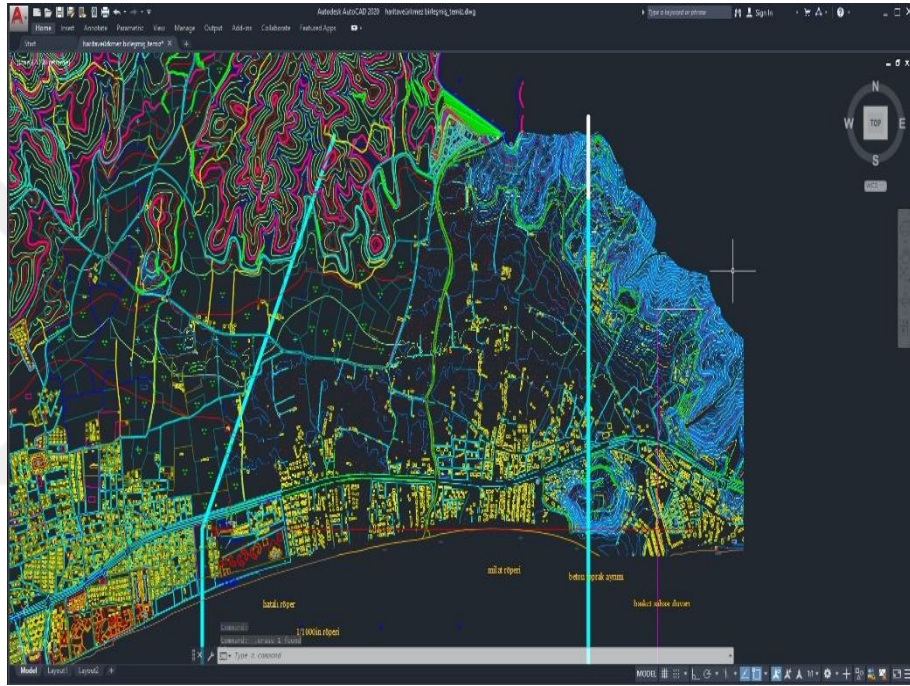
5.2.1 Modelin Flow 3D'ye Aktarılması

Model inşaatında kullanılan İZSU ve DSİ haritalarından yararlanılarak oluşturulan kesit koordinatları kullanılarak topoğrafya tanımlanmıştır. Topoğrafya bilgisi Flow 3D programına aktarılmadan önce STL (Stereo Lithography) formatına getirilmiştir. Memba ve mansap bölgesinin oluşturulmasından sonra yine İZSU'dan alınan haritalar yardımıyla yaklaşık 1.800 yapı, koordinat ve kat yüksekliği bilgileri ile dikdörtgen prizması şeklinde STL formatına getirilmiştir. Simülasyonlardan önce memba, mansap ve evler olacak şekilde üç katman oluşturulmuştur. Ev ve topoğrafya dışında baraj gölü de Flow 3D'ye tanıtılmıştır.

Sayısal çözümlerde farklı yaklaşımlar uygulanmıştır: İlk nümerik çözümlerde evler tanıtılmadan sadece pürüzlülük değerleri tanımlanarak simülasyonlar

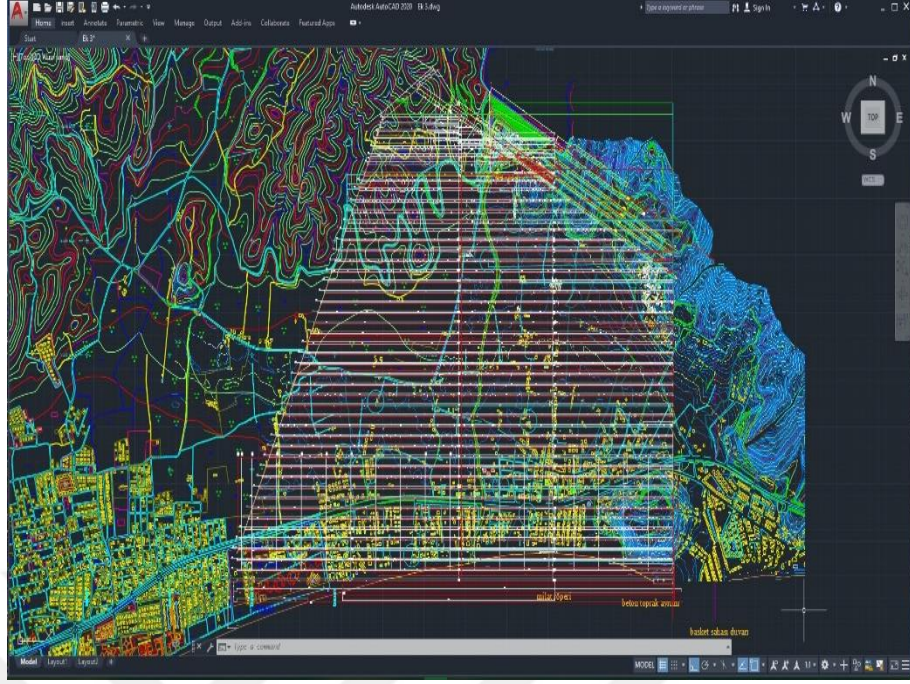
gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki çözümlerde ise 3 boyutlu evler tanımlanarak ve zeminde pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Şekil 5.1’de birleştirilmiş İZSU ve DSİ haritalarından elde edilen ve inşa edilen modelin sınırları yer almaktadır. Sarı renkte olanlar evleri, yeşil olan Ürkmez Nehir’ini, turkuaz ve bir kısmı yeşil olarak devam eden çizim karayolunu göstermektedir. Açık yeşil renkli yer baraj gövdesi olup kalın turkuaz çizgiler modelin sınırlarını oluşturmaktadır.



Şekil 5.1 Birleştirilmiş İZSU ve DSİ haritaları

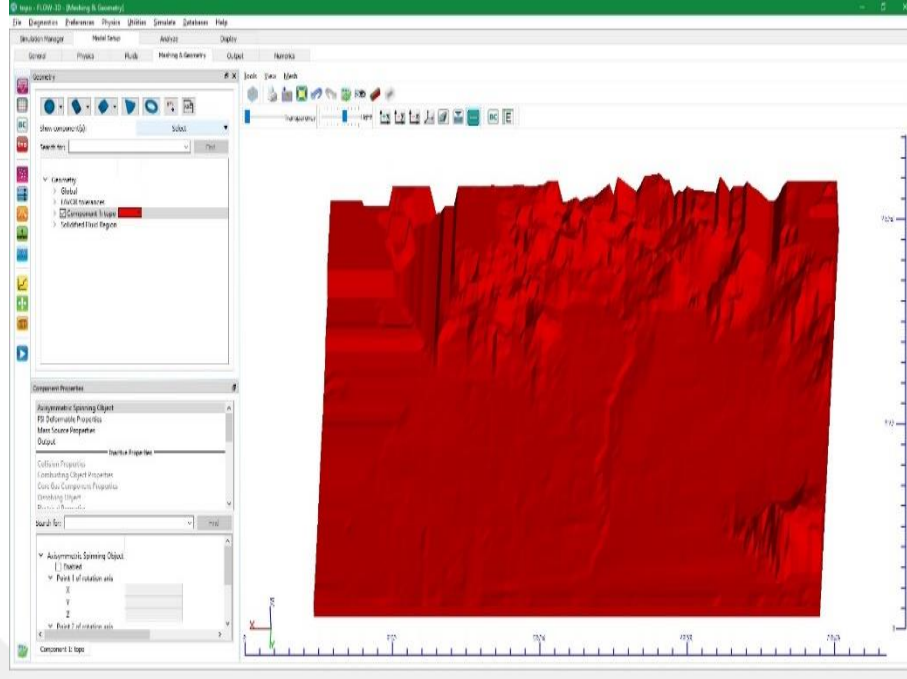
Şekil 5.2’de modelin mansap bölgesinin inşasında kullanılan kesitler yer almaktadır. Kesit üzerinde yer alan noktalar excel dosyasına kaydedilmiştir. İZSU ve DSİ .dwg dosyalarından yararlanarak topoğrafyadaki kot değerleri .xlsx uzantılı olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.2 Model yapımında kullanılan kesitlerin harita üzerinde görünüşü

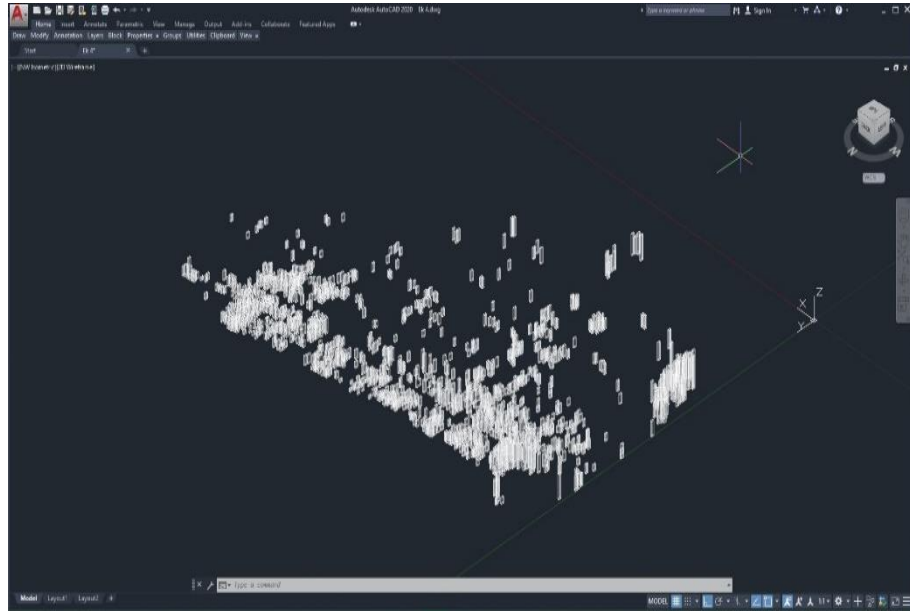
İZSU ve DSİ Autocad çizimlerinden faydalanarak oluşturulan mansap bölgesinin x,y ve z değerleri çıkarılmıştır. Evler karelaj metoduyla modele uygulanmıştır. Bu karelaj yöntemi evin yoğun olduğu denize yakın olan kesitlerde yapılmıştır. G1-G30 kesitleri arası evler daha az yoğunken, G31-G43 kesitleri yolun ve denizin olduğu bölgelerde yoğunluk fazladır. Tüm kesitlerdeki evler, kat yüksekliği dikkate alınarak hem modele hem de üç boyutlu mansap çizimine dahil edilmiştir. Topoğrafya üzerine kat yüksekliği dahil edilerek hazırlıklar tamamlanmıştır.

Şekil 5.3'te mansap bölgesinin .xlsx formatından Flow 3D'nin üç boyutlu çizim olarak istediği .stl dosyaya çevrilmiş hali yer almaktadır. Bu işlem yapılırken “tedit” programı kullanılmıştır. Elde edilen koordinat değerleri üç boyuta taşınmıştır.



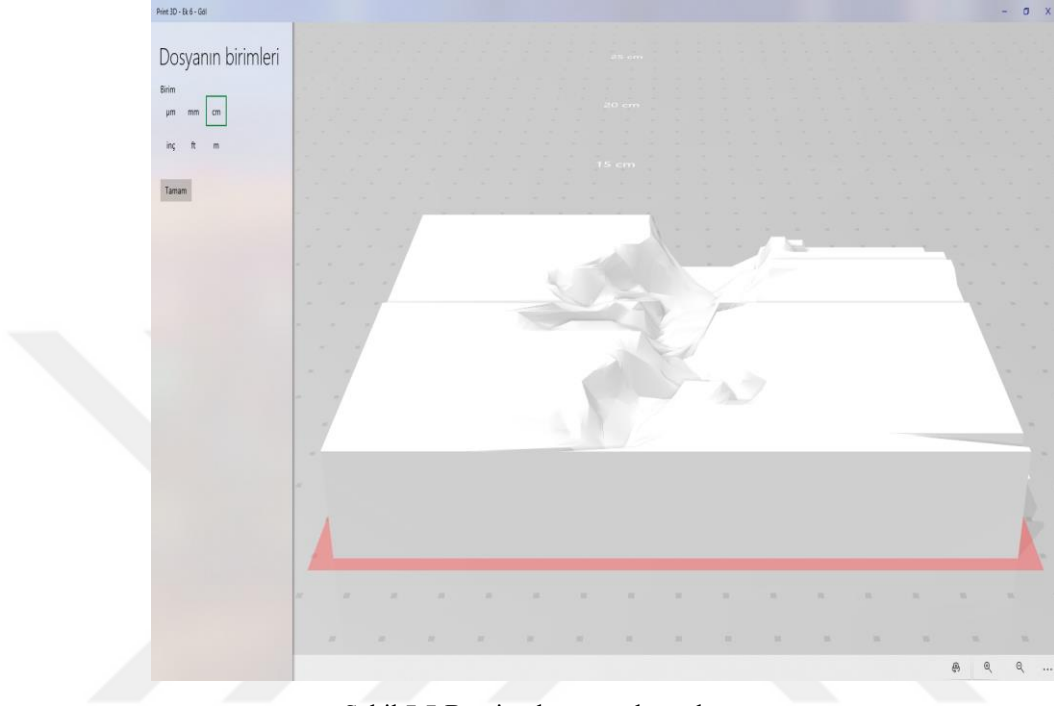
Şekil 5.3 Mansap bölgesinin .stl formatına çevrilmesinden sonra oluşan görünüm

Şekil 5.4’te evleri yerleştirirken .stl dosyasına geçiş için Autocad Civil 3D programı kullanılmıştır. x, y ve z değerleri bilinen (Excel olarak autocad haritalardan çıkarılmıştır.) 1.800’e yakın ev tek tek girilip farklı kaydedilip .stl dosyası olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.4 Autocad Civil 3D programında çizilen evler

Uzantısı .dwg olan kesitlerin birleştirilmesiyle Şekil 5.5’te gösterilen baraj gölünün üç boyutlu görüntüsü elde edilmiştir. Flow 3D’de mansap bölgesine hidrograf ve seviye ölçer bilgisi verilmeden direkt baraj gölünden gelen taşkın dalgasının yayılması çalışmalarında kullanılmıştır.

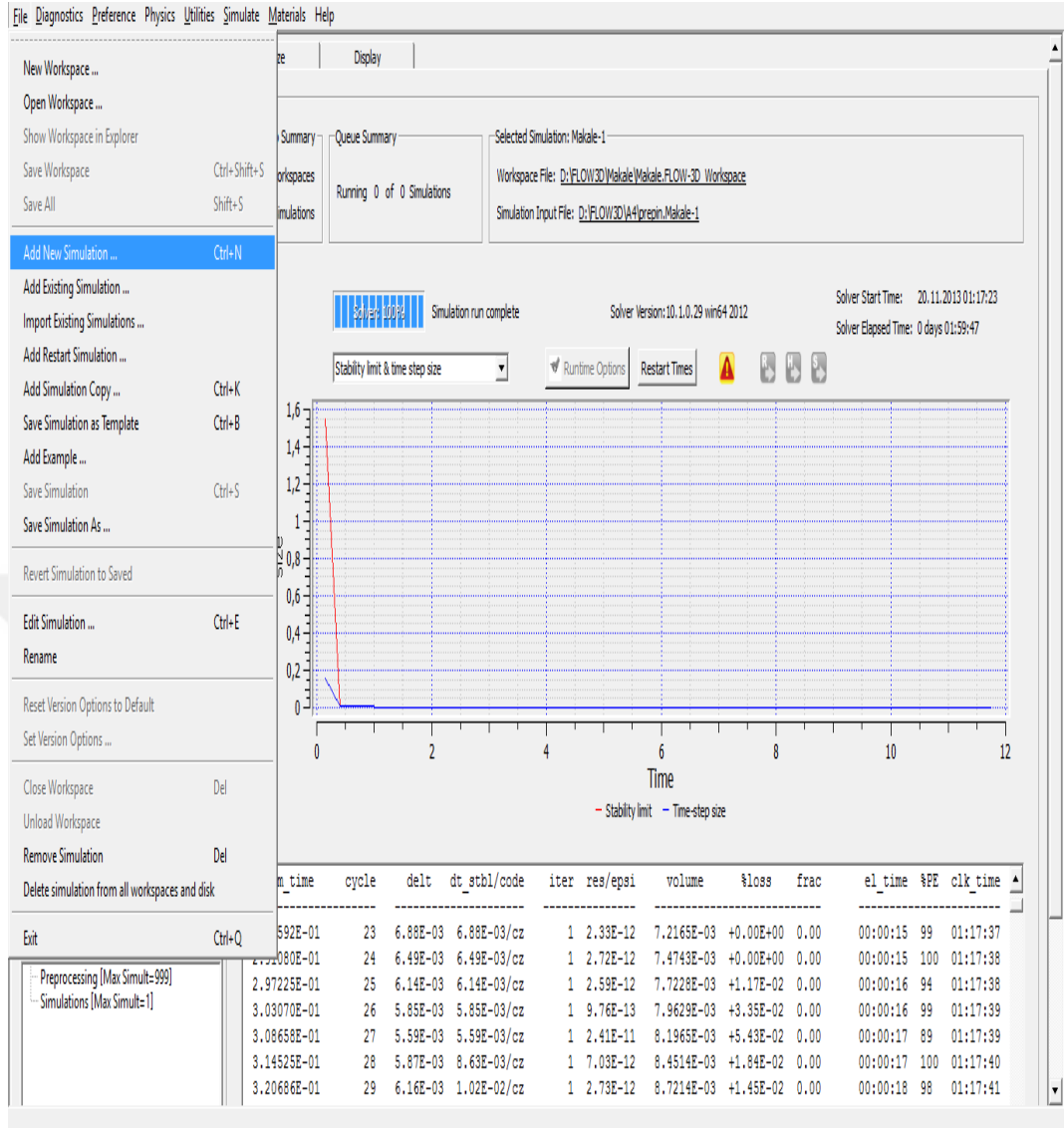


Şekil 5.5 Baraj gölünün üç boyutlu görüntüsü

5.2.2 Ağ (Mesh) İşlemi ve Menülerin Tanıtılması

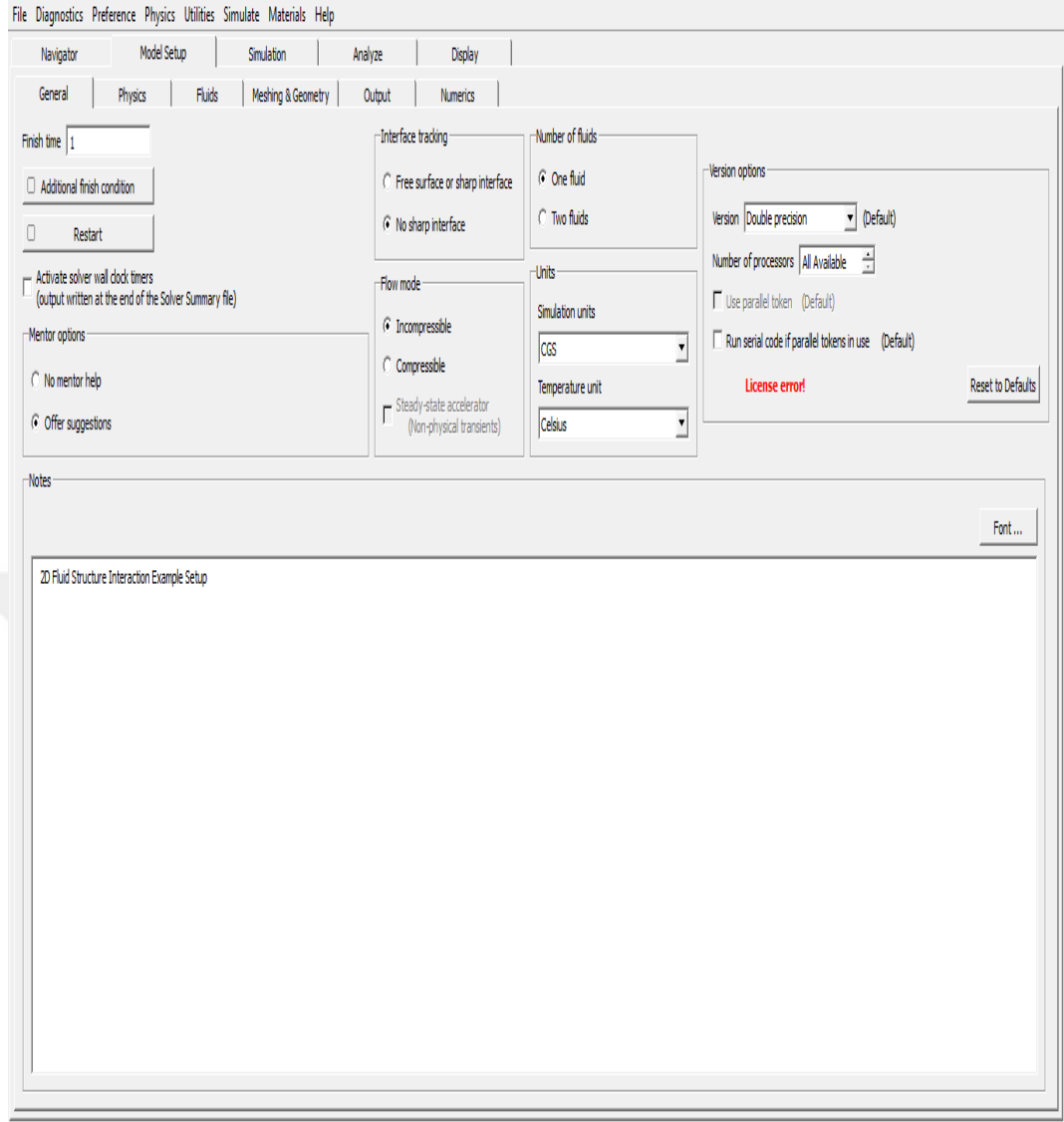
Ağ boyutu seçilirken önemli konulardan birisi topoğrafyaya uygun olması ve gereğinden büyük alınması durumunda meydana gelen hesaplamalardaki sorunlardır. Topoğrafyaya uyumlu olmaması durumunda gereğinde fazla küçük hücreler, simülasyon süresini arttırmaktadır. En-boy oranı seçimi de önemli olup x:y:z, 3:3:1’den büyük oranlardaki çözümlerde sorunlarla karşılaşmaktadır.

Flow 3D ile yapılan çalışmalar ve menüler aşağıda gösterilmiştir. “File” menüsünden “Add New Simulation” seçeneği seçilir. Şekil 5.6’da ekran görüntüsü verilmiştir.



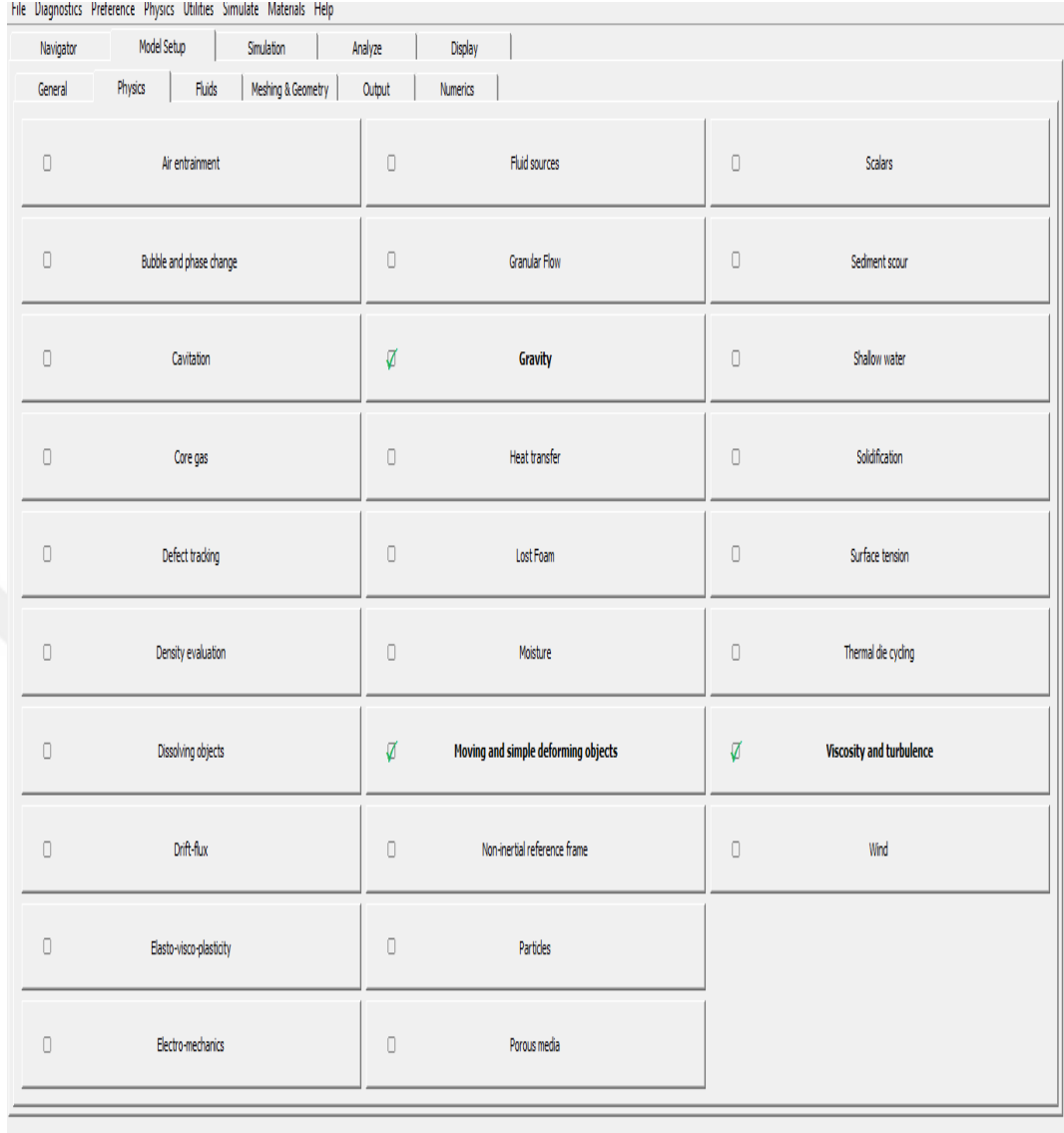
Şekil 5.6 Flow 3D uygulamasının başlatılması

“Model Setup” çubuğundaki “General” menüsünden sisteme ait akışkan sayısı, simülasyonda kullanılacak birim sistemi, simülasyona ait ayarlamalar yapılır. Şekil 5.7’de “General” menüsü gösterilmiştir. Simülasyon sırasında kaç işlemciden yararlanılacağı yine bu kısımdan ayarlanır.



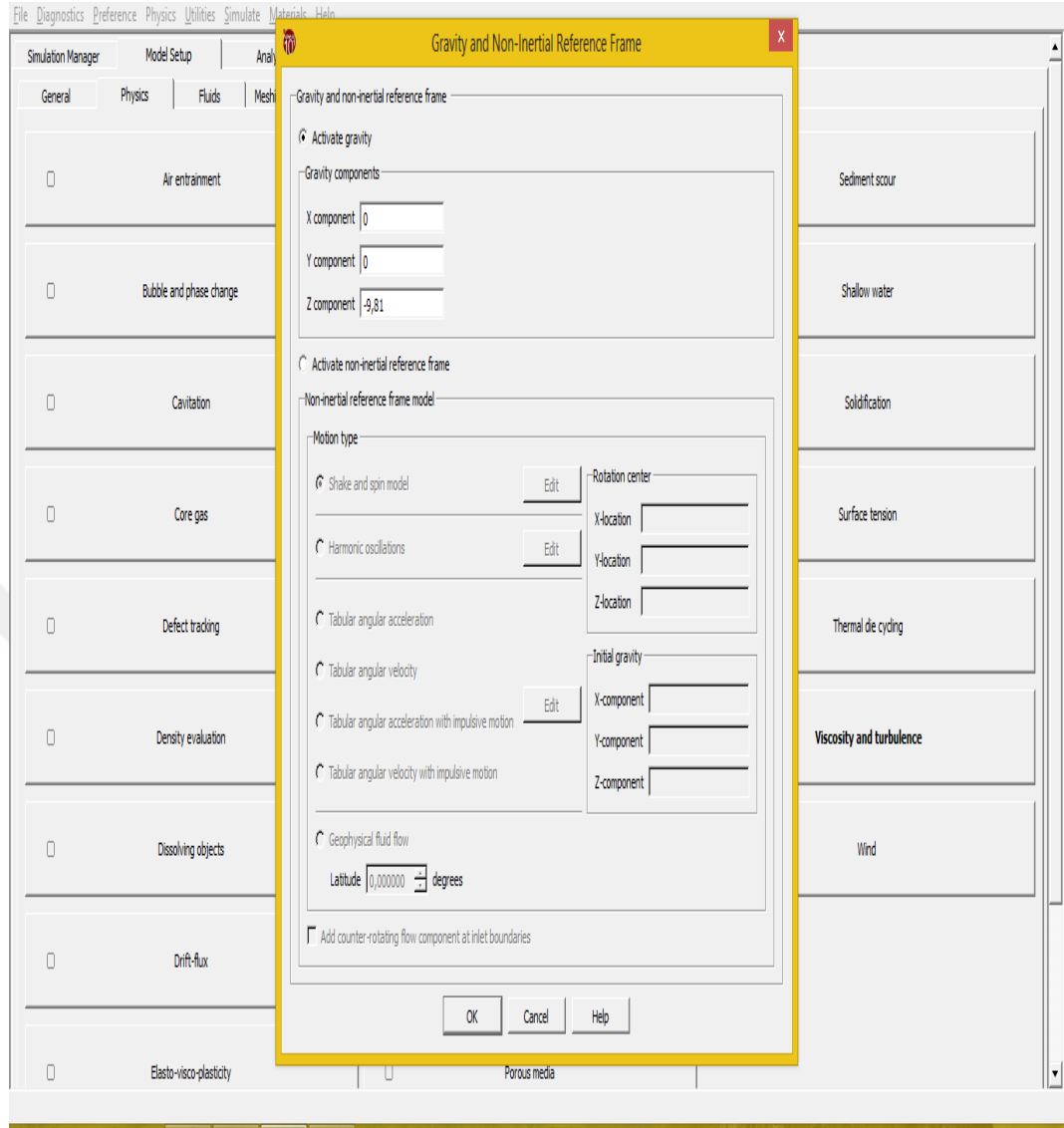
Şekil 5.7 “General” menüsü

Deney koşullarına göre “Gravity-Moving and simple deforming objects-Viscosity and turbulence” seçenekleri seçilmiştir. Şekil 5.8’de Physics çubuğu gösterilmiştir.

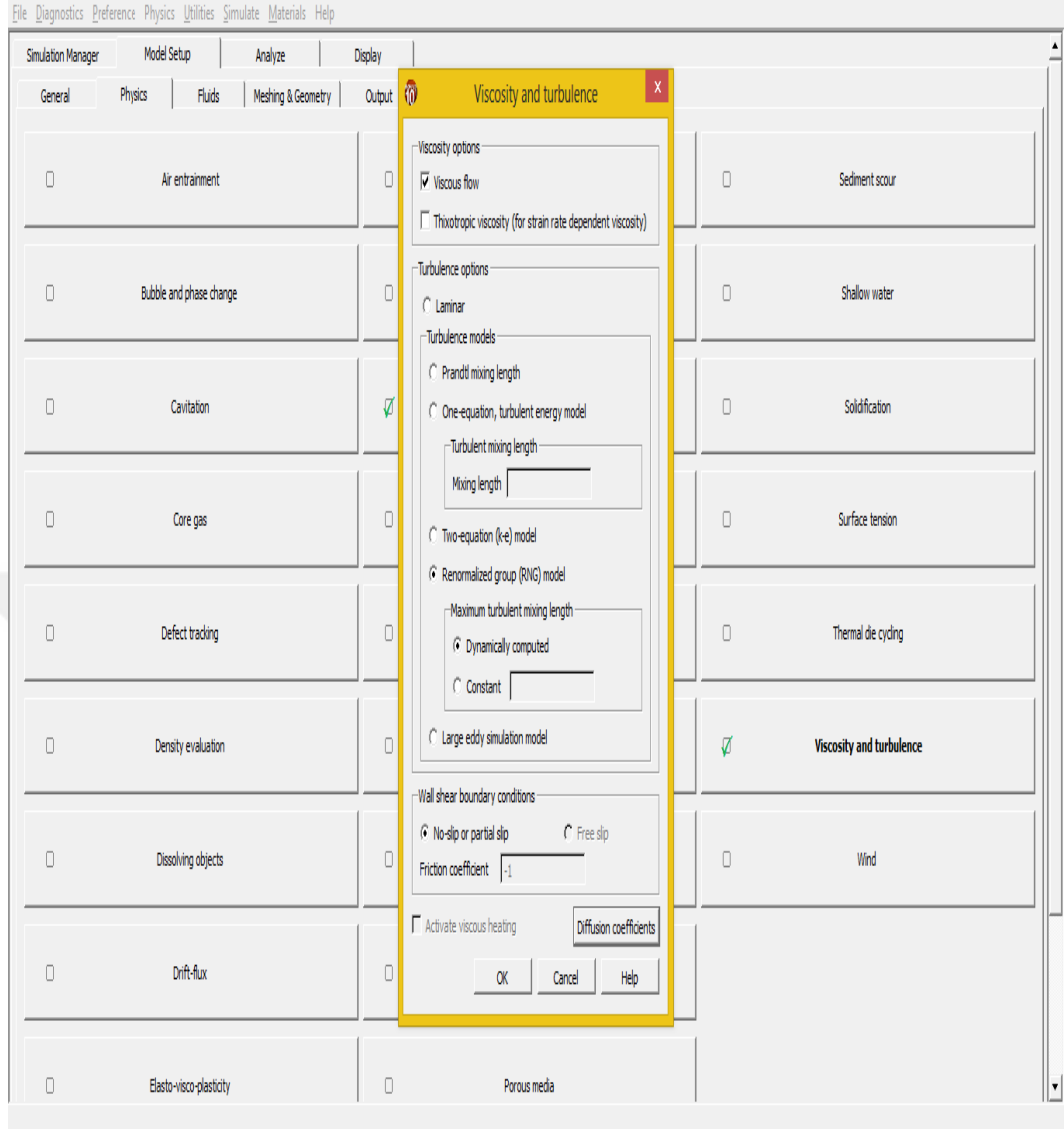


Şekil 5.8 “Physics” sekmesi altındaki menüler

Yerçekimi değeri ve seçilecek türbülans modeli bu kısımdan tanımlanır. $z = -9,81$ m / s² olarak programa tanıtılır. Şekil 5.9’da ve Şekil 5.10’da menüler gösterilmiştir.



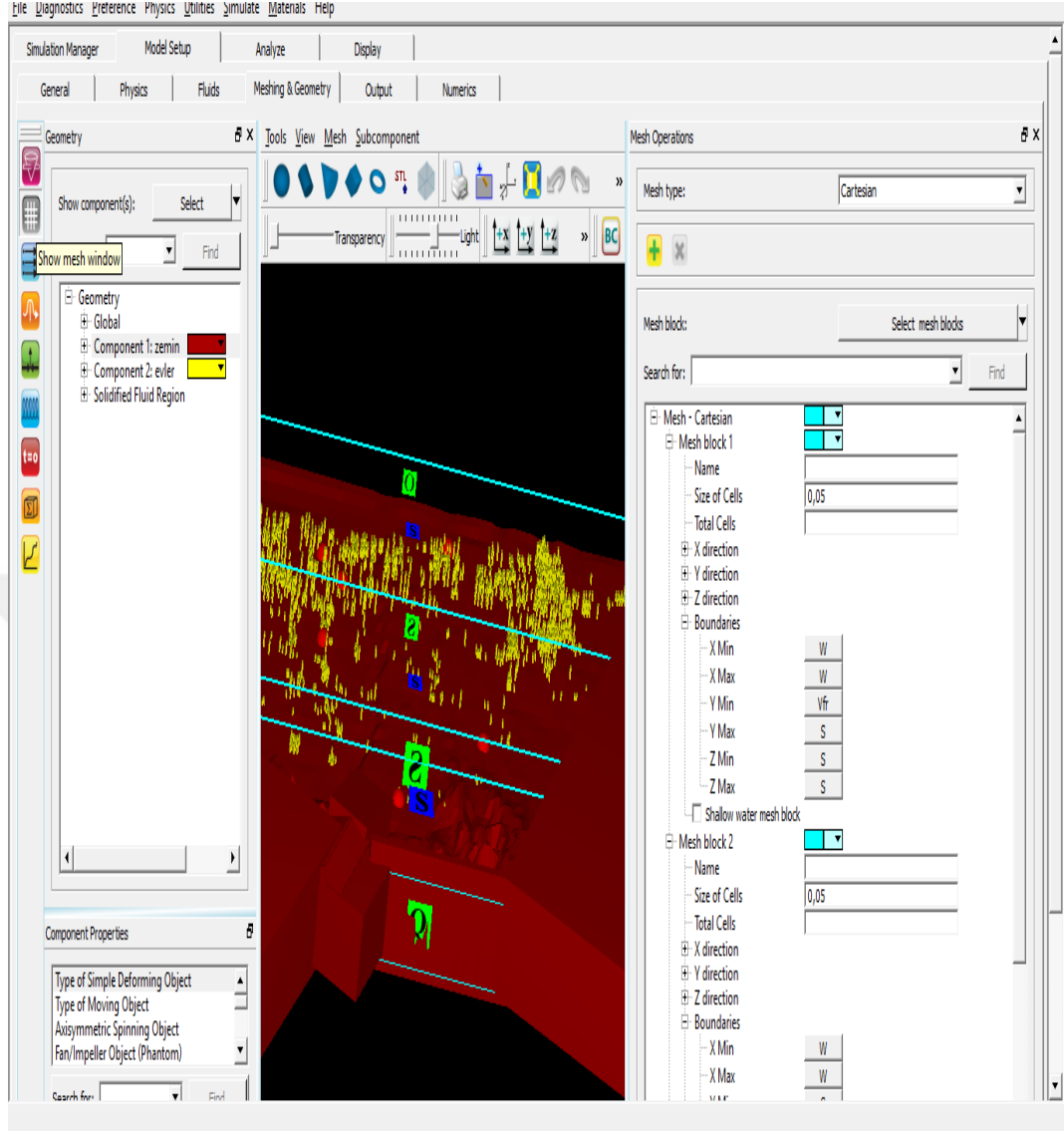
Şekil 5.9 Yerçekimi ivmesinin tanımlandığı menü



Şekil 5.10 Türbülans modelinin seçildiği menü

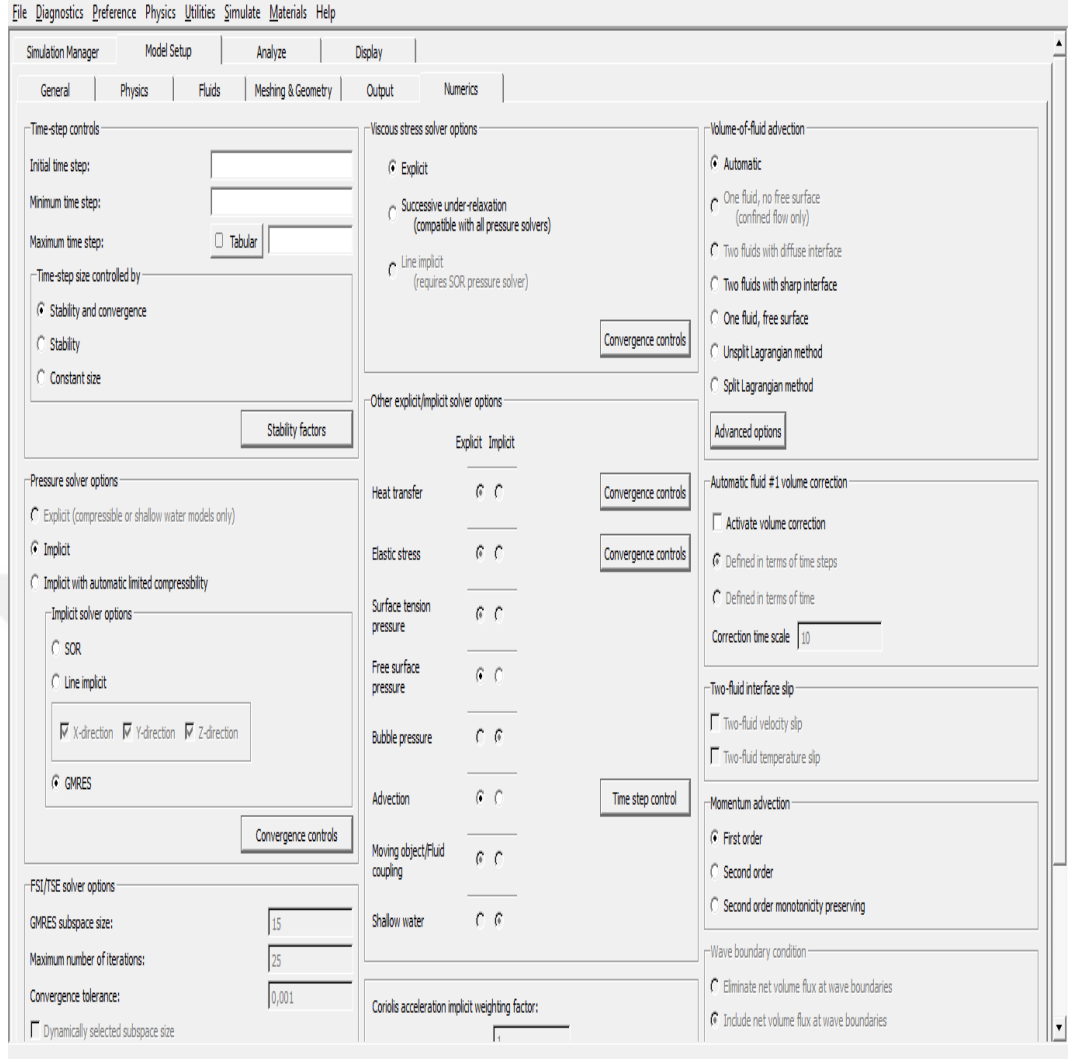
Akışkan sayısı bir olarak seçilmiş ve 20°C deki su olduğu programa aktarılmıştır. “Meshing & Geometry” sekmesi açılınca Bölüm 5.1’deki işlemlerden sonra simülasyon öncesi topoğrafya ve evler programa tanıtılmıştır.

Sol taraftaki hızlı menülerden toplam hesaplama hücreleri sayısı ya da boyut olarak ayarlanır. Farklı bölgelerde ağ sistemi azaltılıp ya da artırılabilir. Pürüzlülük sisteme tanımlanacaksa yine Şekil 5.11’deki kısımlardan aktarılır.



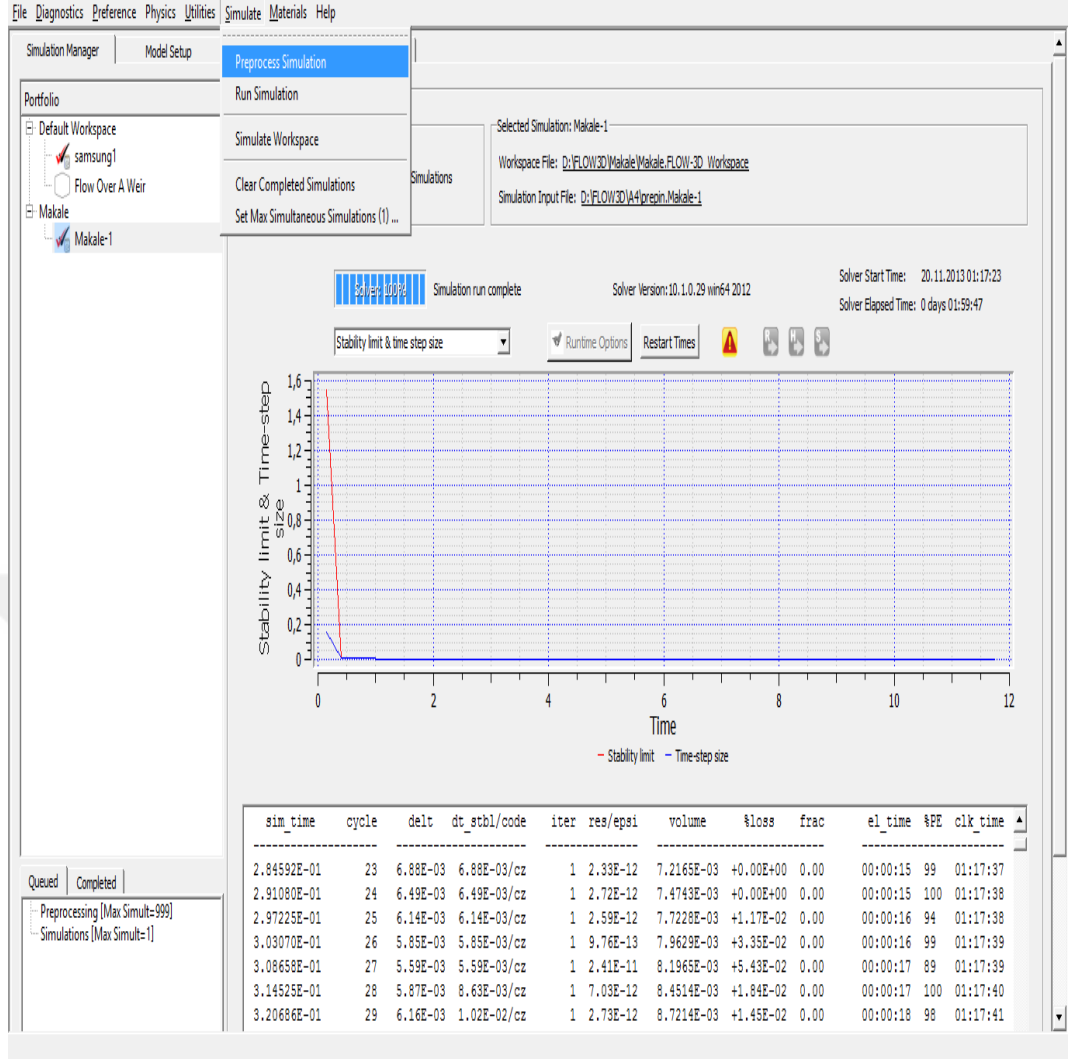
Şekil 5.11 "Mesh and Geometry" sekmesi

Şekil 5.12’de “Output” kısmında simülasyon sonrasında alınması istenen değerler yer almaktadır, akışkan hızı, hidrolik veriler bu seçenekten işaretlenmektedir. Ayrıca veri alma sıklığı, kaydetme süreleri de bu menü altında yapılmaktadır.



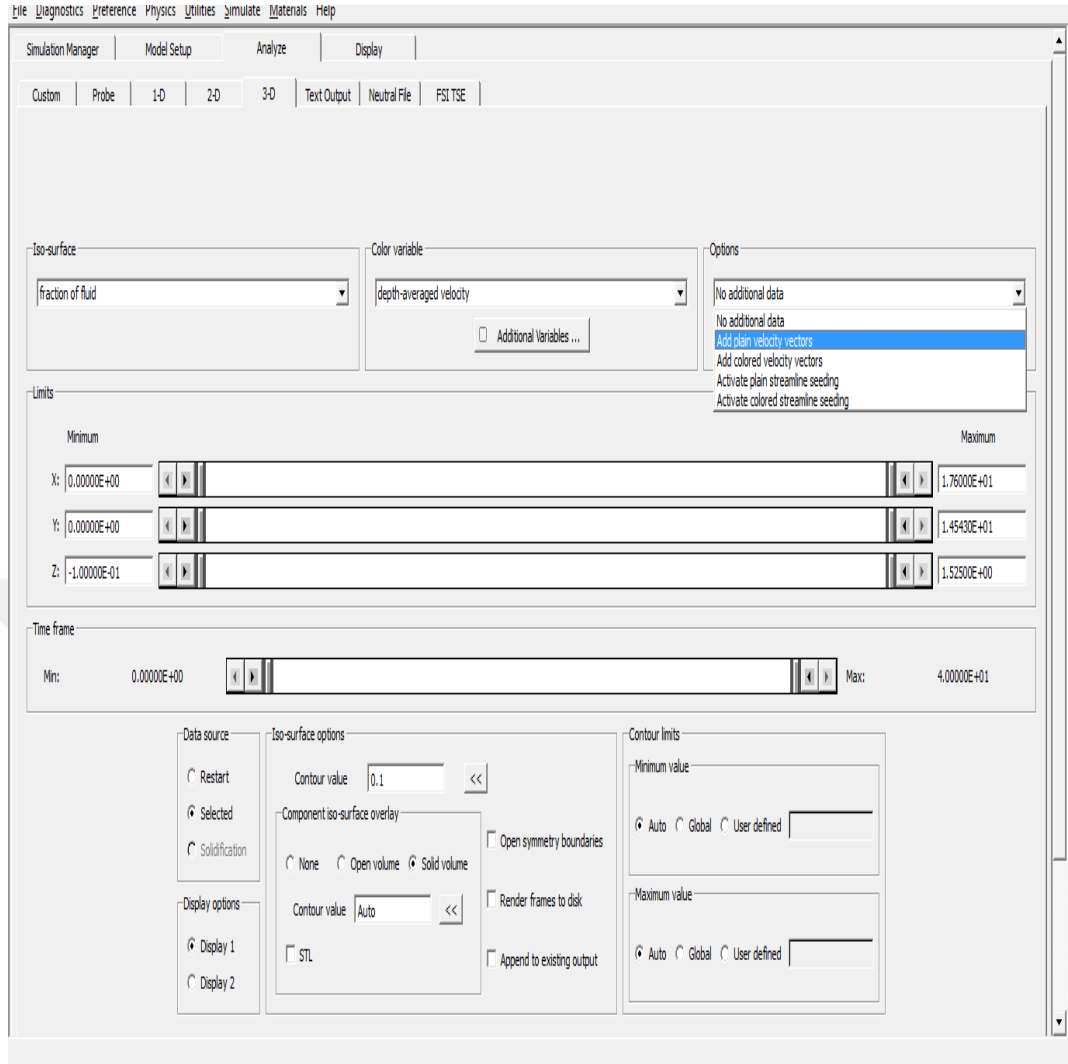
Şekil 5.13 "Numerics" ekranındaki seçenekler

Simülasyon başlangıç şartına deneylerden alınan hidrograf bilgisi ile beraber göl içinde bulunan seviye ölçer değerleri tamamlanmıştır. Bütün model ayarlandıktan sonra “Simulate” menüsü altındaki “preprocess simulation” kısmında test edilir. Kısa sürecek bu kısımda sistemdeki eksikler uyarı ünlem işaretine bakılıp giderildikten sonra “Run Simulation” seçilerek simülasyon başlatılır. Şekil 5.14’te ilgili kısım gösterilmiştir.



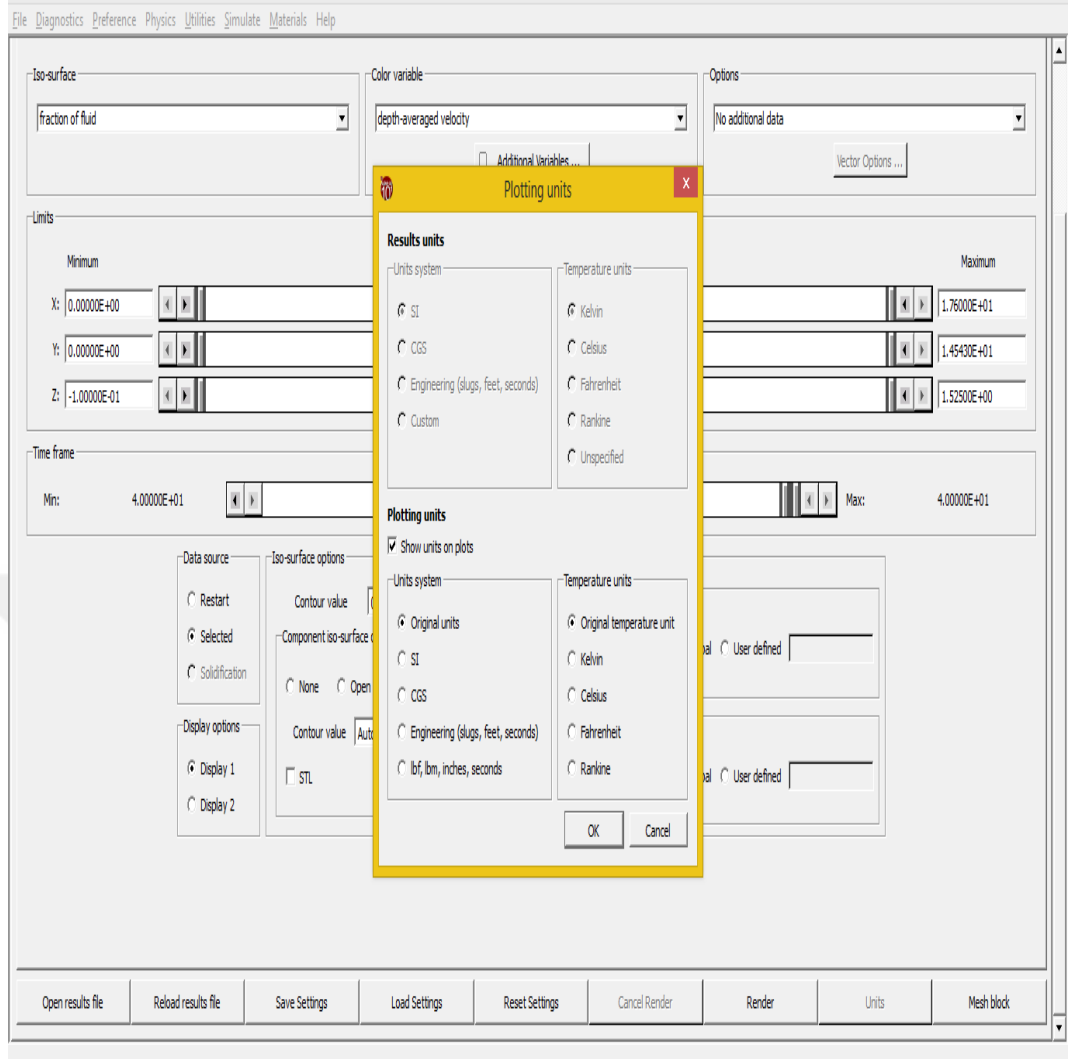
Şekil 5.14 Simülasyonun başlatılması

Şekil 5.15'te simülasyon sonrası ekran görülmektedir. Simülasyon tamamlandıktan sonra analyze-3d sekmesinden “Add plain velocity vectors” seçilir. “Data source” “selected” olarak ayarlanır ve “solid volume” seçeneği işaretlenir.



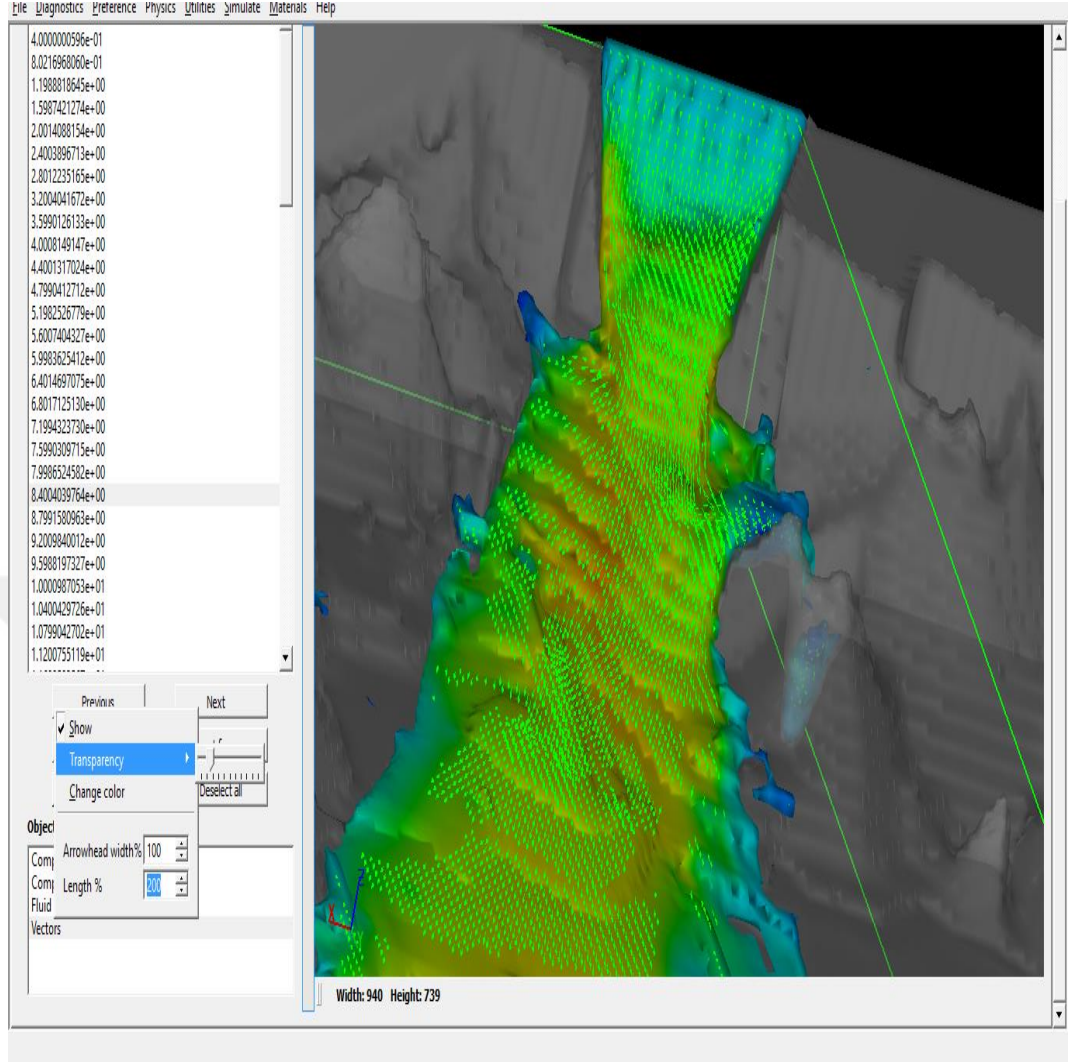
Şekil 5.15 "Display" menüsündeki seçenekler

“Display” menüsündeki diğer bir ayar da program çıktılarında verilecek birimlerin gösterilmesi ile ilgilidir. Sağ alt kısımda yer alan “Units” açılarak birimleri üzerinde göster seçeneği işaretlenmelidir. Şekil 5.16’da “Plotting units” menüsü görünmektedir.



Şekil 5.16 "Display" menüsünde birimlerin belirlenmesi

“Display” ekranının solunda istenen zaman, sağdaki ekrandan istenen konum fare ile ayarlanır. “Vector” sağ tıklanarak istenen “Vector” ayarı (Uzunluk, genişlik, renk ve saydamlık) yapılır. Bu işlemler Şekil 5.17’de gösterilmiştir.



Şekil 5.17 "Analyze" ekranı

Simülasyonlarda kullanılan hücre boyutları x, y ve z doğrultularında 3 cm, 3 cm ve 1 cm olarak seçilmiştir. Flow 3D yazılımında mevcut olan türbülans modellerinden büyük çevrinti (Large Eddy simulation), RNG (Renormalized Group) ve iki denklem ($k - \epsilon$ model) kullanılarak sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir.

Simülasyonlarda simülasyonları hızlandırmak için 25 m/s'den daha büyük hızların dikkate alınması şeklinde bir sınır şartı eklenmiştir. Flow Sight ham çıktısı örneği Ek 3'te verilmektedir.

BÖLÜM ALTI

SAYISAL ÇÖZÜM SONUÇLARI ve DENEYSEL BULGULAR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Sayısal çözümler aşağıdaki üç farklı yaklaşım kullanılarak gerçekleştirilmiştir:

1. Mansap bölgesinde evlerin ve bitki örtüsünün yoğunluğuna bağlı olarak farklı pürüzlülüklere sahip alt bölgeler oluşturulması ve memba sınır şartı olarak taşkın hidrografi tanımlanması.

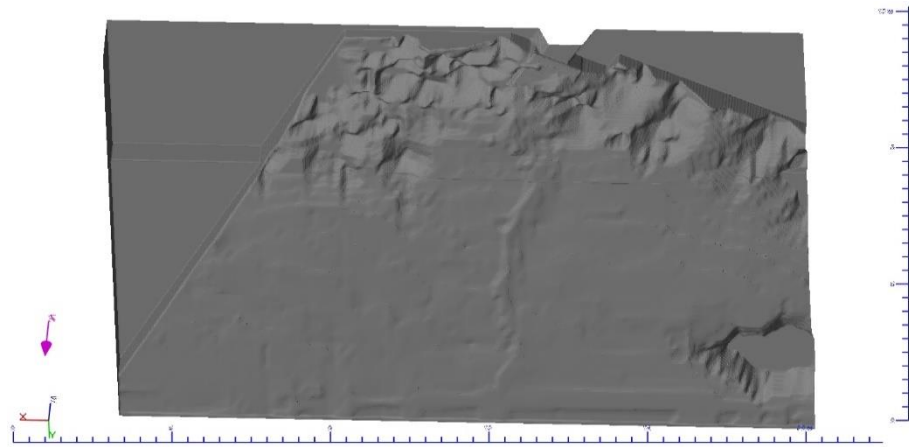
2. Mansap bölgesinde zemin pürüzlülüğüne ilave olarak evlerin teker teker tanıtılması ve memba sınır şartı olarak taşkın hidrografi tanımlanması.

3. Mansap bölgesindeki evlerin teker teker topografyada tanıtılması ve membadaki baraj gölünün geometrik ve hidrolik özelliklerinin tanımlanması.

İlk başta 90 saniye alınan simülasyon süreleri zamanla azaltılarak 40, 25, 20 ve 10 saniyelere kadar düşürülmüştür.

6.1 Trapez Gedik Durumunda Elde Edilen Sonuçlar

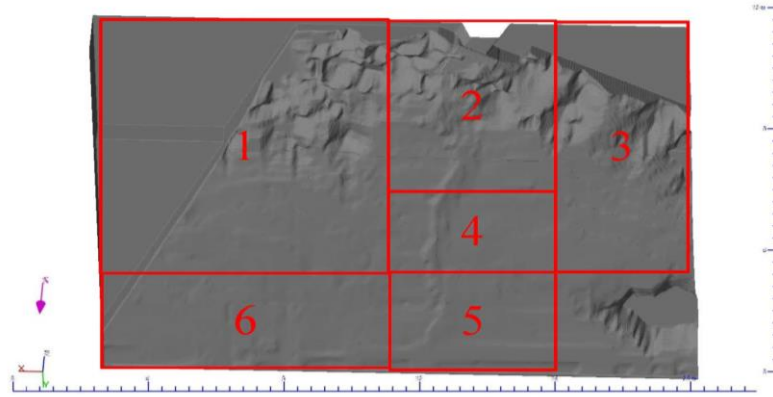
Şekil 6.1’de trapez gedik simülasyonlarının yapıldığı mansap bölgesi yer almaktadır.



Şekil 6.1 Simülasyonlarda tanıtılmış mansap bölgesi (Trapez gedik)

6.1.1 Farklı Pürüzlülük Bölgeleri ve Taşkın Hidrografi Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler

Şekil 6.2’de pürüzlülük bölgelerine ayrılan mansap gösterilmiştir. Ev yoğunluğu ve topoğrafya dikkate alınarak altı alt bölgeye ayrılmış mansap üzerinde sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Bulunan sonuçlar başlangıç koşulu seçilen deneyde elde edilen hidrografa ait deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Farklı pürüzlülük değerleri ile taşkın dalgalarının yayılması araştırılmıştır. Ev ve ağaç yoğunluğunun çok olduğu bölgelere yüksek pürüzlülük değerleri verilip simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Sol sahilde yer alan tepeliğin arkasına taşkın dalgası ulaşmadığı için ilave pürüzlülük girilmemiştir. Pürüzlülük değerleri Tablo 6.1’de verilmektedir. Aynı durum üçgen gedik ve ani yıkılma durumunda da geçerlidir.



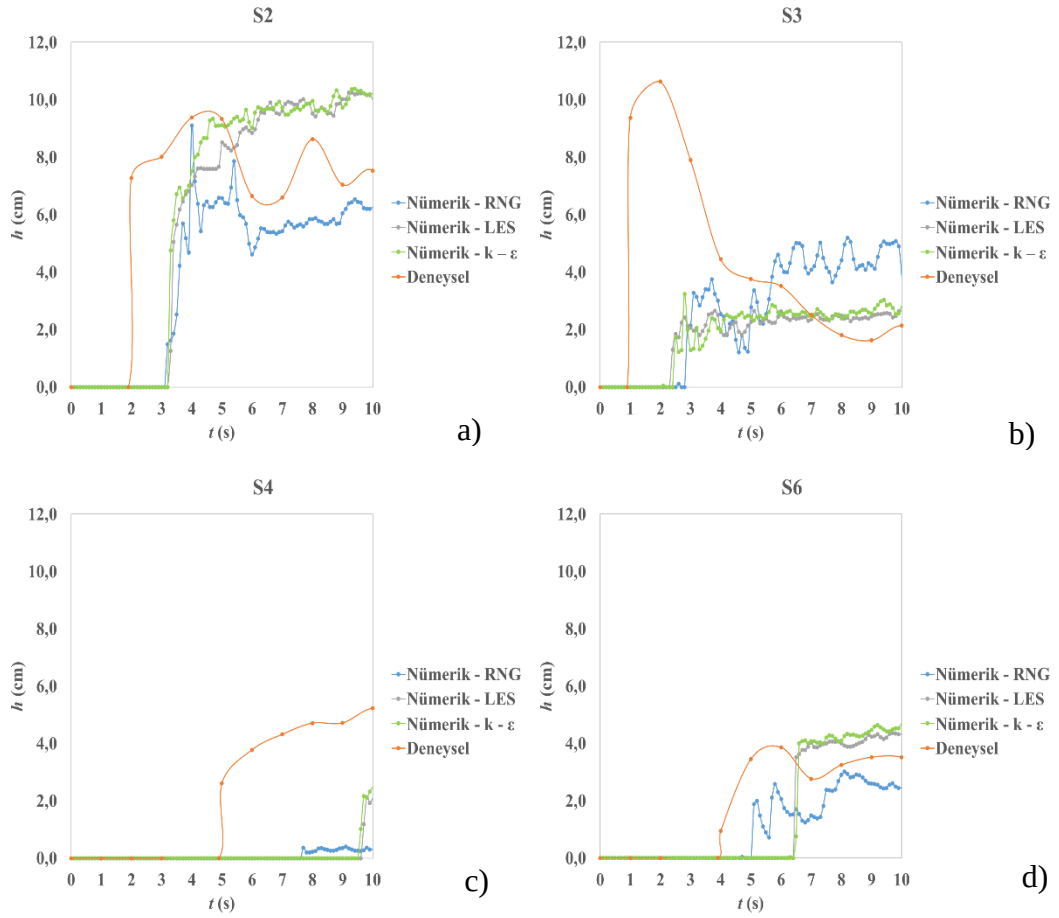
Şekil 6.2 Pürüzlülük değerlerinin verildiği alt bölgeler (Trapez gedik)

Tablo 6.1 Alt bölgelerin pürüzlülük değerleri

Bölge	Pürüzlülük Değeri (m)
1	0,001
2	0,002
3	0,002
4	0,002
5	0,005
6	0,003

6.1.1.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar

Mansap bölgesindeki dört seviye ölçerden alınan su derinliği - zaman grafikleri Şekil 6.3 (a) (b) (c) (d)’de verilmektedir.



Şekil 6.3 Trapez gedik deneyleri farklı pürüzlülük (a) S2, (b) S3, (c) S4 ve (d) S6 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafikleri

6.1.1.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar

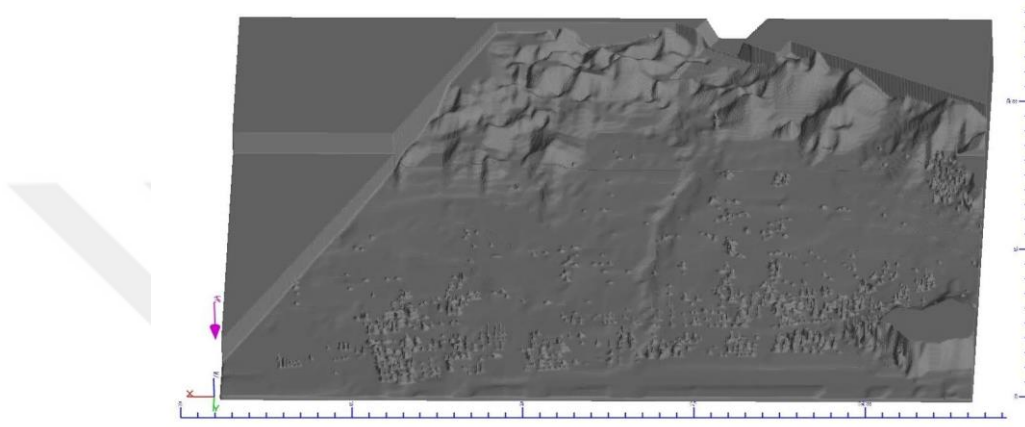
Taşkın dalgasının mansapta ulaştığı bölgeler ve süreler Tablo 6.2’de gösterilmektedir.

Tablo 6.2 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Farklı pürüzlülük – trapez gedik)

Ulaşılan Yer	Nümerik (RNG)	Nümerik (LES)	Nümerik (k- ϵ)	Deneyisel
S2 (s)	3	3	3	2
S3 (s)	3	2	2	1
S4 (s)	7	9	9	5
S6 (s)	5	6	6	4

6.1.2 Evler, Zemin Pürüzlülüğü ve Taşkın Hidrografi Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler

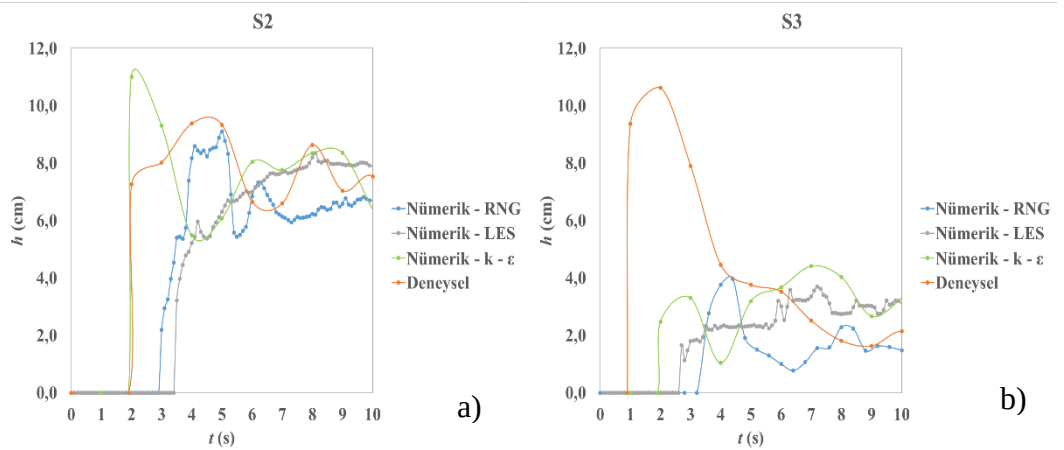
Şekil 6.4'te zemin pürüzlülüğü tanımlı mansap ve evler gösterilmektedir. Zemin pürüzlülüğü 1 mm alınmıştır. Evlerin etkisi mesh boyutunun düşürülmesiyle artmaktadır ancak simülasyon süresini uzatmaktadır. Üçgen gedik ve ani yıkılma senaryolarında da aynı koşullar geçerlidir.



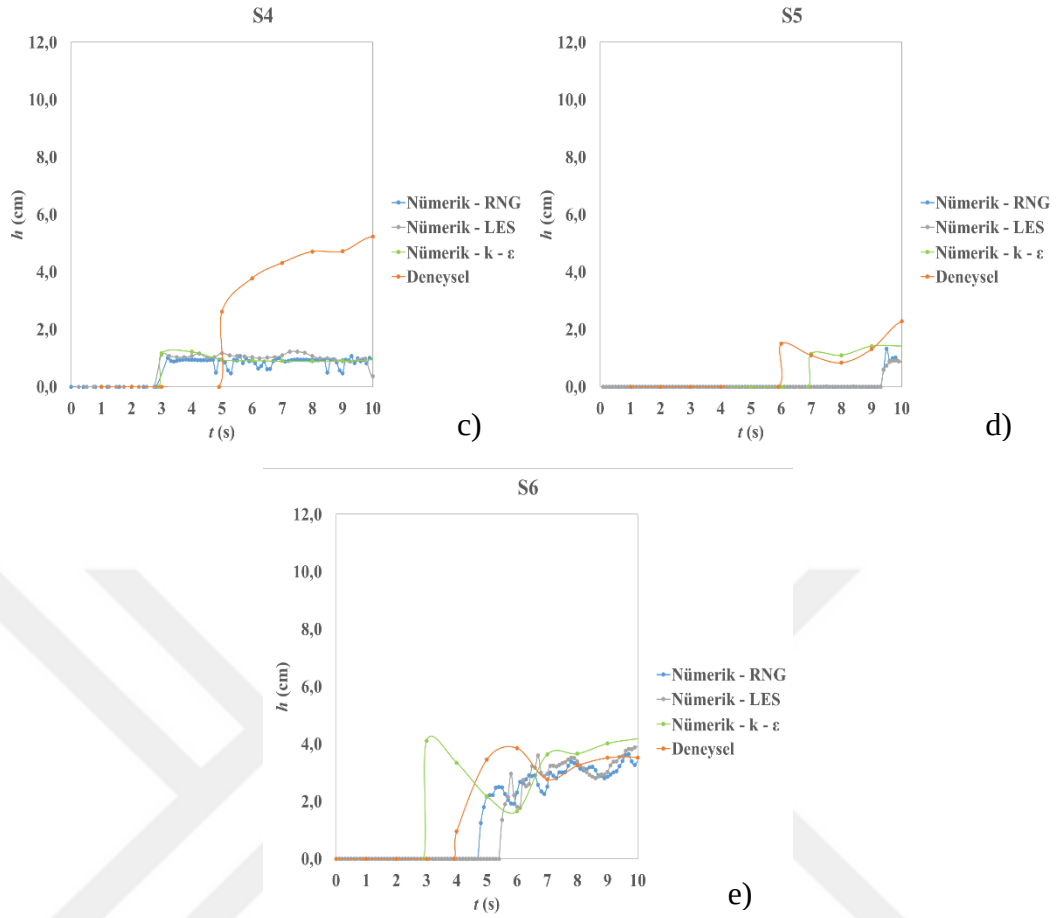
Şekil 6.4 Hem ev hem zemin pürüzlülüğü tanımlanmış mansap bölgesi (Trapez gedik)

6.1.2.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar

Mansap bölgesindeki beş farklı seviye ölçerden alınan su derinliği - zaman grafikleri Şekil 6.5 (a) (b) (c) (d) (e)'de gösterilmektedir.



Şekil 6.5 Trapez gedik deneyleri zemin pürüzlülüğü ve evler tanımlı mansaptaki (a) S2, (b) S3, (c) S4, (d) S5 ve (e) S6 seviye ölçerlere ait derinlik - zaman grafikleri



Şekil 6.5 devamı

6.1.2.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar

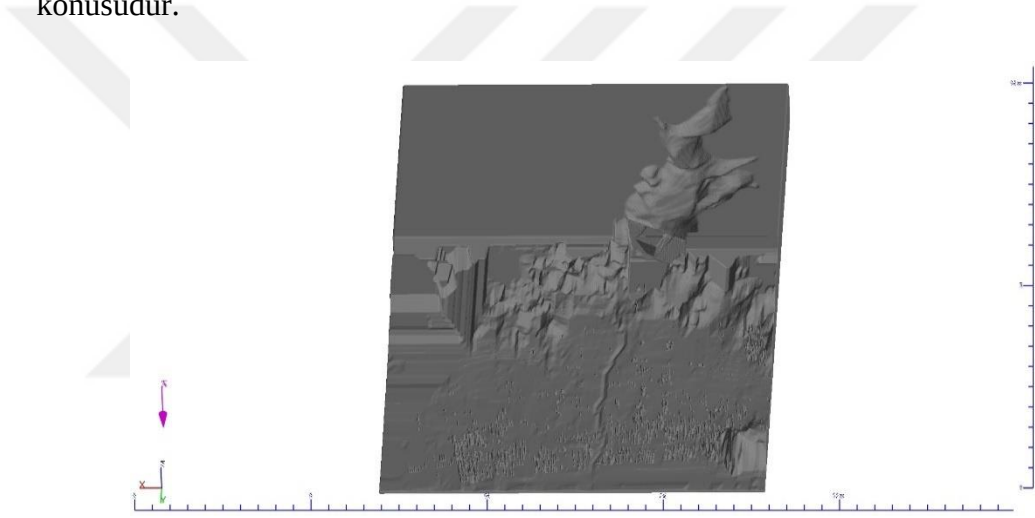
Taşkın dalgasının mansapta ulaştığı bölgeler ve süreler Tablo 6.3'te yer almaktadır.

Tablo 6.3 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Pürüzlülük ve evler birlikte – trapez gedik)

Ulaşılan Yer	Nümerik (RNG)	Nümerik (LES)	Nümerik (k-ε)	Deneysel
S2 (s)	3	3	2	2
S3 (s)	3	3	2	1
S4 (s)	3	3	3	5
S5 (s)	9	9	7	6
S6 (s)	5	5	3	4

6.1.3 Göl Topoğrafyası Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler

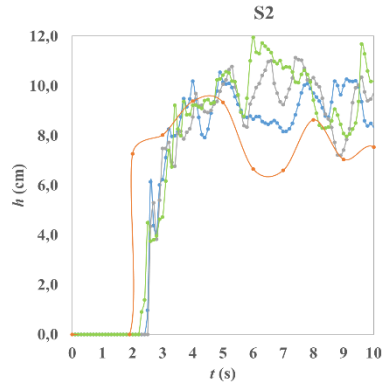
Baraj gölü ile birlikte kapak kaldırılma hızı simülasyonlara eklenmiştir. Böylelikle önceki yaklaşımlarda S1 seviye ölçer kayıtlarıyla belirlenmiş olan taşkın hidrografı bu yaklaşımda göldeki su seviyeleri ile belirlenmiştir. Şekil 6.6'da memba ve mansap bölgesi verilmektedir. Göl topoğrafyası İZSU ve DSİ haritalarından faydalanarak kesitlerin birleştirilmesiyle hem modele hem de .stl formatında Flow 3D'ye aktarılmıştır. Deneylerden alınan hidrograf yerine kapak kaldırılması süresinin dahil edilmesiyle yapılan deneylere daha yakın ve gerçeğe daha çok yansıtan durum oluşturulmuştur. Üçgen gedik ve ani yıkılma koşullarında da aynı durum söz konusudur.



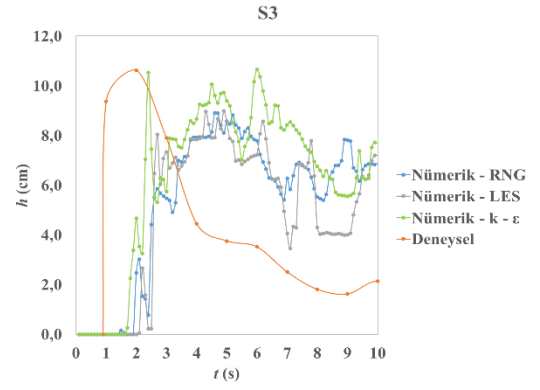
Şekil 6.6 Göl topoğrafyası ve mansap kısımları ile birlikte kapak mekanizması eklenmiş trapez çözüm ekranı

6.1.3.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar

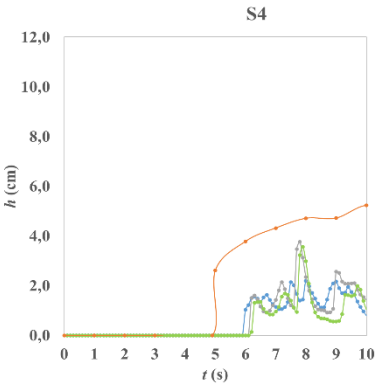
Mansap bölgesindeki altı farklı seviye ölçerden alınan su derinliği - zaman grafikleri Şekil 6.7 (a) (b) (c) (d) (e) (f)'de yer almaktadır.



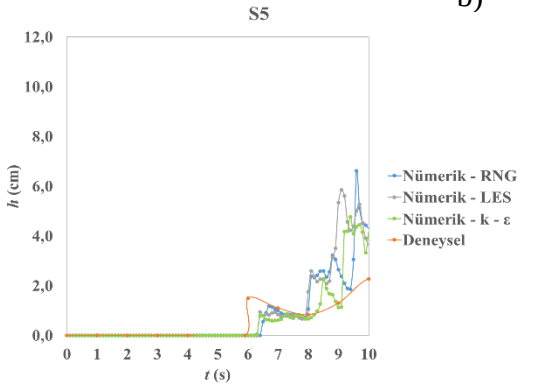
a)



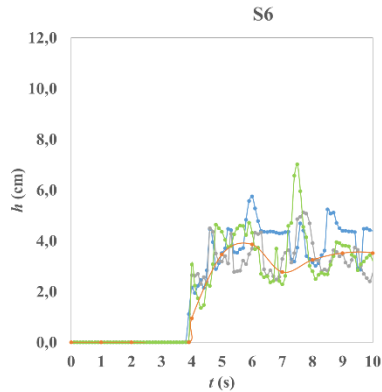
b)



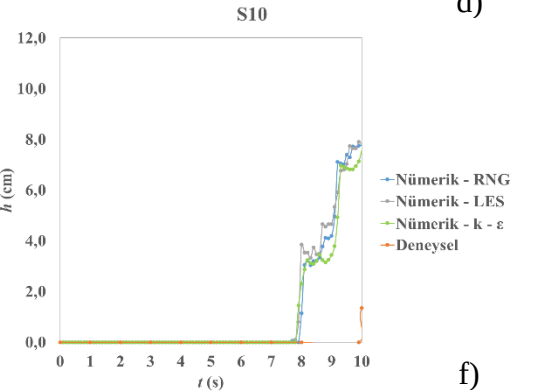
c)



d)



e)



f)

Şekil 6.7 Trapez gedik deneyleri göl topoğrafyası tanıtılmış (a) S2, (b) S3, (c) S4, (d) S5, (e) S6 ve (f) S10 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafiği

6.1.3.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar

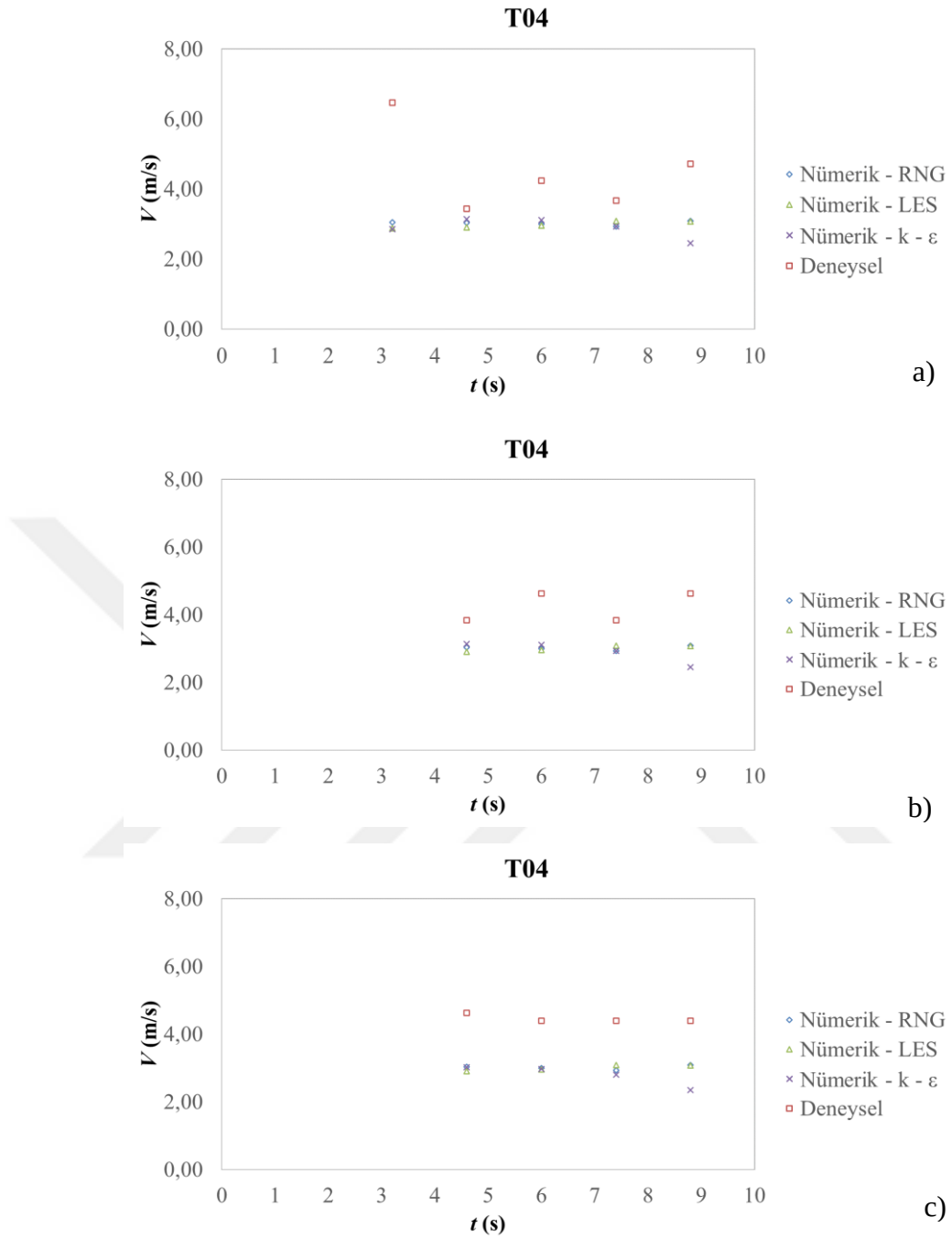
Taşkın dalgasının mansapta ulaştığı bölgeler ve süreler Tablo 6.4'te gösterilmektedir.

Tablo 6.4 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Göl topoğrafyası ve evler birlikte – trapez gedik)

Ulaşılan Yer	Nümerik (RNG)	Nümerik (LES)	Nümerik (k-ε)	Deneyisel
S2 (s)	2	2	2	2
S3 (s)	2	2	2	1
S4 (s)	6	6	6	5
S5 (s)	6	6	6	6
S6 (s)	4	4	4	4
S10 (s)	8	8	8	10

6.1.3.3 Noktasal Hızlar ile İlgili Sonuçlar

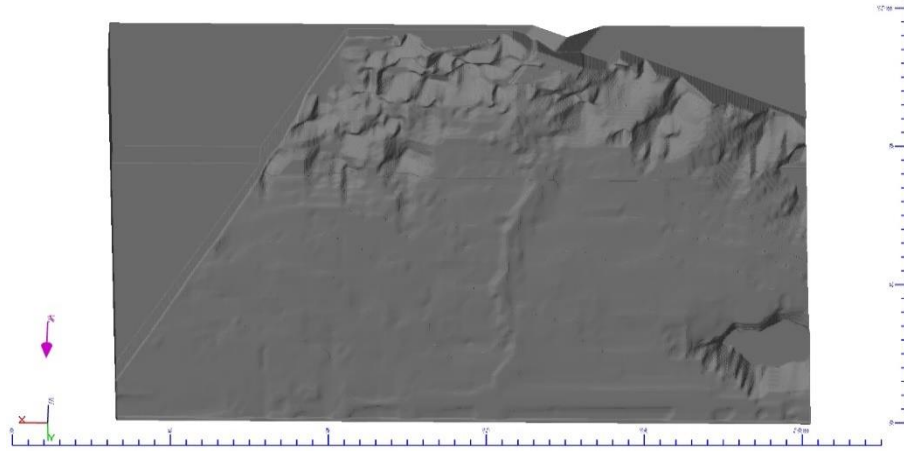
T04 algılayıcısından elde edilen deneysel ve nümerik sonuçlar Şekil 6.8’de gösterilmektedir. Bu hızlar su derinliğinin 9 cm olduğu bir trapez gedik deneyinde tabandan 1 cm, 2 cm ve 3 cm yükseklikteki noktasal hızlardır. Göl topoğrafyası tanımlanmış simülasyonlardaki hızlar deneysel bulgularla birlikte grafikte yer almaktadır. Şekil 6.8 (a) (b) (c)’de gösterilen nümerik hızlar bileşke hızın UVP doğrultusu üzerindeki izdüşümlerine karşılık gelmektedir. Vektörlerin skaler çarpımı formülünün kullanıldığı hesap yöntemine ait uygulama örneği Ek 4’te verilmektedir.



Şekil 6.8 (a) Tabandan 1 cm, (b) 2 cm ve (c) 3 cm yukarıda noktasal hız - zaman grafiği (Trapez gedik)

6.2 Üçgen Gedik Durumunda Elde Edilen Sonuçlar

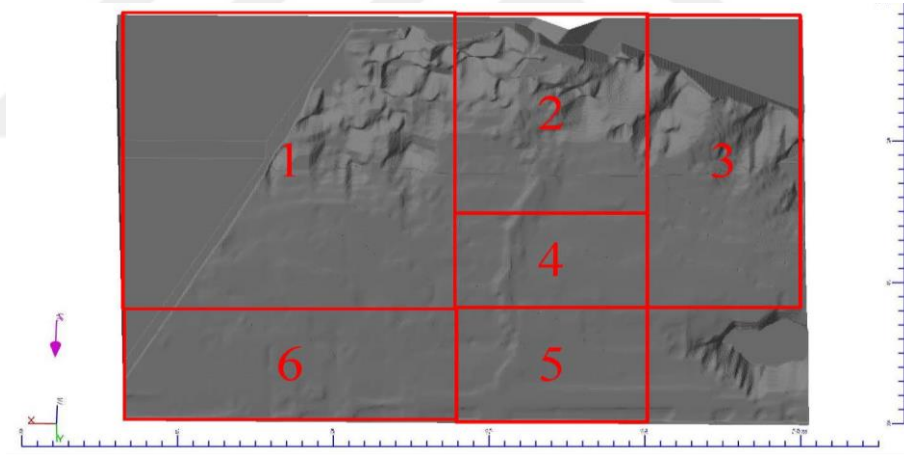
Şekil 6.9'da üçgen gedik simülasyonlarının yapıldığı mansap bölgesi yer almaktadır.



Şekil 6.9 Simulasyonlarda tanıtılmış mansap bölgesi (Üçgen gedik)

6.2.1 Farklı Pürüzlülük Bölgeleri Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler

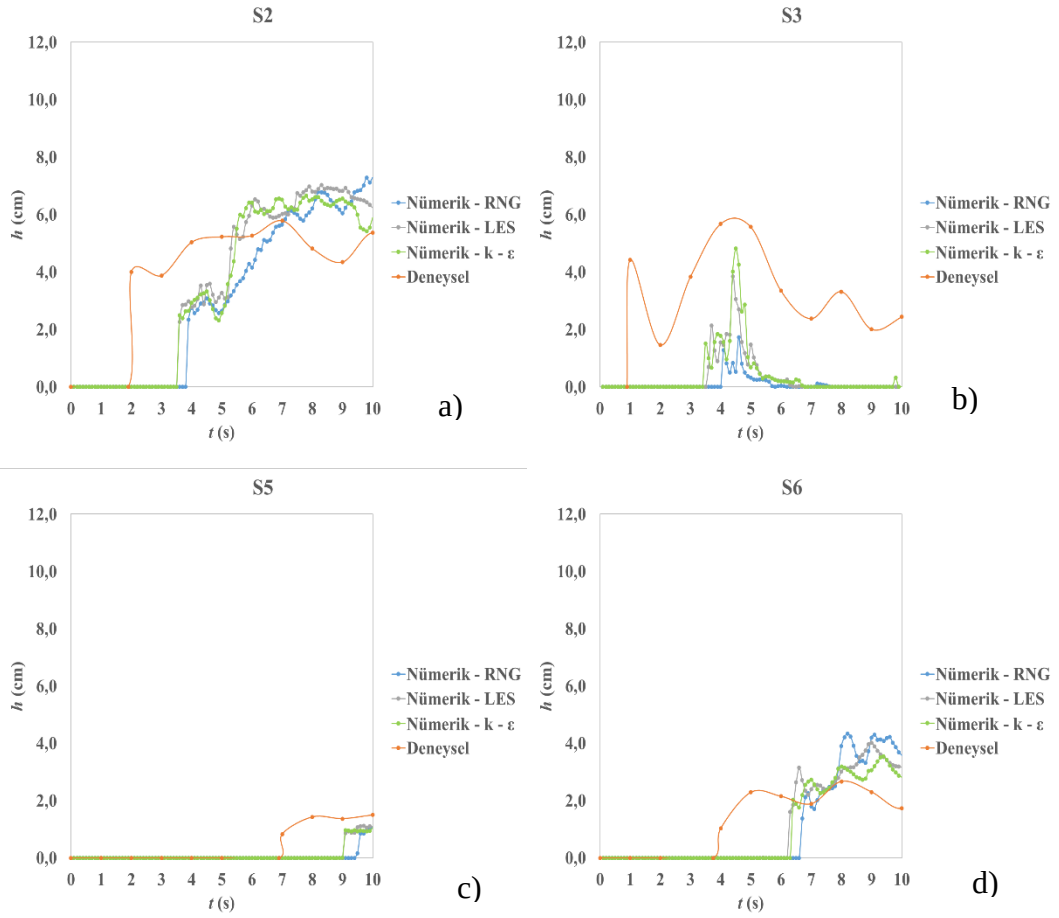
Şekil 6.10’da pürüzlülük bölgelerine ayrılan mansap üçgen gedik hali için gösterilmektedir.



Şekil 6.10 Pürüzlülük değerlerinin verildiği alt bölgeler (Üçgen gedik)

6.2.1.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar

Mansap bölgesindeki dört seviye ölçerden alınan su derinliği - zaman grafikleri Şekil 6.11 (a) (b) (c) (d)’de verilmektedir.



Şekil 6.11 Üçgen gedik deneyleri farklı pürüzlülük (a) S2, (b) S3, (c) S5 ve (d) S6 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafikleri

6.2.1.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar

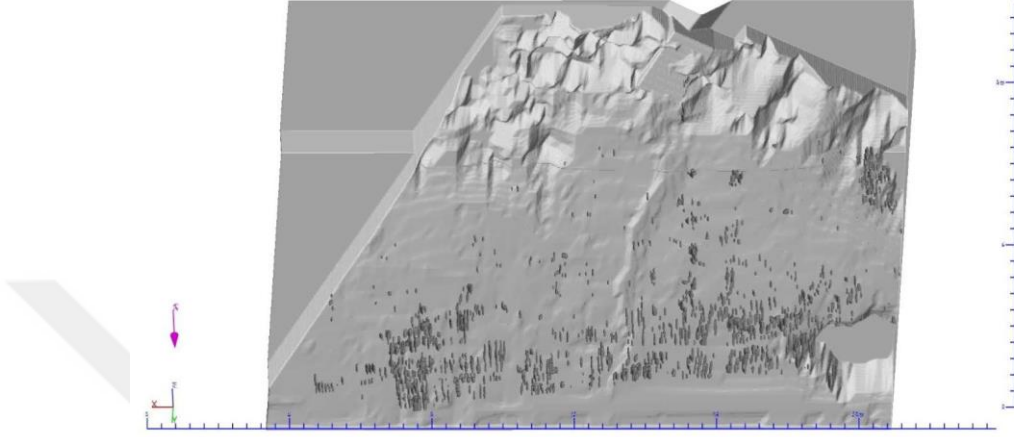
Taşkın dalgasının mansapta ulaştığı bölgeler ve süreler Tablo 6.5'te gösterilmektedir.

Tablo 6.5 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Farklı pürüzlülük – üçgen gedik)

Ulaşılan Yer	Nümerik (RNG)	Nümerik (LES)	Nümerik (k-ε)	Deneyisel
S2 (s)	4	4	4	2
S3 (s)	4	3	3	1
S5 (s)	9	9	9	7
S6 (s)	6	6	6	4

6.2.2 Evler, Zemin Pürüzlülüğü ve Taşkın Hidrografı Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler

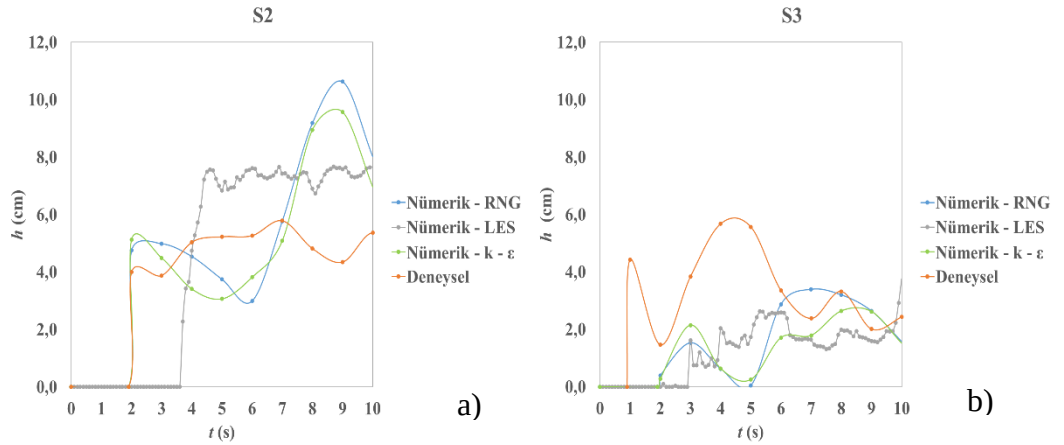
Şekil 6.12’de zemin pürüzlülüğü tanımlı mansap üçgen gedik hali için verilmektedir.



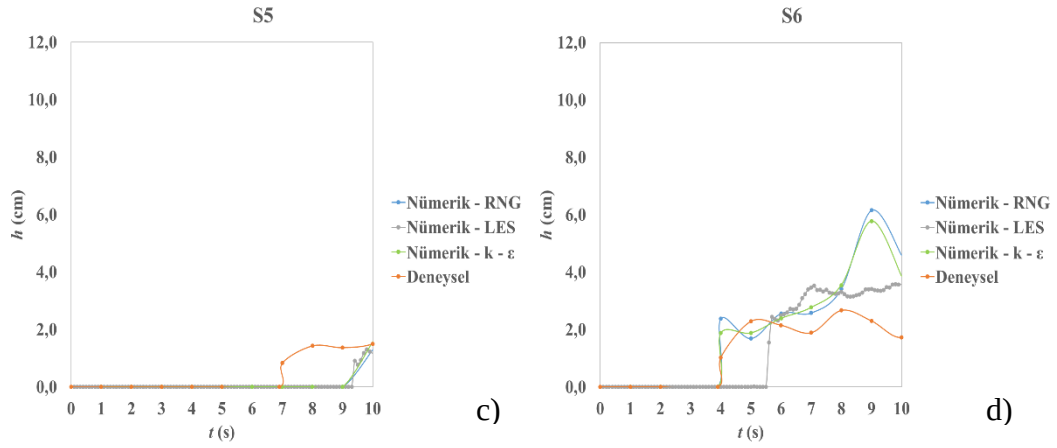
Şekil 6.12 Hem ev hem zemin pürüzlülüğü tanımlanmış mansap bölgesi (Üçgen gedik)

6.2.2.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar

Mansap bölgesinde dört seviye ölçerden alınan su derinliği - zaman grafikleri Şekil 6.13 (a) (b) (c) (d)’de gösterilmektedir.



Şekil 6.13 Üçgen gedik deneyleri zemin pürüzlülüğü ve evler tanımlanmış mansaptaki (a) S2, (b) S3, (c) S5 ve (d) S6 seviye ölçerlere ait derinlik - zaman grafikleri



Şekil 6.13 devamı

6.2.2.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar

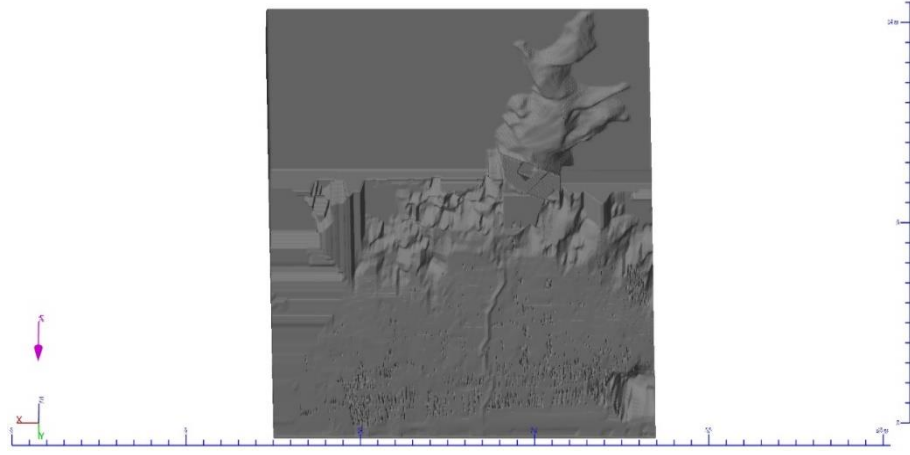
Taşkın dalgasının mansapta ulaştığı bölgeler ve süreler Tablo 6.6’da gösterilmektedir.

Tablo 6.6 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Farklı pürüzlülük ve evler birlikte – üçgen gedik)

Ulaşılan Yer	Nümerik (RNG)	Nümerik (LES)	Nümerik (k-ε)	Deneyssel
S2 (s)	2	3	2	2
S3 (s)	2	3	2	1
S5 (s)	9	9	9	7
S6 (s)	4	5	4	4

6.2.3 Göl Topoğrafyası Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler

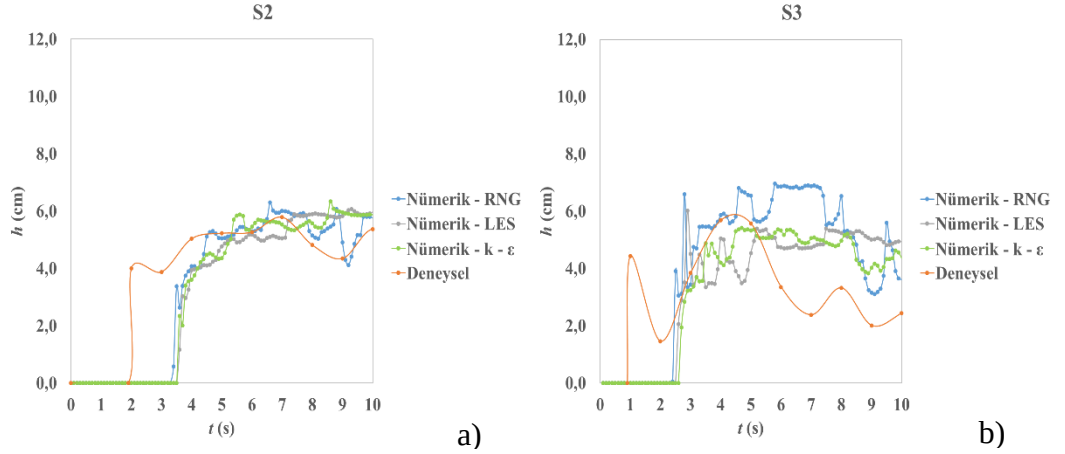
Şekil 6.14’te baraj gölü ve mansap bölgesi verilmektedir.



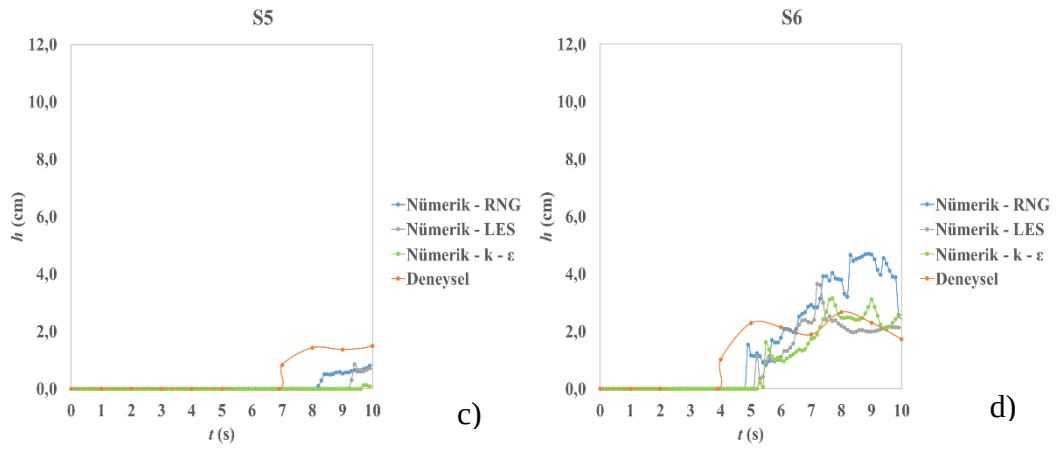
Şekil 6.14 Göl topoğrafyası ve mansap kısımları ile birlikte kapak mekanizması eklenmiş üçgen çözüm ekranı

6.2.3.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar

Mansap bölgesinde dört seviye ölçerden zamana bağlı alınan su derinliği grafikleri Şekil 6.15 (a) (b) (c) (d)'de yer almaktadır.



Şekil 6.15 Üçgen gedik deneyleri göl topoğrafyası tanıtılmış (a) S2, (b) S3, (c) S5 ve (d) S6 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafikleri



Şekil 6.15 devamı

6.2.3.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar

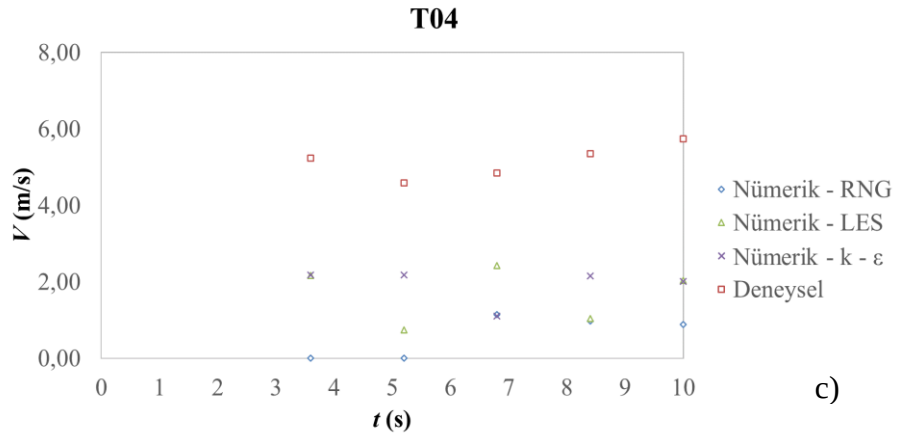
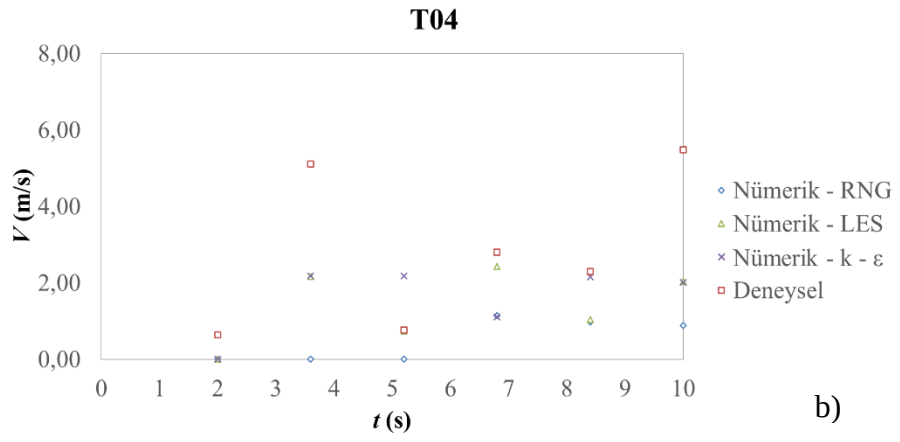
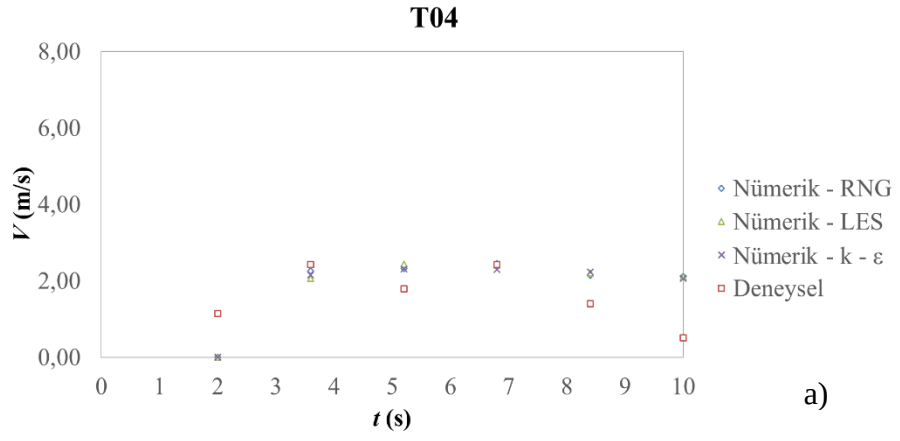
Taşkın dalgasının mansapta ulaştığı bölgeler ve süreler Tablo 6.7’de gösterilmektedir.

Tablo 6.7 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Göl topoğrafyası ve evler birlikte – üçgen gedik)

Ulaşılan Yer	Nümerik (RNG)	Nümerik (LES)	Nümerik (k-ε)	Deneysel
S2 (s)	3	3	3	2
S3 (s)	2	2	2	1
S5 (s)	8	9	9	7
S6 (s)	5	5	5	4

6.2.3.3 Noktasal Hızlar ile İlgili Sonuçlar

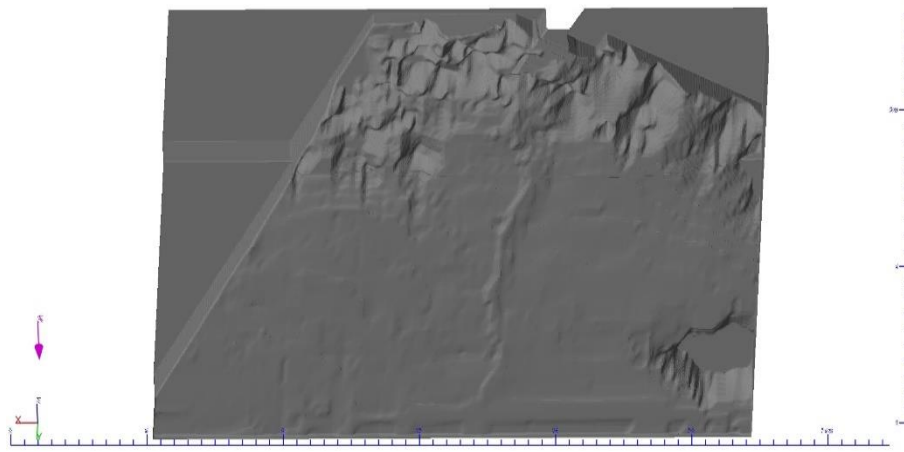
T04 algılayıcısından üçgen gedik durumunda tabandan 1 cm, 2 cm ve 3 cm yukarıdaki noktalardan elde edilen deneysel ve nümerik sonuçlar Şekil 6.16 (a) (b) (c)’de gösterilmektedir. Göl topoğrafyası tanımlanmış simülasyonlardaki hızlar grafikte yer almaktadır.



Şekil 6.16 Tabandan (a) 1 cm, (b) 2 cm ve (c) 3 cm yukarıda derinlikte noktasal hız - zaman grafikleri (Üçgen gedik)

6.3 Ani Yıkılma Durumunda Elde Edilen Sonuçlar

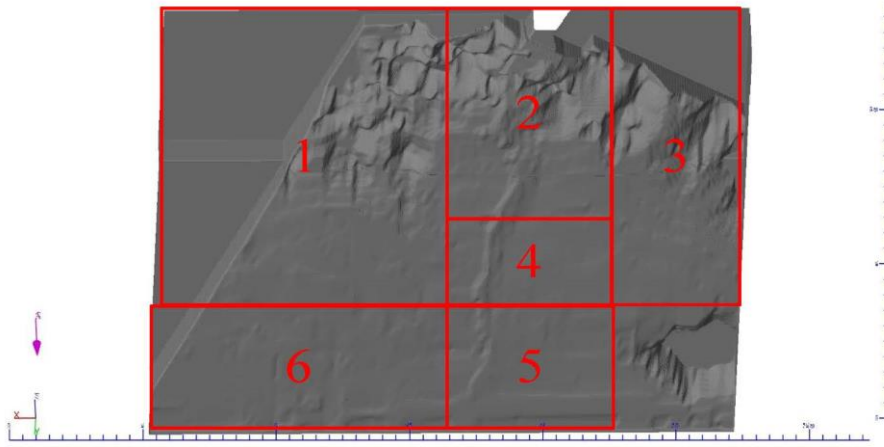
Şekil 6.17’de pürüzlülük bölgelerine ayrılan mansap ani yıkılma hali için gösterilmiştir.



Şekil 6.17 Simulasyonlarda tanıtılmış mansap bölgesi (Ani yıkılma)

6.3.1 Farklı Pürüzlülük Bölgeleri Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler

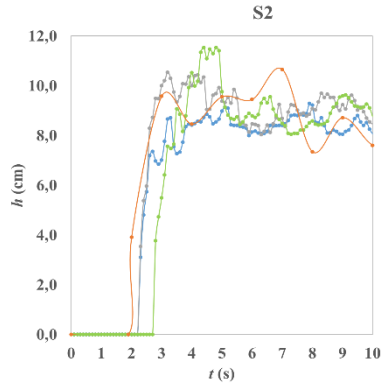
Şekil 6.18’de pürüzlülük bölgelerine ayrılan mansap ani yıkılma için gösterilmektedir.



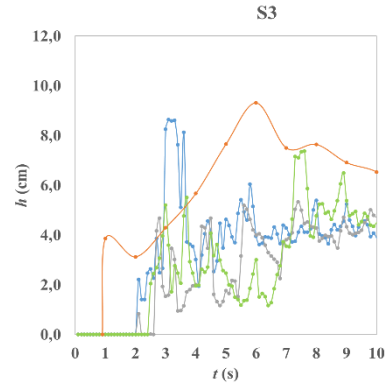
Şekil 6.18 Pürüzlülük değerlerinin verildiği alt bölgeler (Ani yıkılma)

6.3.1.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar

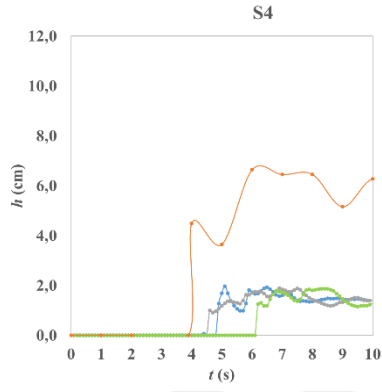
Mansap bölgesindeki yedi seviye ölçerden alınan su derinliği - zaman grafikleri Şekil 6.19 (a) (b) (c) (d) (e) (f) (g)’de verilmektedir.



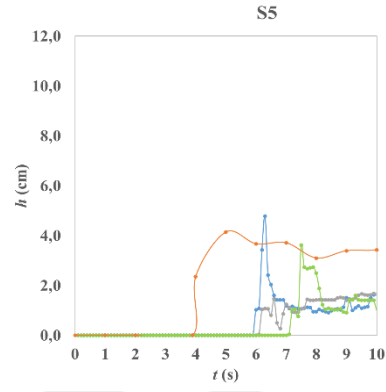
a)



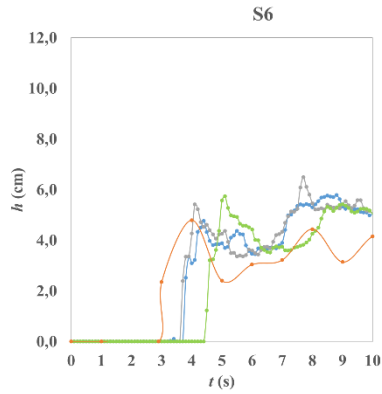
b)



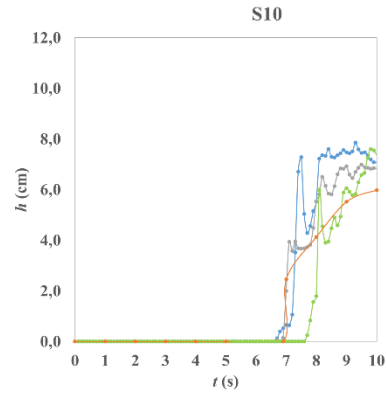
c)



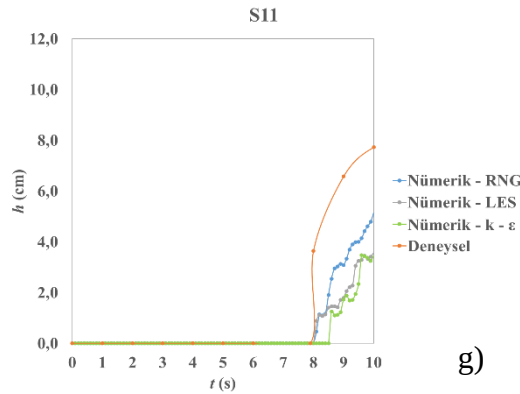
d)



e)



f)



g)

Şekil 6.19 Ani yıkılma deneyleri farklı pürüzlülük (a) S2, (b) S3, (c) S4, (d) S5, (e) S6, (f) S10 ve (g) S11 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafikleri

6.3.1.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar

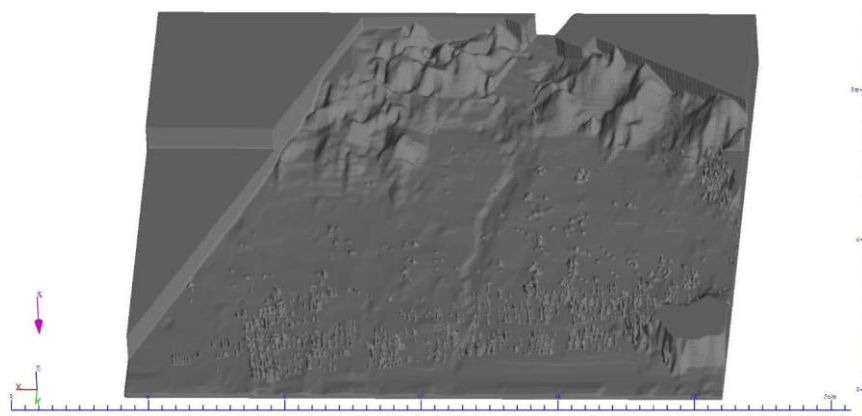
Taşkın dalgasının mansapta ulaştığı bölgeler ve süreler Tablo 6.8’de gösterilmektedir.

Tablo 6.8 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Farklı pürüzlülük – ani yıkılma)

Ulaşılan Yer	Nümerik (RNG)	Nümerik (LES)	Nümerik (k-ε)	DeneySEL
S2 (s)	2	2	3	2
S3 (s)	2	2	2	1
S4 (s)	5	5	6	4
S5 (s)	6	6	7	4
S6 (s)	4	4	4	3
S10 (s)	7	7	8	7
S11 (s)	8	8	9	8

6.3.2 Evler, Zemin Pürüzlülüğü ve Taşkın Hidrografi Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler

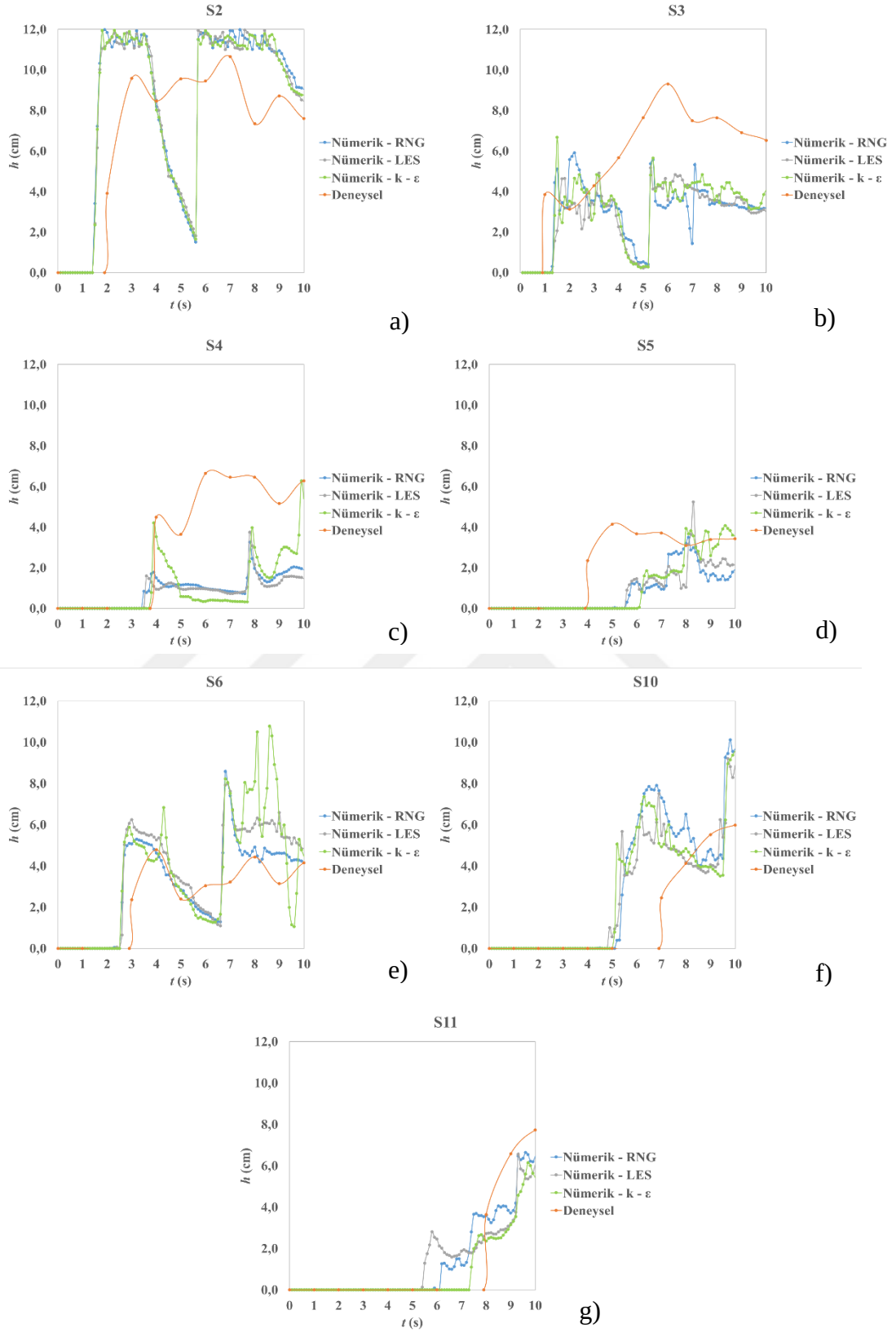
Şekil 6.20’de zemin pürüzlülüğü tanımlı mansap ve evler yer almaktadır.



Şekil 6.20 Hem ev hem zemin pürüzlülüğü tanımlanmış mansap bölgesi (Ani yıkılma)

6.3.2.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar

Mansap bölgesinde yedi seviye ölçerden alınan zaman bağlı su derinliği grafikleri Şekil 6.21 (a) (b) (c) (d) (e) (f) (g)’de gösterilmektedir.



Şekil 6.21 Ani yıkılma deneyleri zemin pürüzlülüğü ve evler tanıtılmış mansaptaki (a) S2, (b) S3, (c) S4, (d) S5, (e) S6, (f) S10 ve (g) S11 seviye ölçerlere ait derinlik - zaman grafikleri

6.3.2.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar

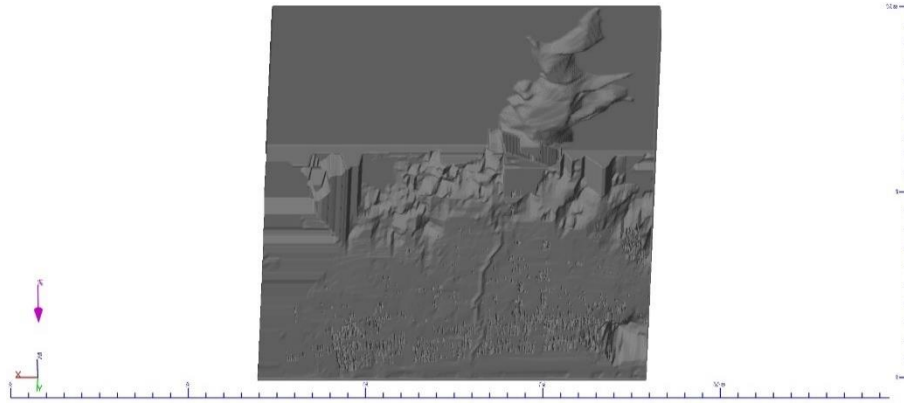
Taşkın dalgasının mansapta ulaştığı bölgeler ve süreler Tablo 6.9’da gösterilmektedir.

Tablo 6.9 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Farklı pürüzlülük ve evler birlikte – ani yıkılma)

Ulaşılan Yer	Nümerik (RNG)	Nümerik (LES)	Nümerik (k-ε)	DeneySEL
S2 (s)	1	1	1	2
S3 (s)	1	1	1	1
S4 (s)	4	4	4	4
S5 (s)	5	5	6	4
S6 (s)	2	2	2	3
S10 (s)	5	5	5	7
S11 (s)	6	5	7	8

6.3.3 Göl Topoğrafyası Tanımlanarak Gerçekleştirilen Çözümler

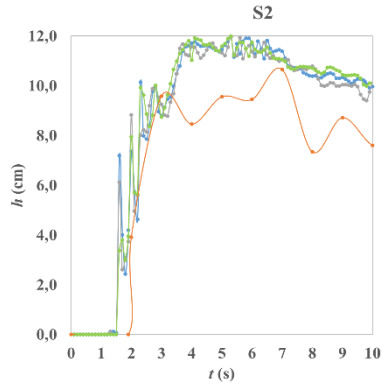
Şekil 6.22’de baraj gölü ve mansap bölgesi gösterilmektedir.



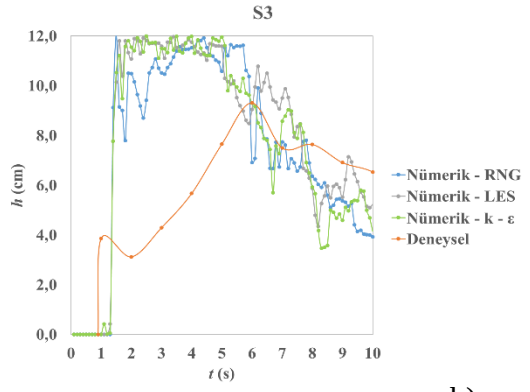
Şekil 6.22 Göl topoğrafyası ve mansap kısımları ile birlikte kapak mekanizması eklenmiş ani yıkılma çözüm ekranı

6.3.3.1 Su Derinlikleri ile İlgili Sonuçlar

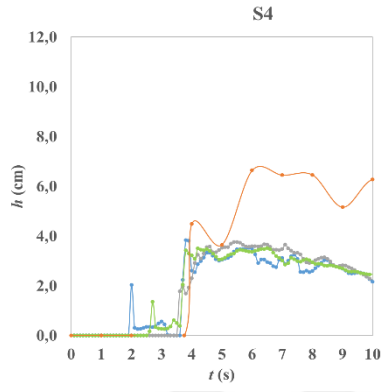
Mansap bölgesinde sekiz seviye ölçerden alınan su derinliği - zaman grafikleri Şekil 6.23 (a) (b) (c) (d) (e) (f) (g) (h)’de yer almaktadır.



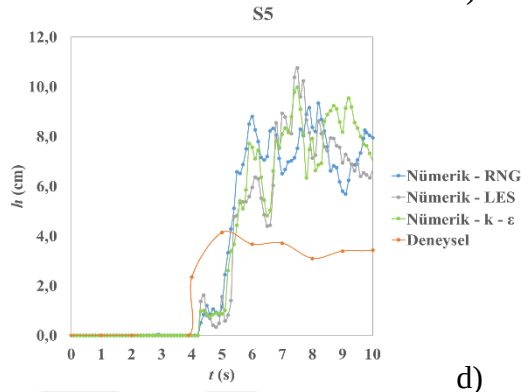
a)



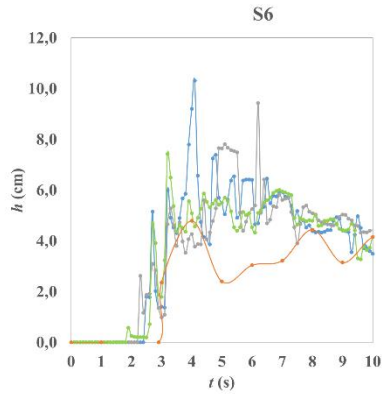
b)



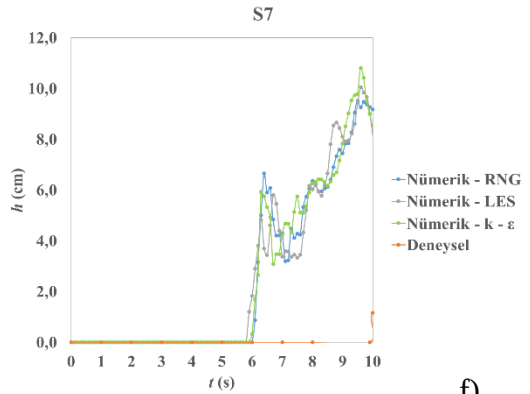
f)



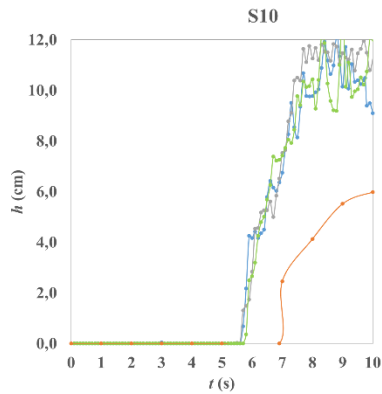
d)



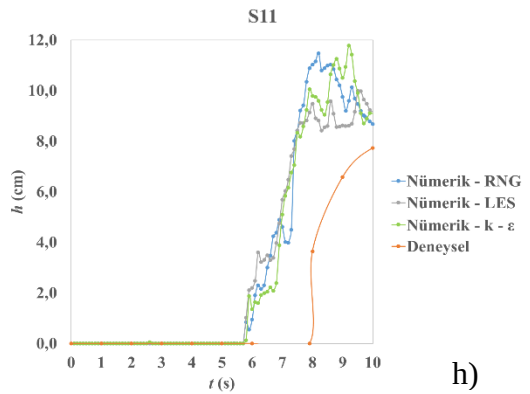
e)



f)



g)



h)

Şekil 6.23 Ani yıkılma deneyleri göl topoğrafyası tanıtılmış (a) S2, (b) S3, (c) S4, (d) S5, (e) S6, (f) S7, (g) S10 ve (h) S11 seviye ölçerleri derinlik - zaman grafikleri

6.3.3.2 Taşkın Dalgasının Yayılması ile İlgili Sonuçlar

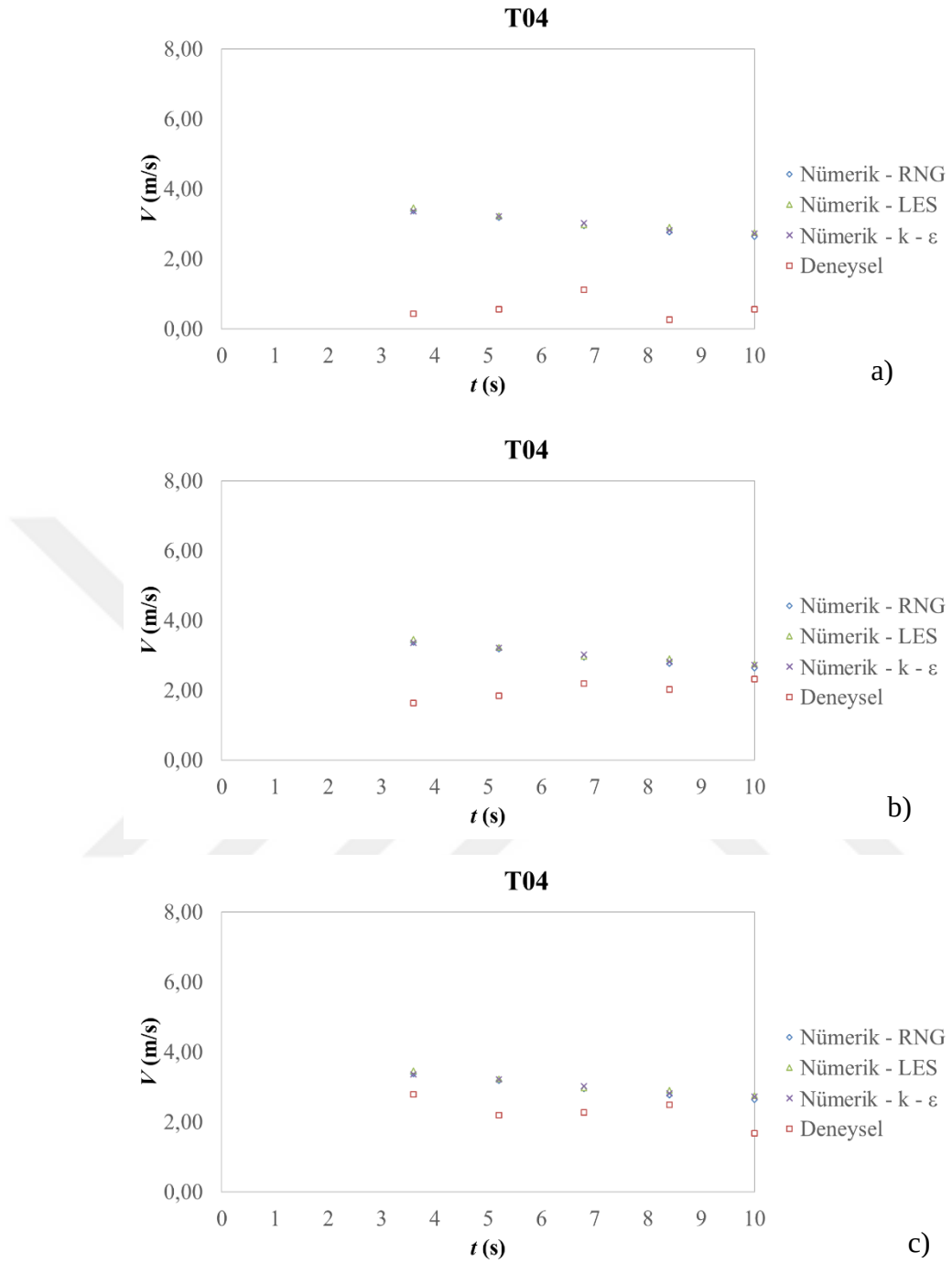
Taşkın dalgasının mansapta ulaştığı bölgeler ve süreler Tablo 6.10’da gösterilmektedir. Seviye ölçerler birer saniye aralıklarla kayıt yaptıklarından dolayı nümerik analiz sonucunda elde edilen ulaşım süreleri de saniye hassasiyeti ile belirtilmiştir.

Tablo 6.10 Taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşım süresi (Göl topoğrafyası ve evler birlikte – ani yıkılma)

Ulaşılan Yer	Nümerik (RNG)	Nümerik (LES)	Nümerik (k-ε)	DeneySEL
S2 (s)	1	1	1	2
S3 (s)	1	1	1	1
S4 (s)	2	3	3	4
S5 (s)	4	4	4	4
S6 (s)	2	2	2	3
S7 (s)	6	6	6	10
S10 (s)	6	6	6	7
S11 (s)	6	6	6	8

6.3.3.3 Noktasal Hız ile İlgili Sonuçlar

T04 algılayıcısından ani yıkılma durumunda tabandan 1 cm, 2 cm ve 3 cm yukarıdaki noktalardan elde edilen deneySEL ve nümerik sonuçlar Şekil 6.24 (a) (b) (c)’de gösterilmektedir. Göl topoğrafyası tanımlanmış simülasyonlardaki hızlar grafikte yer almaktadır.



Şekil 6.24 Tabandan (a) 1 cm, (b) 2 cm ve (c) 3 cm yukarıda noktasal hız zaman-grafiği (Ani yıkılma)

6.4 Farklı Türbülans Modellerinin Karşılaştırılması

Türbülans modelleri maksimum su derinliklerine dayalı olarak karşılaştırılmıştır. Seviye ölçerler 1 saniye aralıklarla kayıt yapmalarına rağmen sayısal çözüm sonuçları ondalıklı sonuçlar verebildiğinden dolayı ulaşım süreleri için bir karşılaştırma

yapılmamıştır. Türbülans modellerine göre seviye ölçerlerde ölçülen maksimum su derinlikler Tablo 6.11’de trapez gedik, Tablo 6.12’de üçgen gedik ve Tablo 6.13’de ani yıkılma için verilmiştir.

Tablo 6.11 Trapez gedik için farklı türbülans model sonuçlarının karşılaştırılması

Mansap	Maksimum Derinlik	Nümerik (RNG)	Nümerik (LES)	Nümerik (k-ε)	Deneyisel
Farklı Pürüzlülük	S2 (cm)	9,1	10,2	10,4	9,4
	S3 (cm)	5,2	2,7	3,2	10,6
	S4 (cm)	0,4	2,1	2,5	5,2
	S6 (cm)	3,0	4,4	4,7	3,9
Evler Zemin Pürüzlülüğü	S2 (cm)	9,1	8,3	11,0	9,4
	S3 (cm)	4,0	3,7	4,4	10,6
	S4 (cm)	1,1	1,2	1,2	5,2
	S5 (cm)	1,3	0,9	1,4	2,3
	S6 (cm)	3,7	3,9	4,2	3,9
Göl Topoğrafya Tanımlı	S2 (cm)	10,6	11,1	12,0	9,4
	S3 (cm)	8,9	9,0	10,7	10,6
	S4 (cm)	2,2	3,8	3,6	5,2
	S5 (cm)	6,6	5,8	4,8	2,3
	S6 (cm)	5,7	5,1	7,0	3,9
	S10 (cm)	7,8	7,9	7,6	1,4

Tablo 6.12 Üçgen gedik için farklı türbülans model sonuçlarının karşılaştırılması

Mansap	Maksimum Derinlik	Nümerik (RNG)	Nümerik (LES)	Nümerik (k-ε)	Deneyssel
Farklı Pürüzlülük	S2 (cm)	7,3	7,0	6,7	5,8
	S3 (cm)	1,7	3,8	4,8	5,7
	S5 (cm)	1,1	1,1	1,1	1,5
	S6 (cm)	4,3	4,0	3,5	2,7
Evler Zemin Pürüzlülüğü	S2 (cm)	10,6	7,7	9,6	5,8
	S3 (cm)	3,4	3,8	2,6	5,7
	S5 (cm)	1,3	1,3	1,6	1,5
	S6 (cm)	6,2	3,6	5,8	2,7
Göl Topoğrafya Tanımlı	S2 (cm)	6,3	6,1	6,3	5,8
	S3 (cm)	7,0	6,0	5,4	5,7
	S5 (cm)	0,9	0,9	0,1	1,5
	S6 (cm)	4,7	3,7	3,2	2,7

Tablo 6.13 Ani yıkılma için farklı türbülans model sonuçlarının karşılaştırılması

Mansap	Maksimum Derinlik	Nümerik (RNG)	Nümerik (LES)	Nümerik (k-ε)	Deneyssel
Farklı Pürüzlülük	S2 (cm)	9,3	10,5	11,5	10,7
	S3 (cm)	8,6	5,3	7,4	9,3
	S4 (cm)	2,0	1,9	1,9	6,6

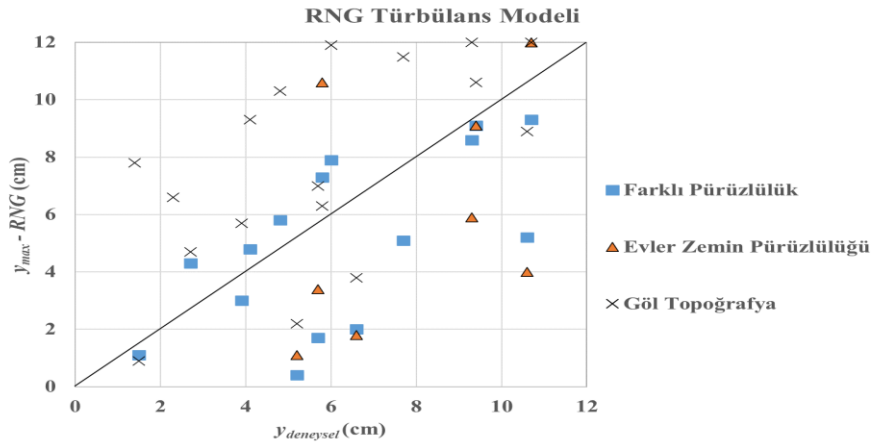
Tablo 6.13 devamı

Mansap	Maksimum Derinlik	Nümerik (RNG)	Nümerik (LES)	Nümerik (k-ε)	Deneyisel
Farklı Pürüzlülük	S5 (cm)	4,8	1,7	3,6	4,1
	S6 (cm)	5,8	6,5	5,7	4,8
	S10 (cm)	7,9	7,0	7,6	6,0
	S11 (cm)	5,1	3,6	3,5	7,7
Evler Zemin Pürüzlülüğü	S2 (cm)	12,0	12,0	12,0	10,7
	S3 (cm)	5,9	5,2	6,7	9,3
	S4 (cm)	1,8	3,7	6,3	6,6
	S5 (cm)	3,5	5,2	4,1	4,1
	S6 (cm)	8,6	8,0	10,8	4,8
	S10 (cm)	10,1	9,2	9,6	6,0
	S11 (cm)	6,7	6,6	6,2	7,7
Göl Topoğrafya Tanımlı	S2 (cm)	12,0	12,0	12,0	10,7
	S3 (cm)	12,0	12,0	12,0	9,3
	S4 (cm)	3,8	3,8	3,5	6,6
	S5 (cm)	9,3	10,8	10,0	4,1
	S6 (cm)	10,3	9,4	7,4	4,8
	S7 (cm)	9,5	10,1	10,8	1,2
	S10 (cm)	11,9	11,9	11,9	6,0
	S11 (cm)	11,5	10,0	11,8	7,7

Maksimum su derinlikleri karşılaştırılırken formülü aşağıda verilen ortalama hata kareleri kare kökü (RMSE) parametresi kullanılmıştır.

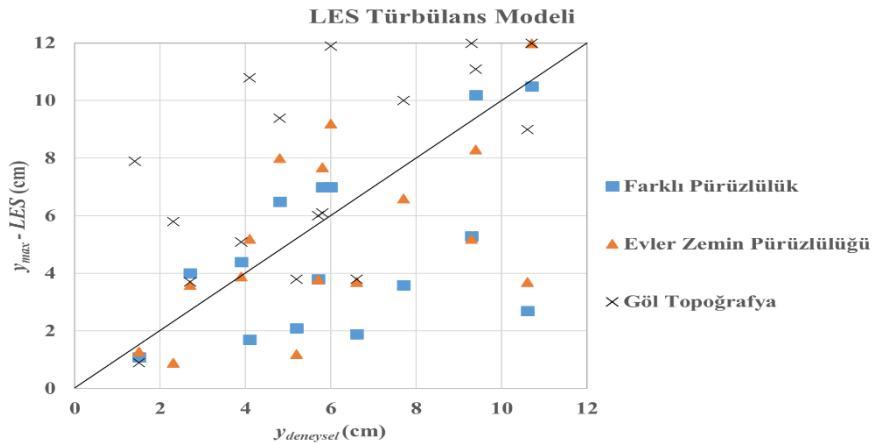
$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (6.1)$$

Burada $\hat{y}_i$ farklı türbülans modelleri ile elde edilen sonuçları y_i : deneysel bulguları ve n nokta sayısını temsil etmektedir. Yukarıdaki tablolarda verilen değerlere göre $n=48$ olmaktadır. RNG türbülans modeli durumunda hesaplanan maksimum derinlikleri Şekil 6.25'te verilmektedir.



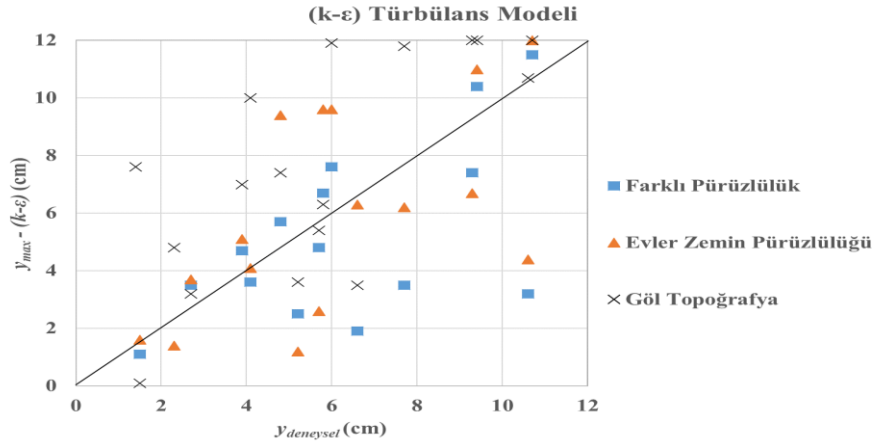
Şekil 6.25 RNG türbülans modeli için hesaplanan maksimum su derinlikleri

LES türbülans modeli durumunda hesaplanan maksimum derinlikleri Şekil 6.26'da verilmektedir.



Şekil 6.26 LES türbülans modeli için hesaplanan maksimum su derinlikleri

(k-ε) türbülans modeli durumunda hesaplanan maksimum derinlikleri Şekil 6.27'de verilmektedir.



Şekil 6.27 (k-ε) türbülans modeli için hesaplanan maksimum su derinlikleri

(6.1) formülü yardımıyla hesaplanan RMSE değerleri, RNG türbülans modelinde 0,04; LES türbülans modelinde 0,12 ve (k-ε) türbülans modelinde 0,14 olarak bulunmuştur. Deneylerle en uyumlu sonucu RMSE değeri en küçük olan RNG türbülans modeli vermiştir.

6.5 Taşkın Hidrografi veya Baraj Gölünün Tanımlanması Arasındaki Farklar

Taşkın hidrografi tanıtılması farklı pürüzlülük (1. Senaryo), evler ve zemin pürüzlülüğü (2. senaryo) ve baraj gölünün geometrik ve hidrolik özelliklerinin tanıtılması (3. senaryo) yaklaşımlarında elde edilen nümerik sonuçlar ile deneysel bulguların farklı türbülans modelleri durumunda karşılaştırılmaları Tablo 6.14, Tablo 6.15 ve Tablo 6.16’da verilmektedir.

Tablo 6.14 1, 2 ve 3 senaryolarından elde edilen nümerik ve deneysel ulaşma süreleri (RNG modeli)

Yıkılma	Ulaşılan Yer	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	Deneysel
Trapez Gedik	S2 (s)	3	3	2	2
	S3 (s)	3	3	2	1
	S4 (s)	7	3	6	5
	S6 (s)	5	5	4	4

Tablo 6.14 devamı

Yıkılma	Ulaşılan Yer	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	Deneysel
Üçgen Gedik	S2 (s)	4	2	3	2
	S3 (s)	4	2	2	1
	S5 (s)	9	9	8	7
	S6 (s)	6	4	5	4
Ani Yıkılma	S2 (s)	2	1	1	2
	S3 (s)	2	1	1	1
	S4 (s)	5	4	2	4
	S5 (s)	6	5	4	4
	S6 (s)	4	2	2	3
	S10 (s)	7	5	6	7
	S11 (s)	8	6	6	8

Tablo 6.15 1, 2 ve 3 senaryolarından elde edilen nümerik ve deneysel ulaşma süreleri (LES modeli)

Yıkılma	Ulaşılan Yer	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	Deneysel
Trapez Gedik	S2 (s)	3	3	2	2
	S3 (s)	2	3	2	1
	S4 (s)	9	3	6	5

Tablo 6.15 devamı

Yıkılma	Ulaşılan Yer	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	Deneyssel
Trapez Gedik	S6 (s)	6	4	4	4
	S2 (s)	4	3	3	2
Üçgen Gedik	S3 (s)	3	3	2	1
	S5 (s)	9	9	9	7
	S6 (s)	6	5	5	4
Ani Yıkılma	S2 (s)	2	1	1	2
	S3 (s)	2	1	1	1
	S4 (s)	5	4	3	4
	S5 (s)	6	5	4	4
	S6 (s)	4	2	2	3
	S10 (s)	7	5	6	7
	S11 (s)	8	5	6	8

Tablo 6.16 1, 2 ve 3 senaryolarından elde edilen nümerik ve deneyssel ulaşma süreleri (k-ε modeli)

Yıkılma	Ulaşılan Yer	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	Deneyssel
Trapez Gedik	S2 (s)	3	2	2	2
	S3 (s)	2	2	2	1

Tablo 6.16 devamı

Yıkılma	Ulaşılan Yer	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	Deneysel
Trapez Gedik	S4 (s)	9	3	6	5
	S6 (s)	6	3	4	4
Üçgen Gedik	S2 (s)	4	2	3	2
	S3 (s)	3	2	2	1
	S5 (s)	9	9	9	7
	S6 (s)	6	4	5	4
Ani Yıkılma	S2 (s)	3	1	1	2
	S3 (s)	2	1	1	1
	S4 (s)	6	4	3	4
	S5 (s)	7	6	4	4
	S6 (s)	4	2	2	3
	S10 (s)	8	5	6	7
	S11 (s)	9	7	6	8

BÖLÜM YEDİ

SONUÇ VE ÖNERİLER

Hem baraj gölünü ve gövdesini hem de barajın mansap bölgesini içeren ölçekli bir fiziksel model üzerinde yapılan deneysel çalışmalar literatürde rastlanmamıştır. Ürkmez barajının baraj gölü ve mansap kısmını içeren fiziksel modelinin tasarlanıp inşa edilerek farklı senaryolarla baraj yıkılması nedeniyle oluşan taşkın dalgası yayılmasının üç boyutlu olarak incelenmesi bu çalışmanın özgün değerini oluşturmaktadır.

Ürkmez Baraj gölü, baraj gövdesi ve denize kadar olan mansap bölgesini içeren çarpıtılmış bir fiziksel model yatay ölçeği 1/150 ve düşey ölçeği 1/30 olacak şekilde Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı açık alanında inşa edilmiştir. Model inşa edilirken DSİ'den elde edilen 1/5.000 ölçekli harita ve baraj gövdesine ait kesitlerle beraber İZSU Genel Müdürlüğünden temin edilen güncel dijital vaziyet planından yararlanılmış ve ilgili topoğrafya ile beraber Seferihisar – Kuşadası Karayolu ile birlikte evler de modele yansıtılmıştır.

Çarpıtılmış fiziksel modelde trapez ve üçgen gedik oluşturularak kısmi baraj yıkılma deneyleri ile birlikte ani yıkılma deneyleri de gerçekleştirilerek mansap bölgesinde farklı konumlarda su derinlikleri ve hızlar ölçülmüştür. Taşkın dalgalarının yayılması hassas kameralar kullanılarak kayıt edilmiştir.

Farklı deney senaryoları karşılaştırıldığında en büyük su derinliklerinin ani yıkılmada olduğu gözlemlenmiştir. Ani yıkılmadan sonra sırasıyla trapez gedik ve üçgen gedik durumlarında maksimum su derinlikleri elde edilmiştir. Ani yıkılmada maksimum derinliğe ulaşma süresi en kısa olup bunu trapez gedik ve üçgen gedik oluşumları izlemiştir. UVP doğrultusunda ölçülen kesitsel hızların büyüklük ve yönlerinin farklı senaryolardan etkilendiği görülmüştür. Evlerin bulunduğu bölgelerde en büyük hızlar ani yıkılma senaryosunda ölçülmüştür. Taşkın dalgalarının ani yıkılma durumunda karayolu ve denize en erken ulaştığı bunu trapez gedik ve üçgen gedik senaryolarının izlediği tespit edilmiştir.

Deneylerde 12 cm'ye varan su derinlikleri ölçülmüş olup doğada 3,6 m'ye karşılık gelmekte ve böylece bir katlı evler suya gömülmektedir. Deneylerde ölçülen hızlar 6 m/s mertebesine ulaşmakta ve bu da doğada 32,88 m/s hıza karşılık gelmektedir. Bu mertebedeki hızlar yapılara önemli bir hidrodinamik etki uygulayarak stabilitelerini tehdit edecek büyüklüktedir.

Taşkın dalgasının evlerin yoğun olduğu bölgeye yaklaşık 6 saniyede ulaştığı deneylerde gözlemlenmiş olup doğada 2,7 dakikaya karşılık gelmektedir. Deneylerde taşkın dalgasının karayoluna ulaşma süresi 7 saniye olarak ölçülmüş olup doğada 3,2 dakikaya karşılık gelmektedir. Deneysel olarak tespit edilen bu değerler yapılacak Acil Eylem Planlarında göz önüne alınması gereken önemli bilgilerdir.

Sayısal çözümler irdelendiğinde aşağıdaki hususlar tespit edilmiştir:

- Maksimum su derinlikleri göz önüne alınarak yapılan karşılaştırmada en küçük RMSE değerini vermesi nedeniyle RNG türbülans modelinin deneylerle en uyumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.
- Simülasyonların çok uzun sürmesi nedeniyle bu tez çalışmasında 48 değer kullanılarak nümerik maksimum su derinlikleri deneysel bulgularla karşılaştırılabilmiştir. Ölçüm noktalarından elde edilen 72 maksimum su derinliği göz önüne alınması durumunda çok daha kapsamlı bir nümerik analiz yapılacağından daha gerçekçi bir karşılaştırma yapılabilecektir.

Deneyler sırasında kaydedilen baraja en yakın bölgedeki maksimum derinlikler sırasıyla 10,7 cm, 10,6 cm ve 10,4 cm'dir. Flow 3D simülasyonlarında maksimum değer 12,0 cm olarak hesaplanmış olup bu değerler arasındaki farklar kabul edilebilir mertebede olmaktadır.

Simülasyonlar, Intel(R) Core(TM) i7-6700HQ CPU @ 2.60GHz işlemci, 16,0 GB (RAM)'e sahip bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. 10 saniyelik göl topoğrafyasına sahip trapez gedik simülasyonu 4 gün 7 saat 57 dakika 40 saniyede tamamlanmıştır. Yeni nesil işlemci ve RAM değeri daha yüksek bilgisayarlarda daha uzun süreli

simülasyonlar daha kısa sürede yapılabilecektir. Flow 3D yazılımındaki tüm türbülans modellerinin farklı yaklaşımlarla denenerek deneysel bulgulara hangi mertebede uyum sağlandığının araştırılması yapılabilecek bir öneridir.

Modelde evler ve karayolu yansıtılmış olup bitki örtüsünün de ilave edilmesiyle yeni deneyler gerçekleştirilmesi ve böylece bitki örtüsünün sonuçları hangi derecede etkilediğinin ortaya çıkarılması ilginç bir çalışma olacaktır.

UVP hız ölçüm cihazı yerleştirildiği doğrultu boyunca noktasal hızları belirlemekte olup herhangi bir noktadaki akış hızının bileşkesini ve üç bileşenini ölçme olanağını sağlayan ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) kullanılarak deneyler yapılması sayısal çözüm sonuçlarıyla karşılaştırılma yapılırken daha pratik olacağından dolayı yapılabilecek bir diğer öneridir.

KAYNAKLAR

- Alcrudo, F. ve Mulet, J. (2007). Description of the Tous dam break case study. *Journal of Hydraulic Research*, 45, 45–57.
- Bellos, C. V. (2004). Experimental measurements of flood wave created by a dam break. *European Water Resources Association, European Water* 7 (8), 3-15.
- Bozkuş, Z. (2004). Afet yönetimi için baraj yıkılma analizleri. *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, Sayı 224, 3335–3350.
- Flow Science Inc. (2007). What's New in FLOW-3D Version 10.0. *Flow 3D User's Manual*. Santa Fe, New Mexico.
- Güney, M. Ş., Özgenç Aksoy, A. ve Doğan, M. (2011). *Laboratuvar uygulamalı fiziksel modeller*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- Güney, M. Ş., Tayfur, G., Gökçen, B. ve Elçi, Ş. (2014). Distorted physical model to study sudden partial dam break flows in an urban area, *Journal of Hydraulic Engineering*, 140 (11), 05014006.
- Güney, M. Ş., Tayfur, G., Arkış, T. ve Gökçen, B. (2015a). Experimental and numerical investigation of flood propagation due to trapezoidal breach in the distorted physical model of Ürkmez dam. *Dam Engineering*, XXV (4), 171–187.
- Güney, M. Ş., Tayfur, G. ve Arkış, T. (2015b). Experimental investigation of the hydrograph characteristics effect on the flood propagation due to the failure of the distorted physical model of Ürkmez dam. *Advances in Civil, Structural and Environmental Engineering 2015 / Proceedings of the Third International Conference on Advances in Civil, Structural and Environmental Engineering, Zurich, Switzerland*, 185–192.

- Haltaş, İ., Tayfur, G. ve Elçi, Ş. (2016). Two-dimensional numerical modeling of flood wave propagation in an urban area due to Ürkmez dam-break, İzmir, Turkey, *Nat Hazards*, 81, 2103–2119.
- Hooshyaripor, F., Tahershamsi, A. ve Razi, S. (2017). Dam break flood wave under different reservoir's capacities and lengths. *Sadhana – Indian Academy of Science*, 42, 1557–1569.
- Kamra, M., Mohd, N., Liu, C., Sueyoshi, M. ve Hu, C. (2018). Numerical and experimental investigation of three-dimensionality in the dam-break flow against a vertical wall. *Journal of Hydrodynamics*, 30, 682–693.
- Kocaman, S. (2002). *Baraj yıkılması analizi ve uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Kocaman, S. (2007). *Baraj yıkılması probleminin deneysel ve teorik olarak incelenmesi*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Kocaman, S. (2011). Baraj yıkılması taşkın dalgası yayılmasının 3-boyutlu deneysel ve nümerik karşılaştırılması. *e-Journal of New World Science Academy*, 6(1), 406-414.
- Leal, J. G. A. B., Ferreira, R. M. L., Franco, A. B. ve Cardoso, A. H. (2002). Dam-break waves on movable beds. In Bousmar&Zech (eds) *Riverflow 2002*, 2, 981-990.
- Liu, L., Sun, J., Lin, B. ve Lu, L. (2018). Building performance in dam-break flow—an experimental study. *Urban Water Journal*, 15, 251-258.
- Minussi, R. B. ve Maciel, G. F. (2008). Dam break problem-complete solution and shallow water approximation comparison. In Altınakar, Kökpınar, Aydın, Çokgör ve Kırkgöz (Eds) *Riverflow2008*, 1, 619-626.

- Minussi, R. B. ve Maciel, G. F. (2012). Numerical experimental comparison of dam break flows with non-newtonian fluids. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, XXXIV (2), 167–178.
- Met-flow (2002). UVP Monitor: Model UVP-DUO with software version 3. *User's Guide*. Lausanne, Switzerland.
- Molu, M. (1995). *Dam-break flood in a natural channel: A case study*. Master of Science Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Oguzhan, S. ve Ozgenc Aksoy, A. (2020). Experimental investigation of the effect of vegetation on dam break flood waves. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 68(3), 231–241.
- Slyvester, A. G. (2016). *Roadside Geology of Southern California Blog*. 17 Ağustos 2020, http://www.geol.ucsb.edu/faculty/sylvester/Teton_Dam/Teton%20Dam-Pages/Image12.html.
- Soares-Frazao, S. (2007). Experiments of dam break wave over a triangular bottom sill. *Journal of Hydraulic Research*, 45, 19–36.
- Tayfur, G. ve Sukru, M. G. (2013). A physical model to study dam failure flood propagation. *Water Utility Journal* 6, 19–27.
- Tayfur, G., Güney, M. Ş. ve Bombar, G. (2013). A distorted physical model to study sudden dam break flows. *Second International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering*, Tiran, Arnavutluk., 890–900.
- Testa, G., Zuccala, D., Alcrudo, F., Mulet, J. ve Soares-Frazao, S. (2007). Flash flood flow experiment in a simplified urban district. *Journal of Hydraulic Research*, 45, 37–44.

TÜBİTAK MAG-110M240 nolu proje (2013). *Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın deneyssel ve nümerik metotlar ile araştırılması-gerçek barajlara CBS ortamında uygulanması*. Nihai rapor.

Vasquez, J. A. ve Leal, J. G. B. (2006). Two-dimensional dam-break simulation over movable beds with an unstructured mesh. *In Ferreira, Alves, Leal ve Cardoso (Eds) Riverflow 2006, Portugal, Taylor & Francis, 1, 1483-1491.*

Wikipedia (2013). *Dam failure*. 14 Ağustos 2015, http://en.wikipedia.org/wiki/Dam_failure.

Yalın, M. S. (1971). *Theory of hydraulic models*. London: The Macmillan Press Ltd.

Yochum, S. E., Goertz, L. A. ve Jones, P. H. (2008). The big bay dam failure: accuracy and comparison of breach predictions. *Journal of Hydraulic Engineering, 134(9), 1285–1293.*

Zhang, M., XU Y., Qiao Y., Jiang H., Zhang Z. ve Zhang G. (2016). Numerical simulation of flow and bed morphology in the case of dam break floods with vegetation effect. *Journal of Hydrodynamics, 28(1), 23–32.*

Zhang, T., Fang, F. ve Feng, P. (2017). Simulation of dam/leveebreak hydrodynamics with a three-dimensional implicit unstructured-mesh finite element model. *Environ. Fluid Mech., 17, 959–979.*

EKLER

EK 1

SEVİYE ÖLÇER HAM VERİ ÖRNEĞİ

Seviye ölçer cihazlarından alınan orijinal kayıtlara örnek olarak S2 seviye ölçerinden elde edilen kayıt örneği aşağıda verilmektedir. Genel bilgileri takip eden değerler sırasıyla tarih, zaman, santimetre cinsinden su derinliği ve santigrat cinsinden hava sıcaklığına karşılık gelmektedir. Bu ham veriler excel yardımıyla grafiklere dönüştürülmektedir.

Data file for Esense logger.

```
=====
=====
USER       : Eijkelkamp Agrisearch Equipment
COMP.STATUS:Do
DATE       : 5-6-2013
TIME       : 16:45:32
FILENAME   : P0783_S4_201306051630_till_201306051645.MON
CREATED BY : e+Control 1.0.5 #28063
===== BEGINNING OF DATA
=====
[Instrument info]
Instrument type      =E+sens=52
Status              =Gestopt =2
Serial number       =.N11-P0783 252.
Instrument number    =EAE#313128-P0783
                    = 0
Location            =S2
Sample period       =S1
Sample method       =T
Number of channels  =2
[Channel1]
Identification      =Level
Reference level     = 0.00 cm
Range               = 100.00 cm
"Master level"      =0.00 cm
"Altitude"          =0
Alarm low           = 0.00 cm
Hysteresis low      = 0.00 cm
Hysteresis High     = 100.00 cm
Alarm High          = 100.00 cm

[Channel2]
Identification      =Temperature
Reference level     = -20.00 degC
Range               = 100.00 degC
Master level; dummy line
Altitude; dummy line
```

Alarm low	=	-20.00	degC
Hysteresis low	=	-20.00	degC
Hysteresis High	=	80.00	degC
Alarm High	=	80.00	degC

[Instrument info from data header]

Serial number	=	.N11-P0783	252.
Instrument number	=	EAE#313128-P0783	
Location	=	S4	
Sample period	=	00 00:00:01	0
Sample method	=	T	
Start date / time	=	00:30:16	05/06/13
End date / time	=	11:45:16	05/06/13

[Channel 1 from data header]

Identification	=	Level
Reference level	=	0.00 cm
Range	=	100.00 cm
"Master level"	=	0.00 cm
"Altitude"	=	0

[Channel 2 from data header]

Identification	=	Temperature
Reference level	=	-20.00 degC
Range	=	100.00 degC

Master level; dummy line

Altitude; dummy line

[Data]

912		
2013/06/05 16:30:00.0	0.11	28.16
2013/06/05 16:30:01.0	0.09	28.16
2013/06/05 16:30:02.0	0.09	28.18
2013/06/05 16:30:03.0	0.10	28.16
...		
2013/06/05 16:39:44.0	0.09	27.96
2013/06/05 16:39:45.0	0.10	27.95
2013/06/05 16:39:46.0	7.27	27.96
2013/06/05 16:39:47.0	8.02	27.95
2013/06/05 16:39:48.0	9.38	27.93
2013/06/05 16:39:49.0	9.33	27.87
2013/06/05 16:39:50.0	6.65	27.85
2013/06/05 16:39:51.0	6.60	27.83
2013/06/05 16:39:52.0	8.63	27.77
2013/06/05 16:39:53.0	7.04	27.75
2013/06/05 16:39:54.0	7.53	27.65
2013/06/05 16:39:55.0	5.47	27.61
...		

EK 2

HIZ ÖLÇER HAM VERİ ÖRNEĞİ

Met-flow UVP cihazlarında kullanılan algılayıcılardan alınan ham kayıtlara örnek olarak trapez gedik durumunda T04 algılayıcısından elde edilen kayıtlar aşağıda verilmektedir. Şekil A.1’de excel sekmesi yer almaktadır.

“Profiles of kid 063.04 measurement

Data of transducer #4 from 'C:\Users\Dell\Desktop\110M240 BARAJ
YIKILMASI\YIKILMA 33 05.06.2013\UVP\Deney 28 - 2013 06 05\kid 063.mfprof'
file

Data

Measurement was stopped by user

Profiles 1126 to 6999 lost and not valid

Profile definition

Number of channels = 256

Number of profiles = 1000

Amplitude data = Yes

Doppler data = Yes

Sampling period = 200 ms

Starting time = 05.06.2013 16:38:51

End time = 05.06.2013 16:38:51

Medium

Sound speed = 1.480 m/s

Maximum depth and velocity range

Maximum depth = 192,4 mm

Velocity band width = 2.846,2 mm/s

Minimum on-axis velocity = -1.423,1 mm/s

Maximum on-axis velocity = 1.412 mm/s

On-axis velocity resolution = 11,118 mm/s

Pulse rep. freq. = 3,84615 kHz

Window parameters

Window start = 0,37 mm
Window end = 189,07 mm
Channel distance = 0,74 mm
Channel width = 1,48 mm

C-factors

C on-axis velocity = 11,118 mm/s
C Doppler = 15,024 Hz
C sound speed = 0,74 mm

Signal parameters

Frequency = 1 MHz
Cycles = 2
Repetitions = 128
Noise level = 4

RF gain

US Voltage = 60 V
Gain start = 4
Gain end = 8

Trigger mode

0 - None

Multiplexer parameters

Number of cycles = 1.000 (Number of profile blocks = 1.000)
Cycle delay = 0

Multiplexer table

i	transducer#	profiles	angle [°]	delay [ms]
0	4	1	1.0	0"

[illegible]

Şekil A.1 Hız ölçerlerden alınan verilerin excel formatına dönüştürülmesi

EK 3

FLOW SIGHT HAM ÇIKTI ÖRNEĞİ

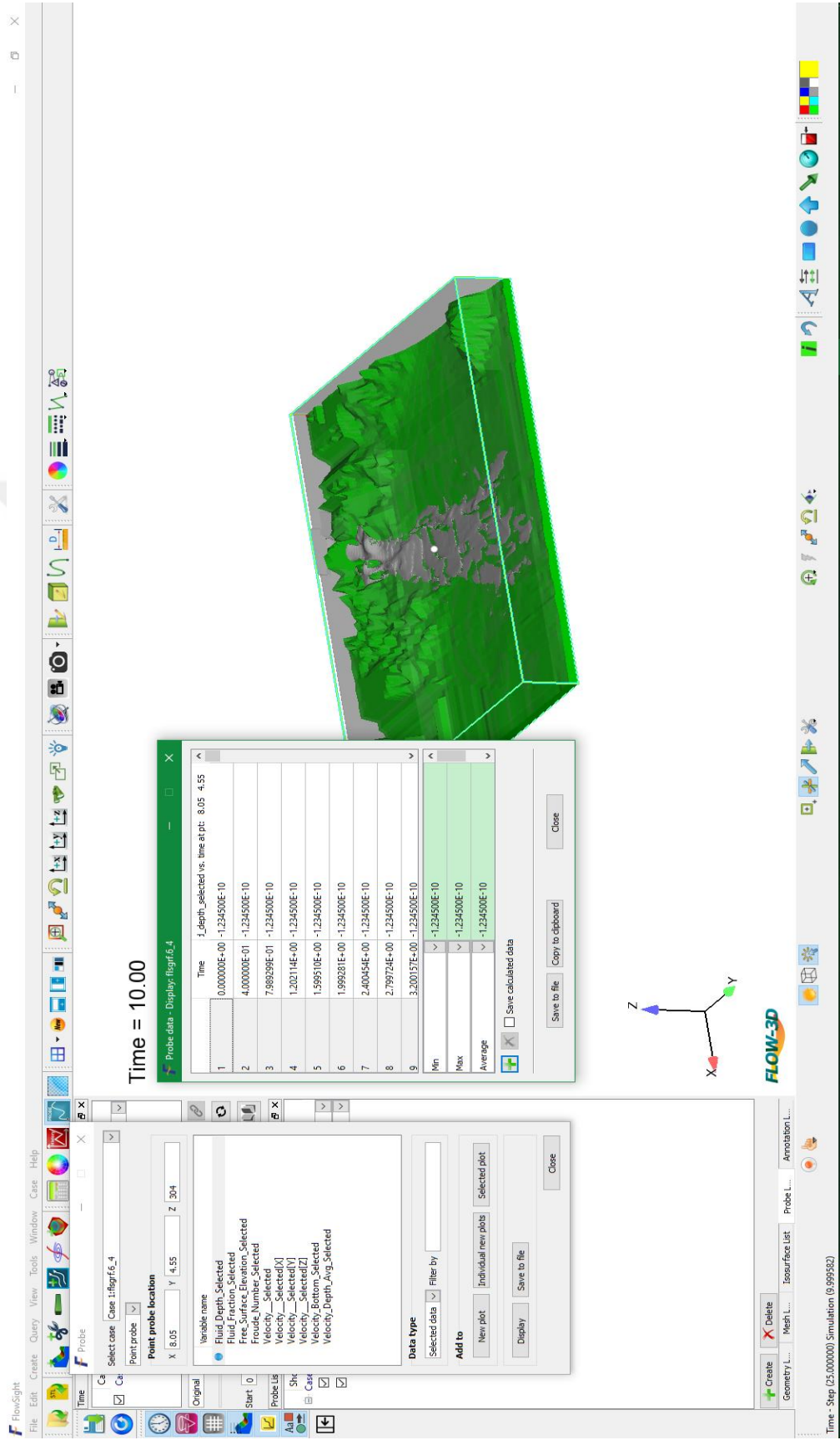
Flow 3D simülasyon sonuçları Flow Sight programında açılarak grafik haline getirilmiştir. Trapez yıkılma farklı pürüzlülük senaryosunda S2 seviye ölçeri için programdan alınan ekran görüntüsü Şekil B.1’de verilmiştir. Çıktının excel sekmesinde görünümü aşağıdaki gibidir. Burada öncelikle koordinatlar verilmekte daha sonra saniye cinsinden zaman ve metre cinsinden su derinlikleri sıralanmaktadır.

Time,Flow_depth_selected vs.
time at pt: 8.05 4.55 0.304,

...

2.300087E+00,0.000000E+00,
2.399527E+00,0.000000E+00,
2.499507E+00,2.649934E-02,
2.599101E+00,3.084960E-02,
2.700576E+00,3.391346E-02,
2.799689E+00,3.536001E-02,
2.899929E+00,3.483840E-02,
3.000221E+00,8.515901E-02,
3.100420E+00,7.456286E-02,
3.200821E+00,5.595323E-02,
3.299378E+00,8.378450E-02,
3.400270E+00,9.467743E-02,
3.499313E+00,8.376437E-02,
3.600807E+00,8.688960E-02,
3.699728E+00,9.662621E-02,
3.799982E+00,9.351317E-02,
3.899405E+00,8.564862E-02,
3.999848E+00,8.283200E-02,
4.099382E+00,8.469875E-02,
4.199693E+00,8.566304E-02,
4.299765E+00,8.127846E-02,
4.399530E+00,8.006783E-02,
4.500148E+00,7.707758E-02,
4.599592E+00,7.760762E-02,
4.699240E+00,8.361723E-02,
4.799543E+00,8.670437E-02,
4.900394E+00,8.768074E-02,
5.000652E+00,9.521889E-02,
5.099674E+00,1.026654E-01,

...



Şekil B.1 Flow Sight programından alınan S2 seviye ölçer su derinliği ekran görüntüsü

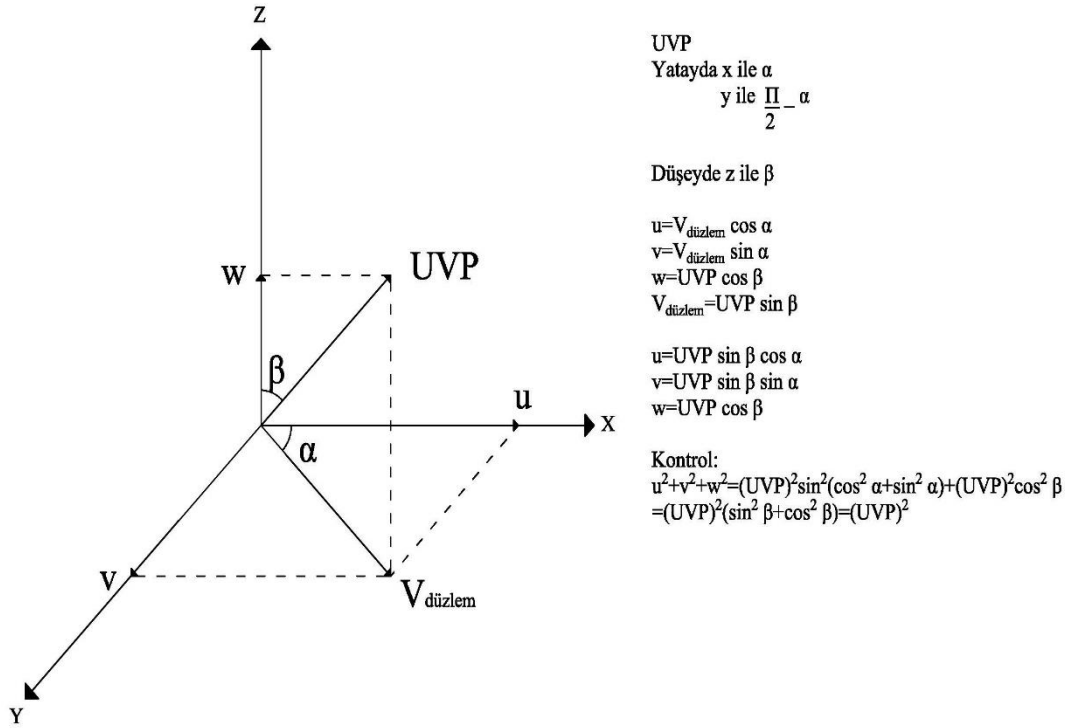
EK 4

UVP İLE DOĞRUDAN ELDE EDİLEN HIZ DEĞERLERİNİN NÜMERİK SONUÇLARLA KARŞILAŞTIRILMASI

Baraj yıkılması deneylerinin nümerik çözümler ile karşılaştırılmasından önce deney sırasında takip edilen işlemler aşağıdaki gibidir.

- Seviye ölçerler UVP kutularına derinlik bilgisini iletmesi açısından en yakın yere yerleştirilmiştir.
- Algılayıcıların su içinde çalışma zorunluluğundan dolayı UVP kutularının içine yerleştirilmiştir.
- Deney öncesinde algılayıcı gömülü derinliği ve yatayla yaptığı açı kaydedilmiştir.
- Deney başlamadan önce UVP cihazının düşeyle yaptığı açı değeri girilmiştir.
- Deney sonrasında kayıt altına alınan bilgiler, Met-flow programı yardımı bilgisayara aktarılmış ve böylece noktasal hızlar ve hız profilleri elde edilmiştir.

Deneylerden sonra gerçekleştirilen Flow 3D simülasyonlarının deney sonuçları ile karşılaştırılması için sayısal bileşke hız vektörünün UVP doğrultusundaki izdüşümü belirlenmiştir. Bileşke vektörün izdüşümü aşağıda verilen vektörlerin skaler çarpımı formülünden elde edilmiştir. UVP doğrultusunda ölçülen hızın bileşenleri Şekil C.1’de verilen trigonometrik bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil C.1 Bir noktadaki deneysel UVP hızının seçilen eksen takımına göre u, v ve w bileşenleri

UVP doğrultusunda bir noktada ölçülen hız $\vec{u} = (u_1, u_2, u_3)$ vektörü ile sayısal noktasal bileşke hız $\vec{V} = (V_1, V_2, V_3)$ vektörünün skaler çarpımı

$$\vec{u} \cdot \vec{V} = u_1 V_1 + u_2 V_2 + u_3 V_3 \quad (\text{F.1})$$

şeklinde yazılmakta olup θ bu iki vektör arasındaki açı olmak üzere

$$\vec{u} \cdot \vec{V} = |\vec{u}| |\vec{V}| \cos \theta \quad (\text{F.2})$$

olmaktadır.

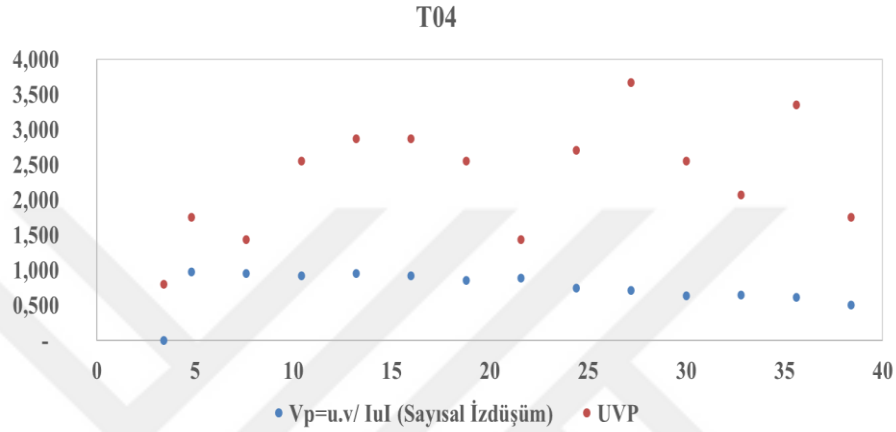
UVP doğrultusunda ölçülen noktasal hız ile sayısal bileşke hızın UVP doğrultusundaki bileşeni birbiriyle karşılaştırıldığında bu bileşenin sayısal değeri

$$V_P = (\vec{u} \cdot \vec{V}) / |\vec{u}| \quad (\text{F.3})$$

ifadesi kullanılarak hesaplanabilmektedir.

Tablo A.1’de sırasıyla zaman, UVP’den ölçülen noktasal hızlar x, y ve z eksenleri ile yapılan açılar, UVP’den ölçülen noktasal hızın eksenler boyunca bileşenleri, sayısal noktasal bileşke hızın üç bileşeni sayısal noktasal bileşke hız, sayısal noktasal bileşke hızın UVP doğrultusundaki izdüşümü, iki vektörün skaler çarpımı, iki vektörün skaler

büyüklüğü, iki vektörün skaler büyüklüğünün çarpımı, iki vektör arasındaki açının kosinüsü ve iki vektörün arasında açı sırasıyla verilmektedir. Su derinliğinin 1,0 cm olduğu noktada değişik zamanlarda UVP ile ölçülen hız bileşenleri ve iki vektörün skaler çarpımı kullanılarak bu noktadaki sayısal bileşke hızın UVP doğrultusundaki bileşeninin belirlenmesiyle ilgili hesaplar örnek olarak verilmektedir. Tablodaki değerlere göre elde edilen hız zaman grafikleri Şekil C.2’de gösterilmektedir.



Şekil C.2 Su derinliğinin 1 cm olduğu noktada UVP ile ölçülen hız ve sayısal bileşke hızın bu doğrultudaki bileşeninin zamana bağlı olarak değişimleri

Tablo D.1 $z = 1,0$ cm derinlikteki UVP ve nümerik hız değerlerinin karşılaştırılması

t	UVP	α	β	γ	u1	u2	u3	V1	V2	V3	V	Vp=U.V/ u (Sayısal İzölüm)	u.V	u u1	IVII	(u u1.IVII)	cos $\theta=U.V /$ (u u1.IVII)	θ
s	m / s	Derece	Derece	Derece	m / s	m / s	m / s	m / s	m / s	m / s	m / s	m / s	m / s	m / s	m / s	m / s	-	Derece
3.4	0,797	50	87	40	0,512	0,610	0,042	-	-	-	-	-	-	0,797	-	-	-	-
4.8	1,753	50	87	40	1,125	1,341	0,092	1,204	0,279	- 0,205	1,253	0,976	1,710	1,753	1,253	2,196	0,779	39
6.2	1,913	50	87	40	1,228	1,463	0,100	-	-	-	-	-	-	1,913	-	-	-	-
7.6	1,434	50	87	40	0,921	1,097	0,075	1,177	0,278	- 0,228	1,230	0,956	1,371	1,434	1,230	1,765	0,777	39
9.0	3,028	50	87	40	1,944	2,317	0,158	-	-	-	-	-	-	3,028	-	-	-	-
10.4	2,550	50	87	40	1,637	1,951	0,133	1,120	0,278	- 0,233	1,177	0,919	2,344	2,550	1,177	3,002	0,781	39
11.8	2,869	50	87	40	1,842	2,195	0,150	-	-	-	-	-	-	2,869	-	-	-	-
13.2	2,869	50	87	40	1,842	2,195	0,150	1,163	0,285	- 0,240	1,221	0,952	2,731	2,869	1,221	3,503	0,780	39
14.6	3,666	50	87	40	2,353	2,804	0,192	-	-	-	-	-	-	3,666	-	-	-	-
16.0	2,869	50	87	40	1,842	2,195	0,150	1,127	0,277	- 0,211	1,179	0,924	2,650	2,869	1,179	3,383	0,783	38
17.4	1,434	50	87	40	0,921	1,097	0,075	-	-	-	-	-	-	1,434	-	-	-	-
18.8	2,550	50	87	40	1,637	1,951	0,133	1,032	0,265	- 0,169	1,079	0,856	2,184	2,550	1,079	2,751	0,794	37
20.2	1,753	50	87	40	1,125	1,341	0,092	-	-	-	-	-	-	1,753	-	-	-	-
21.6	1,434	50	87	40	0,921	1,097	0,075	1,053	0,279	- 0,127	1,097	0,883	1,267	1,434	1,097	1,573	0,805	36
23.0	1,594	50	87	40	1,023	1,219	0,083	-	-	-	-	-	-	1,594	-	-	-	-
24.4	2,710	50	87	40	1,739	2,073	0,142	0,862	0,253	- 0,050	0,900	0,745	2,017	2,709	0,900	2,438	0,827	34
25.8	1,275	50	87	40	0,818	0,975	0,067	-	-	-	-	-	-	1,275	-	-	-	-
27.2	3,666	50	87	40	2,353	2,804	0,192	0,818	0,247	- 0,022	0,855	0,713	2,613	3,666	0,855	3,133	0,834	33
28.6	3,825	50	87	40	2,455	2,926	0,200	-	-	-	-	-	-	3,825	-	-	-	-
30.0	2,550	50	87	40	1,637	1,951	0,133	0,729	0,221	- 0,023	0,762	0,636	1,622	2,550	0,762	1,944	0,834	33
31.4	1,753	50	87	40	1,125	1,341	0,092	-	-	-	-	-	-	1,753	-	-	-	-
32.8	2,072	50	87	40	1,330	1,585	0,108	0,722	0,237	0,021	0,760	0,646	1,338	2,072	0,760	1,575	0,850	32
34.2	2,550	50	87	40	1,637	1,951	0,133	-	-	-	-	-	-	2,550	-	-	-	-
35.6	3,347	50	87	40	2,148	2,560	0,175	0,703	0,209	0,026	0,734	0,612	2,050	3,347	0,734	2,456	0,835	33
37.0	2,550	50	87	40	1,637	1,951	0,133	-	-	-	-	-	-	2,550	-	-	-	-
38.4	1,753	50	87	40	1,125	1,341	0,092	0,546	0,204	0,034	0,584	0,508	0,891	1,753	0,584	1,024	0,870	29
39.8	0,638	50	87	40	0,409	0,488	0,033	-	-	-	-	-	-	0,637	-	-	-	-