

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAŞKIN DALGALARININ ÜÇ BOYUTLU
YAYILMASINDA BİTKİ YAPISI ETKİSİNİN
DENEYSEL VE TEORİK OLARAK
ARAŞTIRILMASI**

Emrah SEVİNÇ

Eylül, 2021
İZMİR

**TAŞKIN DALGALARININ ÜÇ BOYUTLU
YAYILMASINDA BİTKİ YAPISI ETKİSİNİN
DENEYSEL VE TEORİK OLARAK
ARAŞTIRILMASI**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik-Hidroloji ve Su Kaynakları

Doktora Programı

Emrah SEVİNÇ

Eylül, 2021

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

EMRAH SEVİNÇ, tarafından PROF. DR. MEHMET ŞÜKRÜ GÜNEY yönetiminde hazırlanan “TAŞKIN DALGALARININ ÜÇ BOYUTLU YAYILMASINDA BİTKİ YAPISI ETKİSİNİN DENEYSEL VE TEORİK OLARAK ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet Şükrü GÜNEY

Yönetici

Prof. Dr. Yalçın ARISOY

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Prof. Dr. Ayşe FİLİBELİ

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Prof. Dr. Gökmen TAYFUR

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Gökçen BOMBAR

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Özgür ÖZÇELİK

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim sırasındaki tüm çalışmalarımda, bilgi birikimi ve tecrübesiyle beni yönlendiren ve destekleyen danışman hocam Prof. Dr. Mehmet Şükrü GÜNEY'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitemdeki hocalarım Prof. Dr. Yalçın ARISOY'a ve Prof. Dr. Ayşe FİLİBELİ'ye, çalışmalarına değerli fikirleriyle katkı sağladıkları için teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Laboratuvar çalışmalarımı gerçekleştirdiğim baraj modelinin inşaatı için TÜBİTAK 110M240 nolu “Baraj Yıkılması Sonucu Oluşan Taşkın Deneyisel ve Nümerik Metodlar ile Araştırılması–Gerçek Barajlara CBS Ortamında Uygulanması” adlı projeye destek sağlayan TÜBİTAK'a ve projenin yürütücüsü Prof. Dr. Gökmen TAYFUR hocama teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarımındaki yardımlarından dolayı Doç. Dr. Ayşegül ÖZGENÇ AKSOY ve Doç. Dr. Mustafa DOĞAN hocalarıma, Laboratuvar Teknisyeni İsa ÜSTÜNDAĞ'a ve laboratuvardaki arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Eğitim hayatımda ve mesleki kariyerimde her zaman destek olan babam Mehmet SEVİNÇ'e, annem Cenabiye SEVİNÇ'e ve kardeşim Emre SEVİNÇ'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Emrah SEVİNÇ

TAŞKIN DALGALARININ ÜÇ BOYUTLU YAYILMASINDA BİTKİ YAPISI ETKİSİNİN DENEYSEL VE TEORİK OLARAK ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgasının yayılmasında kısmi bitki örtüsünün etkisi deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır.

Deneyler, 1/150 yatay ölçekli ve 1/30 düşey ölçekli Ürkmez Barajı ve mansap bölgesinin çarpıtılmış fiziksel modelinde gerçekleştirilmiştir. Model, baraj rezervuarını, baraj gövdesini, barajın mansap bölgesindeki denize kadar olan yerleşim alanını ve kısmi bitki örtüsü yapısını içermektedir. Mansap bölgesinin farklı noktalarına yerleştirilen e + WATER L seviye ölçerleri kullanılarak su derinlikleri, seviye ölçerlerin yakınına yerleştirilen ultrasonik hız ölçerler (UVP) kullanılarak hız değerleri ölçülmüştür. Taşkın dalgasının yayılması, mansap kısmına yerleştirilen yüksek çözünürlüklü (HD) dijital kamera ile kaydedilmiştir.

Deneysel bulgulara göre; kısmi bitki örtüsü varlığında, taşkın dalgası Ürkmez beldesinin yerleşimin seyrek olduğu orta bölgelerine yüzde 33-50 mertebelerinde, yerleşimin yoğun olduğu denize yakın bölgelerine yüzde 67-86 mertebelerinde daha geç ulaşmıştır. Sol sahilde maksimum su derinliklerinde yüzde 60'a varan artışlar, sağ sahilde ise denize yakın bölgede yüzde 44'e varan azalmalar gözlenmiştir.

FLOW-3D yazılımından elde edilen sayısal sonuçlar ile deneysel bulgular karşılaştırıldığında; menba başlangıç sınır şartının baraj gölü, zemin pürüzlülüğünün 1 mm ve hücre boyutunun 5 cm olduğu sayısal çözüm en uygun sonuçları vermiştir. İstatistiksel parametreler kullanılarak yapılan türbülans modellerinin karşılaştırılmasında; bu parametrelerin birbirine çok yakın olduğu görülmüş olsa da, RNG türbülans modelinin çok az farkla üstün olduğu tespit edilmiştir. Kısmi bitki örtüsü varlığında, taşkın dalgası sol sahilin orta kısmına yüzde 17 mertebesinde, sağ sahilin denize yakın kısmına yüzde 14 mertebesinde daha geç ulaşmıştır. Sağ sahilde

denize yakın nokta dışındaki tüm noktalarda maksimum su derinliklerinin arttığı, bu artışın orta bölgelerde yüzde 53-73 mertebelerinde olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: Baraj yıkılması, taşkın dalgası yayılması, çarpıtılmış fiziksel model, bitki örtüsü etkisi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, FLOW-3D



EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF PLANT CONFIGURATION ON THE THREE DIMENSIONAL WAVE PROPAGATION

ABSTRACT

The influence of partial plant configuration on the flood wave propagation resulting from dam break was investigated experimentally and numerically.

The experiments were performed on the distorted physical model with horizontal scale of 1/150 and vertical scale of 1/30 of Urkmez Dam and its downstream region. The model contains the dam reservoir, the dam body, the residential area in the downstream of the dam until the sea and the partial plant configuration. The water depths were measured by the e + WATER L level sensors placed at various locations of the downstream region and the velocity values were measured by the ultrasonic velocity profilers (UVP) placed near the level sensors. The wave propagation was recorded by the high definition (HD) digital camera located at the downstream part.

According to the experimental findings; in the case of the partial vegetation, the flood wave arrived approximately 33-50 percent later at the middle parts of Urkmez town where the settlement is sparse. The flood wave arrived approximately 67-86 percent later near the sea sides of Urkmez town where the settlement is dense. Increases up to 60 percent in maximum water depths were observed on the left bank, and decreases up to 44 percent in the area close to the sea on the right bank.

When the numerical results obtained from the software FLOW-3D and experimental findings are compared; it has been found that the model, where the upstream initial boundary condition is the dam reservoir, the surface roughness is 1 mm and the size of cell is 5 cm is the most suitable. The turbulence models were compared by means of statistical parameters. Even though it was found that these parameters were very close to each other, the results obtained from the turbulence model RNG were slightly better. In the presence of partial vegetation, the flood wave

arrived 17 percent later the middle part of left bank. The flood wave arrived 14 percent later near the sea part of right bank. It was revealed that the maximum water depths increased at all points on the right bank, except for the point close to the sea, and this increase was in the order of 53-73 percent in the middle regions.

Keywords: Dam break, flood wave propagation, distorted physical model, vegetation effect, computational fluid dynamics, FLOW-3D

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
TABLolar LİSTESİ	xxi
BÖLÜM BİR - GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışmanın Kapsamı	7
BÖLÜM İKİ - KONUYLA İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	10
BÖLÜM ÜÇ - FİZİKSEL MODEL VE ÖLÇÜM YÖNTEMİ	27
3.1 Ürkmez Barajı Hazne ve Mansap Bölgesinin Çarpıtılmış Fiziksel Modeli	27
3.1.1 Ürkmez Barajı ile İlgili Genel Bilgiler	27
3.1.2 Çarpıtılmış Fiziksel Modelin Tasarımı	27
3.1.3 Çarpıtılmış Fiziksel Modelin İnşaatı	30
3.2 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Materyal ve Yöntem	33
3.2.1 Su Derinliklerinin Ölçülmesi	34
3.2.2 Zamana Bağlı Hız Değerlerinin Ölçülmesi	35
3.2.3 Taşkın Dalgası Yayılmasının Görüntülenmesi	37
3.3 Seviye Ölçüm Çubukları ve UVP Algılayıcıların Arazideki Konumları	38
BÖLÜM DÖRT - DENEYSEL BULGULAR	41
4.1 Fiziksel Modelin Baraj Gölü Hacmi-Su Derinliği Eğrisinin Belirlenmesi	41

4.2 Fiziksel Modelin Taşkın Hidrografının Belirlenmesi	42
4.3 Farklı Noktalarda Ölçülen Su Derinliklerinin Belirlenmesi	43
4.4 Farklı Noktalarda Ölçülen Hızların Belirlenmesi	45
4.4.1 Derinlik Ortalamalı Hızlar	45
4.4.2 Farklı Zamanlarda Elde Edilen Hız Profilleri	47
4.5 Taşkın Dalgasının Yayılması	50
4.6 Kısmi Bitki Örtülü ve Yoğun Bitki Örtülü Deneysel Bulguların Karşılaştırılması	52

BÖLÜM BEŞ - FLOW-3D YAZILIMI, SAYISAL MODELİN OLUŞTURULMASI, FLOW-3D YAZILIMINA GİRİLEN PARAMETRELER VE ANALİZ SONUÇLARININ ELDE EDİLMESİ 55

5.1 FLOW-3D Yazılımı	55
5.1.1 Kütle (Süreklilik) Denklemi (Flow Science, Inc., 2016)	57
5.1.2 Momentum (Hareket) Denklemi (Flow Science, Inc., 2016)	57
5.1.3 Akışkan Arayüzleri ve Serbest Su Yüzeyleri (Flow Science, Inc., 2016)..	59
5.1.4 Türbülans Modelleri (Flow Science, Inc., 2016)	59
5.1.4.1 Türbülans Taşıma Modelleri	60
5.1.4.2 Prandtl Karışım Uzunluğu Modeli	65
5.1.4.3 Büyük Çevrinti Simülasyon Modeli (LES Modeli)	66
5.1.5 Sonlu Hacimler Yöntemi (Flow Science, Inc., 2016)	67
5.2 Sayısal Modelin Oluşturulması	70
5.2.1 Barajın Mansap Bölgesine Ait Topografyanın ve Mansap Bölgesindeki Evlerin Modelinin Oluşturulması	70
5.2.2 Mansap Bölgesindeki Kısmi Bitki Örtüsü Yapısının Modelinin Oluşturulması	84
5.2.3 Barajın Menba Bölgesine Ait Göl Topografyasının Modelinin Oluşturulması	87
5.2.4 Barajın Mansap Topografyasına, Evlere, Bitki Örtüsüne ve Menba Göl Topografyasına Ait Modellerin FLOW-3D Programına Aktarılması	91

5.3 FLOW-3D Yazılımına Girilen Parametreler ve Analiz Sonuçlarının Elde Edilmesi	92
--	----

BÖLÜM ALTI - SAYISAL VE DENEYSEL BULGULARIN KARŞILAŞTIRILMASI 110

6.1 Farklı Zemin Pürüzlülüklerinin Kullanılması	111
6.1.1 Bitki Örtüsüz Durumda Farklı Zemin Pürüzlülüklerinin Kullanılması ..	111
6.1.2 Bitki Örtülü Durumda Farklı Zemin Pürüzlülüklerinin Kullanılması ...	114
6.2 Farklı Hücre Boyutlarının Kullanılması	117
6.2.1 Bitki Örtüsüz Durumda Farklı Hücre Boyutlarının Kullanılması	117
6.2.2 Bitki Örtülü Durumda Farklı Hücre Boyutlarının Kullanılması	121
6.3 Farklı Türbülans Modellerinin Kullanılması	125
6.3.1 Bitki Örtüsüz Durumda Farklı Türbülans Modellerinin Kullanılması ...	125
6.3.2 Bitki Örtülü Durumda Farklı Türbülans Modellerinin Kullanılması	130
6.4 Farklı Menba Başlangıç Sınır Şartlarının Kullanılması	135
6.4.1 Bitki Örtüsüz Durumda Farklı Menba Başlangıç Sınır Şartlarının Kullanılması	135
6.4.2 Bitki Örtülü Durumda Farklı Menba Başlangıç Sınır Şartlarının Kullanılması	137
6.5 Bitki Örtüsüz ve Bitki Örtülü Durumlarda En Uyumlu Sonuçları Veren Sayısal Modellere Ait Bulguların Deneysel Bulgularla Karşılaştırılması	139
6.5.1 Farklı Noktalardaki Su Derinliklerinin Karşılaştırılması	139
6.5.2 Farklı Noktalardaki Noktasal Hızların Karşılaştırılması	143
6.5.3 Taşkın Dalgasının Yayılmasının Karşılaştırılması	149
6.6 Bitki Örtüsüz ve Bitki Örtülü Durumlarda RNG Türbülans Modeli Kullanılarak Gerçekleştirilen Sayısal Çalışmalarda Ana Akış Doğrultusunda Su Derinliği Değerlerinin Değişimi	159
6.7 Bitki Örtüsüz ve Bitki Örtülü Durumlarda Farklı Türbülans Modelleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Sayısal Çalışmalardan Farklı Noktalarda Elde Edilen Derinlik Ortalamalı Bileşke Hızların Karşılaştırılması	164

	Sayfa
BÖLÜM YEDİ - SONUÇ VE ÖNERİLER	173
KAYNAKLAR	177
EKLER	186
EK 1 FİZİKSEL MODELİN İNŞAAT SAFHALARI	186
EK 2 DENEY ÖNCESİ VE SONRASINDA SEVİYE ÖLÇÜM CİHAZININ KULLANIMI İLE İLGİLİ GERÇEKLEŞTİRİLEN İŞLEMLER	193
EK 3 TAŞKIN HİDROGRAFININ OLUŞTURULMASINA AİT ÖRNEK	196
EK 4 SEVİYE ÖLÇER HAM VERİLERİNE AİT ÖRNEK	197
EK 5 HIZ ÖLÇER HAM VERİLERİNE AİT ÖRNEK	201
EK 6 FLOWSIGHT PROGRAMINDAN ELDE EDİLEN HAM ÇIKTI ÖRNEKLERİ	205
EK 7 SAYISAL ÇALIŞMALARDA HESAPLANAN NOKTASAL HIZLARIN UVP YÖNÜNDEKİ BİLEŞENLERİNİN BELİRLENMESİ	207

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Baraj yıkılmalarının baraj tiplerine göre dağılımı	2
Şekil 1.2 Baraj yıkılmalarının ülkelere göre dağılımı	3
Şekil 1.3 Yıkılan Banqiao Barajı (Çin, 1975)	5
Şekil 2.1 Soares Frazao ve diğer.'nin deneysel çalışmalarında kullandıkları bina test durumu için deney düzeneği (a) test 1, (b) test 2	12
Şekil 2.2 Yang ve diğer.'nin deneysel çalışmalarında kullandıkları farklı tip bitki örtüsü modelleri (a) ağaç, (b) çimen, (c) çalı	14
Şekil 2.3 Testa ve diğer.'nin deneysel çalışmalarında kullandıkları binaların yerleşimi	15
Şekil 2.4 Chen ve diğer.'nin çalışmalarında kullandıkları kısmen bitki örtülü kanalın şematik görünümü	16
Şekil 2.5 Güney ve diğer.'nin deneysel çalışmalarında Ürkmez Barajı'nın çarpıtılmış fiziksel modelinde trapez gedik oluşması durumunda taşkın dalgasının yayılması	19
Şekil 2.6 Liu ve diğer.'nin deneysel çalışmalarında kullandıkları deney tesisi	21
Şekil 2.7 Feizi'nin deneysel ve sayısal çalışmasında kullandığı ölçüm noktaları	22
Şekil 2.8 Beretta ve diğer.'nin deneysel çalışmalarında kullandıkları (a) Barajın ve mansap bölgesinin ölçekli fiziksel modeli, (b) kentsel alanı temsil eden alt tarafı kaplayan bir köpük tabakası ile tuğla, (c) giriş debisini, kanalı, taşkın yatağını, kaldırılabilir köprü ve tuğlaları gösteren deney düzeneği	23
Şekil 2.9 Kusuma ve diğer.'nin deneysel çalışmalarında kullandıkları bina konfigürasyonu (a) bir bina, (b) üç bina, (c) beş bina, (d) sekiz bina	25
Şekil 3.1 Çalışma alanının genel görünümü	28
Şekil 3.2 Bitki örtüsüz durumda fiziksel modelin tamamlanmış hali	31
Şekil 3.3 (a) Prototipte, (b) fiziksel modelde dikkate alınan ağacın yaklaşık ölçüleri	31
Şekil 3.4 Fiziksel modelde ağaçları temsil eden plastik fırçalar	32
Şekil 3.5 Bitki örtülü durumda fiziksel modelin tamamlanmış hali	32

Şekil 3.6 Deney başlamadan önce kapalı durumdaki baraj kapağı	33
Şekil 3.7 Deney başladığı anda devrilen baraj kapağı	33
Şekil 3.8 (a) Modelde baraj gövdesini simüle eden metal konstrüksiyon, (b) gövdenin detaylı boyutları	34
Şekil 3.9 (a) Seviye ölçüm çubuğu, (b) kontrol cihazı	34
Şekil 3.10 (a) UVP algılayıcıları, (b) zeminde açılan çukur içerisine yerleştirilen UVP algılayıcı	35
Şekil 3.11 (a) Dizüstü bilgisayar ve ultrasonik hız ölçüm cihazının ön paneli, (b) dizüstü bilgisayar ve hız ölçüm cihazının arka paneli	36
Şekil 3.12 Ultrasonik hız ölçüm cihazının çalışma prensibi	37
Şekil 3.13 Mansap bölgesinin sonunda yer alan platforma yerleştirilen HD dijital kamera	38
Şekil 3.14 Seviye ölçerlerin ve UVP algılayıcıların arazideki konumları	38
Şekil 3.15 UVP algılayıcıların koordinat sistemindeki konumları	40
Şekil 4.1 Fiziksel modelin göl hacmi-su derinliği eğrisi	41
Şekil 4.2 Baraj gölündeki su derinlikleri, (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü	42
Şekil 4.3 Taşkın hidrografları, (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü	43
Şekil 4.4 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde farklı noktalarda ölçülen su derinlikleri	44
Şekil 4.5 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde farklı noktalarda ölçülen derinlik ortalama hızlar	46
Şekil 4.6 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde farklı noktalarda farklı zamanlarda elde edilen hız profilleri (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü	48
Şekil 4.7 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde taşkın dalgasının 2. saniyede ulaştığı bölgeler (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü	50
Şekil 4.8 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde taşkın dalgasının 3. saniyede ulaştığı bölgeler (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü	50
Şekil 4.9 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde taşkın dalgasının 6. saniyede ulaştığı bölgeler (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü	51

Şekil 4.10 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde taşkın dalgasının ulaştığı bölgeler (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü	15. Saniyede
Şekil 4.11 Fiziksel modelin yoğun bitki örtülü durumdaki güncel hali	51
Şekil 5.1 FLOW-3D yazılımında değişkenlerin hücre içindeki konumu	52
Şekil 5.2 FLOW-3D yazılımında serbest su yüzeyinin belirlenmesi	55
Şekil 5.3 Ağ düzenlemesi ve hücrelerin i, j ve k indeksleriyle işaretlenmesi	56
Şekil 5.4 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın modelinin oluşturulmasında kullanılan kesitler	68
Şekil 5.5 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın modelinin oluşturulmasında kullanılan kesitlerden G36 kesitinin haritadan ayrıntılı bir şekilde belirlenmesi	71
Şekil 5.6 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın modelinin oluşturulmasında kullanılan G36 kesitinin elde edildiği Excel tablosu	71
Şekil 5.7 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın modelinin oluşturulmasında kullanılan G36 kesiti üzerinde bulunan noktaların koordinatlarını gösteren Excel tablosu	75
Şekil 5.8 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın modelinin oluşturulması için AutoCAD Civil 3D programına girilen noktasal veriler	77
Şekil 5.9 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın TIN Surface formatındaki 3 boyutlu modeli	78
Şekil 5.10 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın Solid formatındaki 3 boyutlu modeli	79
Şekil 5.11 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın Stl formatındaki 3 boyutlu modeli	80
Şekil 5.12 Evlerin konumlarının belirlenmesi için oluşturulan 6-7 çizgileri ve G35-G36 kesitleri ile sınırlandırılmış grid	80
Şekil 5.13 Evlerin konumlarının belirlenmesi için oluşturulan 6-7 çizgileri ve G35-G36 kesitleri ile sınırlandırılmış gridte yer alan evlerin modeldeki yükseklik değerleri ile x ve y koordinatları (cm)	81
	82

Şekil 5.14 Evlerin konumlarının belirlenmesi için oluşturulan 6-7 çizgileri ve G35-G36 kesitleri ile sınırlandırılmış gridte yer alan evlerin modeldeki yükseklik değerleri ile X ve Y koordinatları (cm)	83
Şekil 5.15 Barajın mansap bölgesindeki yerleşim alanında bulunan evlerin Stl formatındaki 3 boyutlu modeli	84
Şekil 5.16 Bitki örtüsü yapısının modelinin oluşturulması için kullanılan Solid formatında 3 boyutlu ağaç modeli	85
Şekil 5.17 Bitki örtüsü yapısının modelinin oluşturulması için kullanılan Stl formatında 3 boyutlu ağaç modeli	85
Şekil 5.18 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın modelinin üzerine yerleştirilmiş bitki örtüsü yapısının 3 boyutlu modeli	86
Şekil 5.19 Barajın mansap bölgesindeki bitki örtüsü yapısının Stl formatındaki 3 boyutlu modeli	87
Şekil 5.20 Baraj gölünü içeren bölgenin 1/5000 ölçekli haritası	88
Şekil 5.21 (a) Göl topografyasının modelinin oluşturulması için AutoCAD programı kullanılarak çizilen kesitlerden V-V kesiti, (b) iki yönde uzatılmış V-V kesiti	89
Şekil 5.22 Barajın menba bölgesine ait göl topografyasının Solid formatındaki 3 boyutlu modeli	90
Şekil 5.23 Barajın menba bölgesine ait göl topografyasının Stl formatındaki 3 boyutlu modeli	91
Şekil 5.24 Sayısal modelin FLOW-3D programındaki görüntüsü	92
Şekil 5.25 FLOW-3D yazılımının Simulation Manager menüsü	93
Şekil 5.26 FLOW-3D yazılımının Model Setup-General menüsü	94
Şekil 5.27 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Physics-Gravity and Non-inertial Reference Frame menüsü	95
Şekil 5.28 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Physics-Viscosity and Turbulence menüsü	96
Şekil 5.29 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Fluids menüsü	97
Şekil 5.30 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Meshing & Geometry-Geometry menüsü	98

Şekil 5.31 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Meshing & Geometry-Mesh Operations menüsü	99
Şekil 5.32 Sayısal modelin hesaplama hücrelerine bölündükten sonraki görüntüsü .	100
Şekil 5.33 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Meshing & Geometry-Initials menüsü	101
Şekil 5.34 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Meshing & Geometry-Boundary Conditions menüsü, (a) baraj gölü, (b) hidrograf	102
Şekil 5.35 Başlangıç sınır şartı olarak hidrografın tanımlandığı çalışmada FLOW-3D yazılımının Model Setup-Meshing & Geometry-Boundary Conditions menüsünde girilen değerler, (a) hidrograf, (b) su derinliği	103
Şekil 5.36 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Output menüsü	104
Şekil 5.37 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Numerics menüsü	105
Şekil 5.38 FLOW-3D yazılımında simülasyonun çalıştırılması	106
Şekil 5.39 FLOW-3D yazılımının Analyze-3-D menüsü	107
Şekil 5.40 FLOW-3D yazılımının Display menüsü	108
Şekil 5.41 FlowSight programının Probe menüsü	109
Şekil 6.1 Bitki örtüsüz durumda farklı zemin pürüzlülükleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması	111
Şekil 6.2 Bitki örtüsüz durumda farklı zemin pürüzlülükleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması	112
Şekil 6.3 Bitki örtüsüz durumda farklı zemin pürüzlülükleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)	113
Şekil 6.4 Bitki örtülü durumda farklı zemin pürüzlülükleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması	114
Şekil 6.5 Bitki örtülü durumda farklı zemin pürüzlülükleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması	114

Şekil 6.6 Bitki örtülü durumda farklı zemin pürüzlülükleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)	116
Şekil 6.7 Bitki örtüsüz durumda farklı hücre boyutları için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması	117
Şekil 6.8 Bitki örtüsüz durumda farklı hücre boyutları için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)	118
Şekil 6.9 Bitki örtüsüz durumda farklı hücre boyutları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması	119
Şekil 6.10 Bitki örtüsüz durumda farklı hücre boyutları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)	120
Şekil 6.11 Bitki örtülü durumda farklı hücre boyutları için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması	121
Şekil 6.12 Bitki örtülü durumda farklı hücre boyutları için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)	122
Şekil 6.13 Bitki örtülü durumda farklı hücre boyutları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması	123
Şekil 6.14 Bitki örtülü durumda farklı hücre boyutları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)	124
Şekil 6.15 Bitki örtüsüz durumda farklı türbülans modelleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması	126

Şekil 6.16 Bitki örtüsüz durumda farklı türbülans modelleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)	126
Şekil 6.17 Bitki örtüsüz durumda farklı türbülans modelleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması	128
Şekil 6.18 Bitki örtüsüz durumda farklı türbülans modelleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)	129
Şekil 6.19 Bitki örtülü durumda farklı türbülans modelleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması	130
Şekil 6.20 Bitki örtülü durumda farklı türbülans modelleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)	131
Şekil 6.21 Bitki örtülü durumda farklı türbülans modelleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması	132
Şekil 6.22 Bitki örtülü durumda farklı türbülans modelleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)	133
Şekil 6.23 Bitki örtüsüz durumda farklı menba başlangıç sınır şartları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması	135
Şekil 6.24 Bitki örtüsüz durumda farklı menba başlangıç sınır şartları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)	136
Şekil 6.25 Bitki örtülü durumda farklı menba başlangıç sınır şartları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması	137

Şekil 6.26 Bitki örtülü durumda farklı menba başlangıç sınır şartları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)	138
Şekil 6.27 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü	139
Şekil 6.28 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda 1 cm su derinliğinde hesaplanan noktasal hızların UVP yönündeki bileşenleri ile deneysel hızların karşılaştırılması (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü	144
Şekil 6.29 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda 3 cm su derinliğinde hesaplanan noktasal hızların UVP yönündeki bileşenleri ile deneysel hızların karşılaştırılması (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü	145
Şekil 6.30 Bitki örtüsüz durumda taşkın dalgasının 2. saniyede ulaştığı bölgeler (a) deneysel, (b) sayısal (su derinlikleri), (c) sayısal (hız değerleri)	149
Şekil 6.31 Bitki örtüsüz durumda taşkın dalgasının 3. saniyede ulaştığı bölgeler (a) deneysel, (b) sayısal (su derinlikleri), (c) sayısal (hız değerleri)	151
Şekil 6.32 Bitki örtüsüz durumda taşkın dalgasının 6. saniyede ulaştığı bölgeler (a) deneysel, (b) sayısal (su derinlikleri), (c) sayısal (hız değerleri)	152
Şekil 6.33 Bitki örtüsüz durumda taşkın dalgasının 15. saniyede ulaştığı bölgeler (a) deneysel, (b) sayısal (su derinlikleri), (c) sayısal (hız değerleri)	153
Şekil 6.34 Bitki örtülü durumda taşkın dalgasının 2. saniyede ulaştığı bölgeler (a) deneysel, (b) sayısal (su derinlikleri), (c) sayısal (hız değerleri)	154
Şekil 6.35 Bitki örtülü durumda taşkın dalgasının 3. saniyede ulaştığı bölgeler (a) deneysel, (b) sayısal (su derinlikleri), (c) sayısal (hız değerleri)	155
Şekil 6.36 Bitki örtülü durumda taşkın dalgasının 6. saniyede ulaştığı bölgeler (a) deneysel, (b) sayısal (su derinlikleri), (c) sayısal (hız değerleri)	156
Şekil 6.37 Bitki örtülü durumda taşkın dalgasının 15. saniyede ulaştığı bölgeler (a) deneysel, (b) sayısal (su derinlikleri), (c) sayısal (hız değerleri)	157
Şekil 6.38 Sayısal çalışmalardan elde edilen taşkın dalgasının ana akış doğrultusu ..	160

Şekil 6.39 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda RNG türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çalışmalardan elde edilen taşkın dalgasının ana akış doğrultusu boyunca su derinliği değerlerinin değişimi (a) 2. saniye, (b) 4. saniye, (c) 6. saniye, (d) 8. saniye, (e) 10. saniye	162
Şekil 6.40 Sayısal çalışmalarda derinlik ortalamalı bileşke hızların karşılaştırıldığı noktaların konumları	164
Şekil 6.41 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı türbülans modelleri kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çalışmalardan farklı noktalarda elde edilen derinlik ortalamalı bileşke hızlar (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü..	165



TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1 Dünya tarihinde meydana gelen, 100 kişi ve üzerinde ölüm ile sonuçlanan büyük baraj yıkılmaları	4
Tablo 3.1 Ürkmez Barajı prototipinin ve çarpıtılmış fiziksel modelinin geometrik özellikleri	30
Tablo 3.2 Seviye ölçerlerin koordinat sistemindeki konumları	39
Tablo 3.3 UVP algılayıcıların koordinat sistemindeki konumları ile α ve β açıları ...	39
Tablo 4.1 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde farklı noktalarda ölçülen maksimum su derinlikleri, bu derinliklere ulaşma süreleri ve bu değerlere karşılık gelen prototip değerleri	45
Tablo 4.2 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde farklı noktalarda ölçülen maksimum derinlik ortalamalı hızlar, bu hızlara ulaşma süreleri, bu değerlere karşılık gelen prototip değerleri ve bu değerlerdeki değişimler.....	47
Tablo 4.3 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşma süreleri ve bu değerlere karşılık gelen prototip değerleri	52
Tablo 4.4 Bitki örtüsüz, kısmi bitki örtülü ve yoğun bitki örtülü durumlarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda farklı noktalardaki maksimum su derinlikleri, bu derinliklere ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler	53
Tablo 4.5 Bitki örtüsüz, kısmi bitki örtülü ve yoğun bitki örtülü durumlarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşma süreleri ve bu sürelerdeki değişimler	54
Tablo 5.1 Barajın menba bölgesine ait göl topografyasının modelinin oluşturulmasında kullanılan kesitlerin başlangıç kesitine olan modeldeki mesafeleri	88
Tablo 6.1 Bitki örtüsüz durumda farklı zemin pürüzlülükleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri	113
Tablo 6.2 Bitki örtülü durumda farklı zemin pürüzlülükleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri	116
Tablo 6.3 Bitki örtüsüz durumda farklı hücre boyutları için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri	118

Tablo 6.4 Bitki örtüsüz durumda farklı hücre boyutları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri	121
Tablo 6.5 Bitki örtülü durumda farklı hücre boyutları için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri	122
Tablo 6.6 Bitki örtülü durumda farklı hücre boyutları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri	125
Tablo 6.7 Bitki örtüsüz durumda farklı türbülans modelleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri	127
Tablo 6.8 Bitki örtüsüz durumda farklı türbülans modelleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri	130
Tablo 6.9 Bitki örtülü durumda farklı türbülans modelleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri	132
Tablo 6.10 Bitki örtülü durumda farklı türbülans modelleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri	134
Tablo 6.11 Bitki örtüsüz durumda farklı menba başlangıç sınır şartları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri	137
Tablo 6.12 Bitki örtülü durumda farklı menba başlangıç sınır şartları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri	139
Tablo 6.13 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda deneysel çalışmalardan elde edilen maksimum su derinlikleri, bu derinliklere ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler	142
Tablo 6.14 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda sayısal çalışmalardan elde edilen maksimum su derinlikleri, bu derinliklere ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler	143
Tablo 6.15 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda 1 cm ve 3 cm su derinliğinde deneysel çalışmalardan elde edilen noktasal hızların UVP yönündeki bileşenlerine ait maksimum hızlar, bu hızlara ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler	147

Tablo 6.16 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda 1 cm ve 3 cm su derinliğinde sayısal çalışmalardan elde edilen noktasal hızların UVP yönündeki bileşenlerine ait maksimum hızlar, bu hızlara ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler	148
Tablo 6.17 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda deneysel çalışmalarda taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşma süreleri ve bu sürelerdeki değişimler	158
Tablo 6.18 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda sayısal çalışmalarda taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşma süreleri ve bu sürelerdeki değişimler	159
Tablo 6.19 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda RNG türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çalışmalardan elde edilen taşkın dalgasının ana akış doğrultusu boyunca alınan farklı noktalarda 2., 4., 6., 8. ve 10. saniyelerdeki su derinliği değerleri	160
Tablo 6.20 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı türbülans modelleri kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çalışmalardan farklı noktalarda elde edilen maksimum derinlik ortalamalı bileşke hızlar ve bu değerlerdeki değişimler	171
Tablo 6.21 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı türbülans modelleri kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çalışmalardan farklı noktalarda elde edilen maksimum derinlik ortalamalı bileşke hızlara ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler	172

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Barajlar; içme ve kullanma suyu temini, endüstriyel su temini, sulama suyu temini, hidroelektrik enerji üretimi, taşkın kontrolü, rekreasyon vb. gibi amaçlarla inşa edilmektedir. Ülkemizde, özellikle doğal ve ekonomik enerji üretiminin sağlanması amacıyla yapılan hidroelektrik enerji üreten barajların sayısı ile tarımsal alanların sulanması amacıyla yapılan barajların sayısı hızla artmaktadır.

Topluma önemli faydalar sağlayarak yaşam standartlarını iyileştiren ve toplumun uygarlık düzeyini arttıran barajlar, yıkılmaları durumunda da aynı topluma son derece büyük felaketler yaşatabilmektedir. Barajlar, oldukça güvenli yapılar olmasına rağmen, insan yapımı diğer pek çok yapı gibi yıkılma riskiyle karşı karşıyadır. Baraj haznesinde biriktirilen büyük miktardaki su, barajın ani yıkılması sonucunda veya baraj gövdesinde oluşabilecek bir gedikten, mansap bölgesine doğru hızla yayılan bir taşkın dalgasına dönüşebilmektedir. Baraj yıkılması sonucu meydana gelen taşkın dalgası, mansap bölgesinde yaşayan insanların can ve mal kayıplarına neden olabileceği gibi, alt yapıda da büyük hasarlara sebep olabilmektedir.

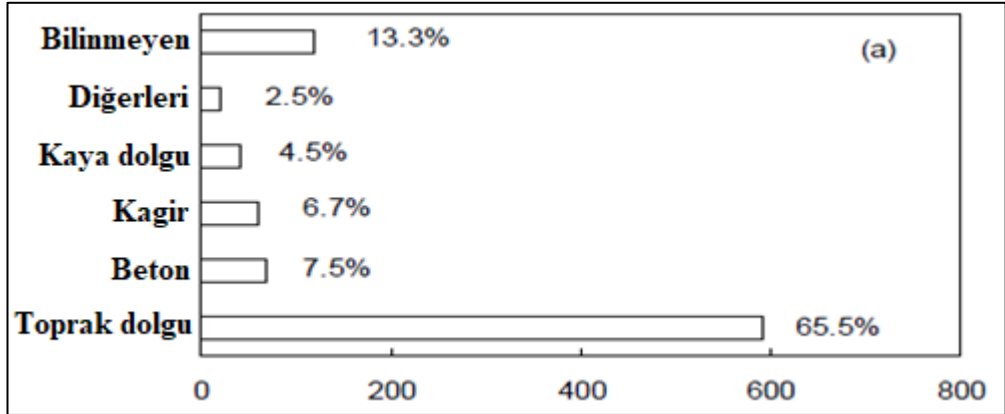
Hidrolik yapıların yıkılmalarını, yapısal yıkılma ve performans dayalı yıkılma olmak üzere iki tipte sınıflandıran Tung ve Yen (1993)'e göre; yapısal yıkılma, hasarı ya da yapının veya özelliklerinin değişmesini kapsar. Böylece yapı, istenildiği gibi çalışmaz. Ancak performans yıkılmasında, yapının performans sınırları aşılır ve yapıda istenmeyen sonuçlarla karşılaşılır. Genel olarak baraj ve seddeler yapısal yıkılma kavramına dayalı olarak tasarlanırlar (Yenigün ve Sepetçioğlu, 2012, s. 394).

Foster, Fell ve Spannagle (2000), Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (International Commission on Large Dams, ICOLD)'nun verilerini ve 1986'ya kadar inşa edilmiş barajlara ilişkin bilgileri kullanarak dolgu barajların yıkılma

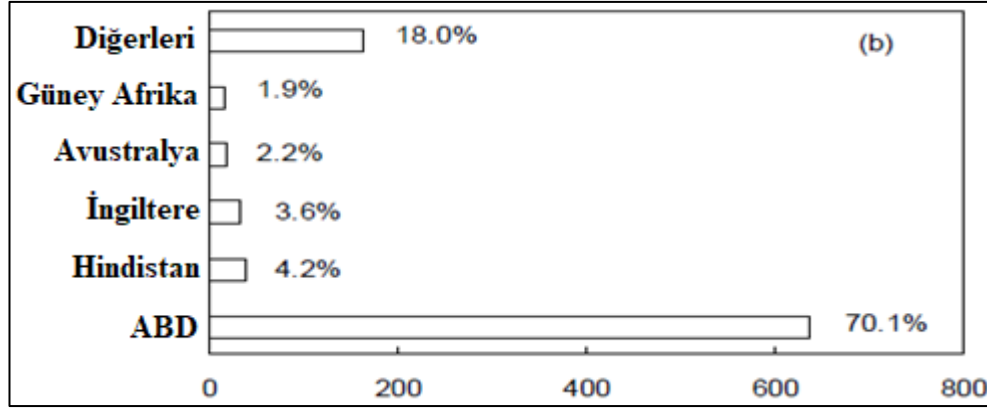
istatistiklerini özetlemişlerdir. Bu yıkılmaların %35,9'unun üstten su aşması, %5,5'inin kayma, %1,6'sının deprem nedeniyle oluşan sıvılaşma ve %46,1'inin borulanma nedeniyle meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Da Silveira (1990), baraj tiplerinin yıkılma olasılıklarını, tamamlanma zamanlarına göre ve yüksekliklerine göre karşılaştırmıştır. Yaptığı çalışmada, 1900 yılından sonra yapılan 15 m'den yüksek 90 adet barajı incelemiş, yıkılma sebeplerini araştırmış ve hemen hemen yarısının üstten su aşması sonucu meydana geldiğini belirlemiştir. İncelediği baraj yıkılmalarının %41'inin yetersiz tasarlanmış dolusavak nedeniyle meydana geldiğini, %21'inin ise dolusavak kapak işletme sorunları neticesinde suyun barajın üzerinden aşması sonucu gerçekleştiğini belirlemiştir.

Zhang, Xu ve Jia (2007), A.B.D, İngiltere ve Hindistan gibi ülkelerin de aralarında bulunduğu, 50'den fazla ülkede meydana gelen baraj yıkılması olayları incelemiş ve bu yıkılmaların baraj tiplerine göre (kaya dolgu, kagir, beton, toprak dolgu vb.) ve ülkelere göre dağılımlarını belirlemişlerdir. Baraj yıkılmalarının baraj tiplerine göre dağılımı Şekil 1.1'de, ülkelere göre dağılımı Şekil 1.2'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Baraj yıkılmalarının baraj tiplerine göre dağılımı (Zhang ve diğer., 2007)



Şekil 1.2 Baraj yıkılmalarının ülkelere göre dağılımı (Zhang ve diğer., 2007)

Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgasına ait pik debiye ulaşma süresi, genellikle birkaç dakikadan başlayıp birkaç saati geçmeyen değerlere sahiptir. Bu parametreler, temelde yıkılma türüne ve baraj türüne bağlıdır. Örneğin, aşınabilir dolgu barajlar, borulanma ve üstten su aşması sonucu kademeli olarak yıkılırken, beton ağırlık ve kemer barajlar genellikle çok hızlı bir şekilde devrilme ve kayma sonucu yıkılırlar. Baraj yapısının aniden ortadan kalktığı ve rezervuarda biriken suyun serbest kalarak hızlı bir şekilde mansap bölgesine doğru yayıldığı yıkılma türü en kötü yıkılma türüdür ve en olası zararlar bu tür yıkılma sonucu meydana gelir (Singh, 1996). Dolgu barajlarda meydana gelen yıkılma, aşamalı ve zamana bağlı bir şekilde gerçekleşirken; beton barajlarda meydana gelen yıkılma, ani bir şekilde tamamen veya kısmen yıkılma şeklinde gerçekleşmektedir (Kocaman, 2007). Yıkılma süresi uzadıkça pik debi azalırken, gedik şekilleri büyüdükçe pik debi artar (Park, 2007).

Baraj yıkılması, barajın mansap bölgesinde yaşayan insanların can ve mal güvenlikleri açısından büyük bir tehlike oluşturmaktadır. Dünya tarihinde meydana gelen, 100 kişi ve üzerinde ölüm ile sonuçlanan büyük baraj yıkılmaları Tablo 1.1’de gösterilmektedir.

Tablo 1.1 Dünya tarihinde meydana gelen, 100 kişi ve üzerinde ölüm ile sonuçlanan büyük baraj yıkılmaları (Wikipedia, b.t.)

Sıra	Baraj	Yıl	Ülke	Ölü Sayısı
1	Banqiao ve Shimantan	1975	Çin	171000
2	Machchu-2	1979	Hindistan	5000
3	South Fork	1889	ABD	2208
4	Sempor	1967	Endonezya	138
5	Vajont	1963	İtalya	2000
6	Kurenivka mudslide	1961	SSCB	145
7	Möhne	1943	Almanya	1579
8	Tigra	1917	Hindistan	1000
9	Panshet	1961	Hindistan	1000
10	Iruka Lake	1868	Japonya	941
11	Puentes	1802	İspanya	608
12	St. Francis	1928	ABD	451+
13	Malpasset	1959	Fransa	423
14	Gleno	1923	İtalya	356
15	Val di Stava	1985	İtalya	268
16	Koshi Barrage	2008	Nepal	250
17	Dale Dike	1864	İngiltere	244
18	Canyon Lake	1972	ABD	238
19	Brumadinho	2019	Brezilya	270
20	Kantale	1986	Sri Lanka	180
21	Tangiwei	1953	Yeni Zelanda	151
22	Vega de Tera	1959	İspanya	144
23	Mill River	1874	ABD	139
24	Buffalo Creek	1972	ABD	125
25	Heiwaike Lake	1951	Japonya	117
26	Sella Zerbino	1935	İtalya	111
27	Taisho Lake	1951	Japonya	108
28	Mina Plakalnitsa	1966	Bulgaristan	107
29	Walnut Grove	1890	ABD	100
30	El Cobre	1965	Şili	350-400

Tarihteki en büyük baraj felaketinde, Çin’de 8 Ağustos 1975’te yıllık yağış miktarının sadece 24 saat içinde düşmesi ile Banqiao (Şekil 1.3) ve Shimantan Barajları yıkılmış, 62 adet büyüklü küçüklü barajın da yıkılması ile 11 milyon

kişinin yaşamı etkilenmiş, taşkın sırasında 26000, sonraki süreçte açlık ve salgın hastalıklar nedeniyle 145000 kişi yaşamını yitirmiş (toplam 171000 ölü), sayısız insan yaralanmış, 5960000 bina yıkılmıştır (Abay, Baykan ve Baykan, 2015, s. 165).



Şekil 1.3 Yıkılan Banqiao Barajı (Çin, 1975) (Tyrell, 2016)

Geçmişte yaşanmış ve büyük felaketlere sebep olan baraj yıkılmaları, günümüzde de meydana gelmeye devam etmekte olup gelecekte de yaşanmaya devam edecektir. Yakın zamanlarda da dünyanın farklı yerlerinde meydana gelen ve ekonomik yitimler ile ölümlere sebebiyet veren baraj yıkılmaları görülmüştür. 2021 yılında Hindistan’da meydana gelen Rishiganga Barajı yıkılmasında 61 kişi, 2019 yılında Hindistan’da meydana gelen Tiware Barajı yıkılmasında 23 kişi, Brezilya’da meydana gelen Brumadinho Barajı yıkılmasında 270 kişi hayatını kaybetmiştir (Wikipedia, b.t.).

Ülkemizde işletme halindeyken meydana gelen bir baraj yıkılması olayı olmamakla birlikte, Asi Nehri üzerinde bulunan Suriye’deki bir dolgu baraj olan Zeyzoun Barajı’nın 2002 yılında yıkılması sonucu 22 kişi hayatını kaybetmiş (Wikipedia, b.t.) ve bu yıkılma sonucu Hatay’da bulunan bazı tarım alanları sel altında kalmıştır.

Amerika Birleşik Devletleri’nde 1970’li yıllarda oluşan Buffalo Creek Coal-Waste Barajı, Teton Barajı, Toccoa Barajı ve Laurel Run Barajı yıkılmaları bu ülkede dikkatlerin baraj yıkılma konusuna yönelmesine neden olmuştur. Bu konuda 70’li yıllarda başlayan ve günümüze dek süren ciddi çalışmalar yapılmış ve halen devam

etmektedir. 1975 yılında Amerika’da hazırlanan ve 50000 kadar küçük ve büyük barajın incelendiği bir baraj envanter çalışmasına göre bu ülkede 20000 kadar baraj, bulundukları konum itibariyle yıkılma halinde mal ve can kaybına yol açacak durumdadırlar. Ülkemizde de benzer bir çalışmanın yapılmasının gerekliliği açıktır. Ancak böylesine bir envanter çalışması sonucunda hassas bölgeler daha kesin olarak ortaya çıkacaktır (Bozkuş, 2004, s. 3337).

Türkiye’de baraj güvenliği çalışmalarının tarihine bakıldığında, uygulamaya yönelik baraj güvenliği çalışmalarının DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü) öncülüğünde fakat dünya ülkelerinden çok sonra başladığı görülmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmalar 1998’de Baraj Emniyeti Çalışma Programı’nın hazırlanması, 2001’de bu programın ara raporunun yazılması, 2002’de yeni çalışma programının yazılması, 2003’te Baraj Emniyet Rehberi taslağının hazırlanması, 2005’te Baraj Emniyeti Şube Müdürlüğü’nün kurulması olarak sıralanabilir. Ayrıca 2004 yılında bir grup akademisyen ve genç mühendis tarafından ülkemizde barajlar ile ilgili ilk sivil toplum kuruluşu olan Baraj Güvenliği Derneği kurulmuştur (Abay ve diğer., 2015, s. 162).

Genellikle, baraj yıkılmasıyla oluşan debinin büyüklüğü, geçmişte meydana gelen bütün taşkınlardan daha büyük değerler almakta ve insanları uyarı süresi de daha kısa olmaktadır (Bozkuş ve Güner, 2001). Baraj yıkılması sonucunda meydana gelen zararların azaltılması, barajın mansabında bulunan yerleşim bölgelerinin, yüksek büyüklükte pik debiye sahip taşkın dalgası ulaşmadan kısa zamanda boşaltılması ile sağlanabilir.

Baraj yıkılması sonucu oluşabilecek felaketin mümkün olan en az hasarla atlatılabilmesi için, taşkın dalgasının yayılma zamanına ait tahminlerin yapılması ve sel altında kalabilecek alanların önceden belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, barajın menba, gövde ve mansap bölgelerini kapsayan fiziksel ve sayısal modeller kullanılarak baraj yıkılması senaryolarının gerçekleştirilmesi ve bu senaryolar sonucu oluşan taşkın dalgasının yayılma yönü, akış hızı ve su derinliği ile ilgili doğru ve güvenilir verilerin elde edilmesi son derece önemlidir.

Baraj yıkılması senaryolarıyla ilgili yapılan çalışmalarda, doğru ve güvenilir verilerin elde edilebilmesi için, barajın mansap bölgesinin yapısı iyi bir şekilde araştırılmalıdır. Mansap topografyası, mansap bölgesindeki yerleşim alanları, mansap bölgesindeki bitki örtüsünün tipi ve yoğunluğu, baraj yıkılması sonucu oluşabilecek taşkın dalgasının yayılma yönüne, hızına ve su derinliğine etki edebilecek faktörlerdir.

Bu çalışmada, İzmir ili Seferihisar ilçesinde bulunan Ürkmez Barajı'nın olası yıkılma senaryosu durumunda, meydana gelebilecek taşkın dalgasının barajın mansap bölgesinde ulaşabileceği bölgelerin, bu bölgelerdeki su derinliklerinin ve taşkın dalgasının yayılma hızının, kısmi bitki örtüsü yapısından nasıl etkileneceği hususunda, doğru ve güvenilir verilerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmasında, baraj yıkılması sonucu oluşabilecek taşkın dalgasının yayılması, Ürkmez Barajı'nın baraj gölünü, baraj gövdesini, baraj gövdesinden deniz kıyısına kadar olan mansap bölgesindeki Ürkmez yerleşim alanını ve kısmi bitki örtüsü yapısını içeren 1/150 yatay ölçeğe ve 1/30 düşey ölçeğe sahip modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Literatürde yerleşim alanlarını içeren, ölçekli, bu denli büyük üç boyutlu modellerin kullanıldığı çalışmaların ve bitki örtüsünün taşkın dalgasının yayılması üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmaların sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu çalışmada Ürkmez Barajı'nın menba ve mansap bölgeleri detaylı bir şekilde analiz edilip modele yansıtılarak ve mansap bölgesindeki kısmi bitki örtüsü yapısının taşkın dalgasının yayılımı üzerine etkisi araştırılarak, bu alanda yapılan çalışmalara yenilik getirilmesi ve katkı sağlanması amaçlanmıştır. Mansap bölgesinin farklı yerlerinde su derinliği ve hız ölçümlerinin modern ölçüm cihazları kullanılarak gerçekleştirildiği deneyler ile FLOW-3D yazılımı kullanılarak türbülans etkilerini de göz önüne alacak şekilde simülasyonlar yapılarak, gerçek baraj yıkılması senaryolarına uygulanabilecek modelin elde edilmesi amaçlanmıştır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Tez çalışmasının birinci bölümünde; dünyanın farklı bölgelerinde ve farklı zamanlarda meydana gelen baraj yıkılması olayları incelenmiş, bu baraj yıkılmalarının

neden olduğu hasarlar, baraj yıkılmalarının meydana gelme nedenleri, baraj yıkılmalarının baraj tiplerine göre dağılımları gibi istatistiksel çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir. Baraj güvenliği konusunun önemine değinilerek bu tez çalışmasının amacı ve kapsamı verilmiştir.

İkinci bölümde; literatürde baraj yıkılmasını ve taşkın dalgasının yayılmasını araştırmak amacıyla açık kanallar ve fiziksel modeller kullanılarak yapılan deneysel çalışmalar ile sayısal çalışmalar verilmiştir.

Üçüncü bölümde; İzmir ili Seferihisar ilçesinde bulunan Ürkmez Barajı'nın olası yıkılma senaryosu durumunda, meydana gelebilecek taşkın dalgasının barajın mansap bölgesinde ulaşabileceği bölgelerin, bu bölgelerdeki su derinliklerinin ve taşkın dalgasının yayılma hızının, kısmi bitki örtüsü yapısından nasıl etkileneceğinin belirlenebilmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan çarpıtılmış fiziksel modelin tasarımı ve inşaatı anlatılmıştır. Deneysel çalışmalarda su derinliği ölçümlerinde kullanılan seviye ölçüm cihazı ve seviye ölçüm çubuklarının kullanım ve ölçüm prensipleri, hız ölçümlerinde kullanılan UVP algılayıcıları ve ultrasonik hız ölçüm cihazının kullanım ve ölçüm prensipleri ile taşkın dalgasının mansap bölgesindeki yayılmasının görüntülenme prensipleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde; bitki örtüsü ve bitki örtülü olarak yapılan deneylerde, seviye ölçüm çubuklarından elde edilen su derinliklerine ve UVP algılayıcılarından elde edilen hızlara ait deneysel bulgular, grafikler ve tablolar haline getirilerek verilmiştir. Ayrıca, kısmi bitki örtüsü yapısının taşkın dalgasının yayılmasına etkisi kamera görüntüleriyle verilmiştir.

Beşinci bölümde; sayısal çalışmada kullanılan FLOW-3D yazılımı ile ilgili temel bilgiler, yazılımın kullandığı temel yaklaşımlar ve bu yaklaşımların çözüm yöntemleri anlatılmıştır. Barajın mansap bölgesine ait topografyanın, mansap bölgesindeki evlerin, kısmi bitki örtüsü yapısının ve barajın menba bölgesine ait topografyanın modellerinin AutoCAD, AutoCAD Civil 3D, 3D Builder ve SketchUP yazılımları kullanılarak oluşturulma aşamaları anlatılmıştır. Ayrıca, oluşturulan sayısal modelin

FLOW-3D yazılımına aktarılması, FLOW-3D yazılımında kullanılan menüler, yazılıma girilen parametreler ve analiz sonuçlarının elde edilmesi ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Altıncı bölümde; mansap bölgesinin bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumları için; farklı zemin pürüzlülükleri, hücre boyutları, türbülans modelleri ve menba başlangıç sınır şartları kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlardan elde edilen sonuçların deneysel bulgularla karşılaştırılmasıyla performans olarak en uygun sayısal model belirlenmiştir. Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlar için en uygun sayısal modelden elde edilen su derinliklerine, hızlara ve taşkın dalgasının yayılmasına ait bulguların deneysel bulgularla karşılaştırılması şekiller ve tablolar halinde verilmiştir.

Yedinci bölüm; sonuçların değerlendirilmesini ve önerileri kapsamaktadır.

BÖLÜM İKİ

KONUyla İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Literatürde baraj yıkılması ve taşkın dalgasının yayılmasıyla ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır. Araştırmalar; topografya, yerleşim alanı ve bitki örtüsü gibi faktörlerin taşkın dalgasına ait akış özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar, laboratuvarında açık kanallar veya fiziksel modeller kullanılarak yapılan deneysel çalışmalar ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği (Computational Fluid Dynamics, CFD) kullanılarak yapılan sayısal çalışmaları kapsamaktadır.

Baraj yıkılma probleminin incelenmesi aşamasında yapılan deneysel çalışmalar, gerçek bir baraj yıkılması olayının anlaşılmasında ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçların doğrulanmasında kritik rol oynamaktadır. Baraj yıkılması sonucu meydana gelen taşkın dalgalarının tahminiyle ilgili yapılan çalışmalar, genellikle sınırlı veriyle doğrulan sayısal tahminlere dayanır. Baraj yıkılma akışıyla ilgili, çeşitli sayısal çalışmalar mevcut olmasına rağmen, deneysel çalışmaların sayısı daha azdır (Lauber ve Hager, 1998; Stansby, P.K., Chegini, A. ve Barns, T.C.D., 1998; Kocaman ve Özmen-Çağatay, 2015).

Taşkın dalgasının bina ve yapılar üzerindeki etkisi incelendiğinde; Soetanto ve Proverbs (2004), taşkın dalgasının yayılma hızının su derinliğine göre daha yüksek olasılıkla yapısal hasara sebebiyet verdiğine, Amerikan Ordusu Mühendisler Birliği (U.S. Army Corps of Engineers, USACE) ise hızın başlıca etken olduğuna işaret etmiştir (Adegoke, Atherton ve Al Khaddar, 2014).

Yapılan deneysel çalışmaların çoğunu problemin 3-boyutlu doğasının dikkate alınmadığı ve yatay dikdörtgen kanalda gerçekleştirilen deneyler oluşturmaktadır. Bu çalışmalarda, menba veya mansapta bulunan belirli noktalarda su seviyelerinde meydana gelen değişimlerin noktasal olarak ölçüldüğü ve sınırlı bilgilerin elde edildiği görülmüştür. 3-boyutlu olarak gerçekleştirilen baraj yıkılması ile ilgili deneysel ve

nümerik çalışmalar incelendiğinde, bu konudaki çalışmaların sınırlı kaldığı görülmektedir (Kocaman ve Güzel, 2011).

Son zamanlarda bitki örtüsüyle kaplı bir kanaldaki akışı inceleyen deneysel ve sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda, bitki örtüsünün genellikle akış direncini arttırdığı ve hız dağılımını değiştirdiği görülmüştür (Yang, Cao ve Knight, 2007).

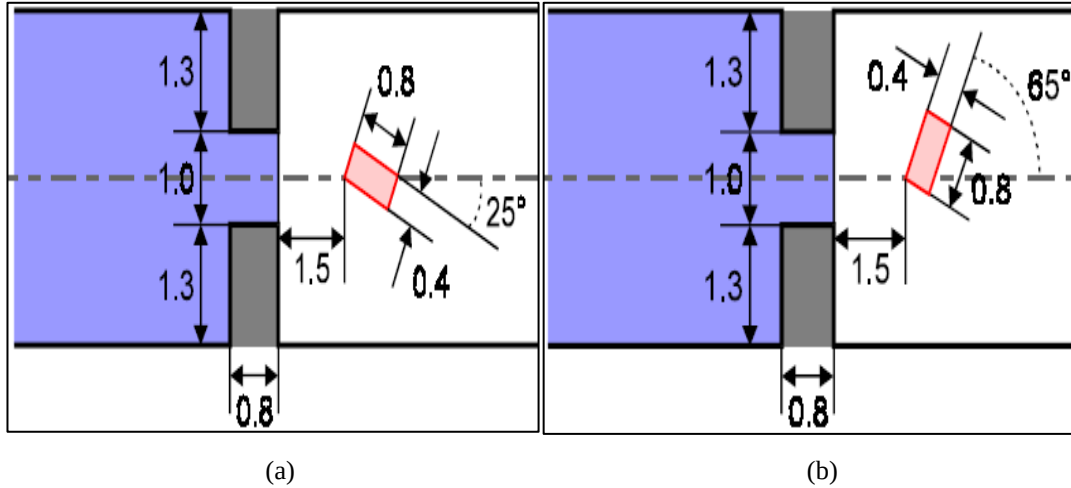
Bitki örtüsü yapısı, taşkın kontrolünde önemli bir rol oynar. Fakat aynı zamanda, taşkın dalgasının yayılması yolunda istenmeyen bir engel teşkil eder. Su yolundaki nehir kenarı bitki örtüsü, kanalın daralmasına sebep olur ve nehrin taşıma kapasitesini azaltır. Bitki örtüsü pürüzlülüğüne bağlı oluşan direnç, akış hızını belirgin şekilde azaltır, nehirle ilgili süreçleri değiştirir ve su yolu morfolojisini etkiler. Otlar, çalılar ve mangrovlar gibi bitki örtüsü sık sık su yollarında, taşkın alanlarında ve kıyı sularının yakınındaki yerlerde yetişir. Bitki örtüleri, su seviyelerinin düzenlenmesine, suyun temizliğinin iyileştirilmesine, önemli balık ve vahşi yaşam habitatlarının sağlanmasına ve rekreasyonel faaliyetlerin desteklenmesine faydalı olabilirler. Öte yandan taşkın yatağındaki bitki örtüsü harekete engel teşkil ederek, taşkın riskini en üst seviyeye çıkarabilir (Zhang ve diğer., 2016).

Kıyı mühendisleri iklim değişikliğinin ve doğal afetlerin etkilerini azaltmak için sürdürülebilir çözümler aradıkça, bitki örtüsünün dalga zayıflatmasına olan ilgileri de artmıştır. Kıyı bitki örtüsü genellikle, su sütunundaki bitki örtüsünün konumuna ve bitki örtüsünün yüksekliğine bağlı olarak, su altı, su üstü ve asılı bitki örtüsü olarak sınıflandırılır (Chen, Chen, Zhan ve Liu, 2016).

Lauber ve Hager (1998), baraj yıkılması dalgasını yatay dikdörtgen bir kanalda deneysel ve analitik olarak araştırmışlardır. Deneylerini 14 m uzunluğunda ve 0,5 m genişliğinde kanalda gerçekleştirmişlerdir. Analitik olarak belirledikleri pozitif ve negatif dalga önlerinin deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu ve hazne uzunluğu/haznedeki başlangıç su derinliği oranının akış derinliği ile hızlara ilişkin sonuçlara önemli bir etkisinin olduğunu söylemişlerdir.

Nsom, Debiane ve Piau (2000), baraj yıkılması problemini, 0,30 m genişliğinde, 5 m uzunluğunda ve 0,08 m yüksekliğindeki eğimli dikdörtgen kesitli şeffaf bir kanalda deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Kanal tabanını başlangıçta yatay olarak almışlar ve daha sonra 3'er derece arttırarak 12 dereceye kadar olan taban eğimleri kullanmışlardır. Dalga önünün ve yüksekliğinin gelişimini video fotoğraflarla belirlemişlerdir. Sayısal çalışmalarında bir boyutlu Navier Stokes denklemlerini kullanmışlardır. Sonuç olarak, taban eğimindeki değişimin dalga önünün gelişimi üzerinde çok fazla bir etkisi olmadığını belirlemişlerdir.

Soares Frazao, Le Grelle ve Zech (2002), taşkın dalgasının tek bir binaya etkisini araştırmak için dikdörtgen bir kanalda deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deneyleri, baraj yakınına yerleştirilen binanın kanal aksıyla 25^0 ve 65^0 açılar yapacak şekilde farklı durumları için gerçekleştirmişlerdir. Kanal, 36 m uzunluğa ve 3,6 m genişliğe sahiptir. Baraj rezervuarı 0,5 m derinliğinde su ile doldurulmuştur. Barajın rezervuarı, 1 m genişliğinde kapak ile kanalın mansap bölgesinden ayrılmıştır. Bina, mansap bölgesinde barajdan 1,5 m uzağa yerleştirilmiştir ve taşkın akışı altında kalmayacak boyutlara sahiptir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Soares Frazao ve diğer.'nin deneysel çalışmalarında kullandıkları bina test durumu için deney düzeneği (a) test 1, (b) test 2 (Soares Frazao ve diğer., 2002)

Çalışmalarında su seviyelerini, bazı noktalara yerleştirilen su seviye ölçerleri aracılığıyla ölçmüşlerdir. Akışı kayıt altına almak için kameralar ve akışın binaya yaptığı darbeyi ölçmek için basınç ölçerler kullanmışlardır. Ön dalganın şeklinin

binadan etkilenmesine rağmen, yayılma hızının tüm açılar için neredeyse değişmediğini ve binanın akış üzerinde sadece yerel olarak önemli bir etkisinin olduğunu ifade etmişlerdir.

Soares Frazao, Lories, Taminiau ve Zech (2003), baraj yıkılması sonucu oluşan akışı ve akıştaki türbülans etkilerini ani genişlemenin olduğu bir kanalda, deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Belirli noktadaki su derinliklerini ölçmek için noktasal su derinlik cihazlarını ve su yüzeyi profillerini çıkarmak için kanalın cam duvarlarından elde ettikleri video görüntülerini kullanmışlardır.

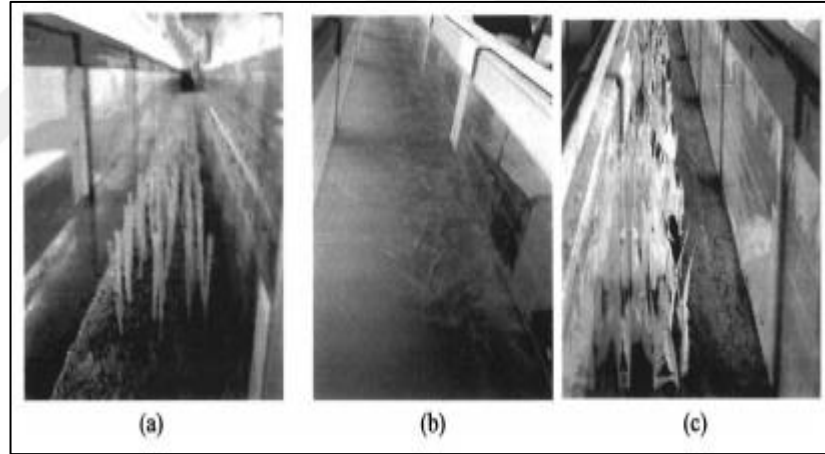
Bukreev (2005), 7,20 m uzunluğunda, 24 cm yüksekliğinde ve 20 cm genişliğinde cam duvarlara ve yatay metal bir tabana sahip dikdörtgen kesitli bir kanalda baraj yıkılması deneyleri gerçekleştirmiştir. Taşkın dalgasını, kanalın tabanına yerleştirdiği dikdörtgen bir eşiğin ortasında ve üzerinde bulunan 1,5 cm kalınlığındaki kapağı ani olarak kaldırmak suretiyle oluşturmuştur. Deneylerinin çoğunda dikdörtgen eşik, birkaç deneyde ön kenarı 30°'lik açıyla tabana doğru eğimli eşik kullanmıştır. Farklı eşik durumlarında su yüzeyi seviye değişimlerini video kameradan elde ettiği görüntüler yardımıyla belirlemiştir.

Vasquez ve Leal (2006), 8 m uzunluğunda ve 0,50 m genişliğinde dikdörtgen kesitli bir kanalda deneysel ve sayısal olarak baraj yıkılması çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. 2,40 m x 2,40 m boyutlarındaki haznenin çıkışındaki kapağı kaldırmak suretiyle oluşturdukları baraj yıkılması akışının kanaldaki yayılmasını gözlemlemişler, baraj yıkılması akışını sonlu elemanlar yöntemiyle iki boyutlu olarak modellemişler ve modeli deneysel sonuçlarla doğrulamışlardır.

Anderson, Rutherford ve Western (2006), nehir kıyısındaki bitki örtüsünün taşkın hidrografının şekli üzerindeki ve taşkın yayılımının hızı üzerindeki etkisini ölçmeye yarayan bir model üzerinde çalışmışlardır. Saint-Venant denklemlerini çözmek için bir boyutlu akış modeli (FLDWAV) kullanmışlardır. Kıyı kenarı bitki örtüsünün hidrolik özelliklerini, akış derinliğinin ve kesit geometrisinin bir fonksiyonu olan Manning 'n' katsayısının kullanıldığı bir model ile hesaplamışlardır. Sonuç olarak, bitki örtüsü ile

oluşturulan kanal pürüzlülüğünün, dalga hızının önemli bir belirleyicisi olduğunu, küçük taşkınların büyük taşkınlara göre pürüzlülükten daha çok etkilendiklerini ifade etmişlerdir.

Yang ve diğer. (2007), dallar, çalılar ve çimenler gibi farklı bitki örtüsü tiplerinde deneysel olarak akımların hız dağılımlarını araştırmışlardır. Çalışmalarında, yerel hızları ölçmek için Akustik Doppler Hız Ölçüm Cihazı (Acoustic Doppler Velocimeter-ADV) kullanmışlardır. Deneylerini asimetrik bir birleşik kanalda gerçekleştirmişlerdir. Taşkın yatağında bitki örtüsü tipi olarak çimenler, çalılar ve ağaçlar için sırasıyla plastik çimen, ördek tüyleri ve plastik kamışlar kullanmışlardır (Şekil 2.2). Hızın ana kanal/ taşkın yatağı arayüzünde azaldığını, yatak eğimi farklı olsa da hız dağılımlarının benzerlik gösterdiğini ve en çok ağaç dalları pürüzlülüğünde azaldığını ifade etmişlerdir.

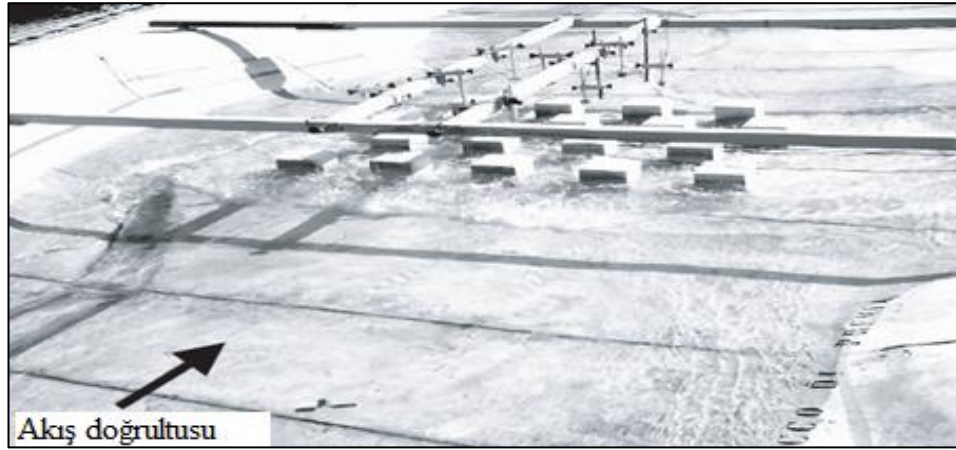


Şekil 2.2 Yang ve diğer.’nin deneysel çalışmalarında kullandıkları farklı tip bitki örtüsü modelleri (a) ağaç, (b) çimen, (c) çalı (Yang ve diğer., 2007)

Wu, Wang ve Jiang (2007), bitki örtülü kanalda hidrodinamik araştırma yapmanın önemini vurgulamış, bitki örtülü kanalda akış direnci ve türbülans mekanizması ile ilgili yapılan çalışmaları anlatmışlardır.

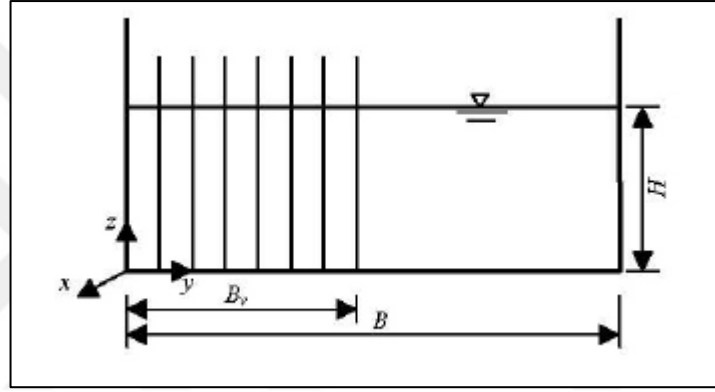
Alcrudo ve Mulet (2007), Tous Barajı yıkılmasına ait bir taşkın modeli geliştirmişlerdir. Çalışmalarında, İspanya’da 20 Ekim 1982 yılında meydana gelen Tous Barajı’nın yıkılması sonucu, barajın 5 km mansabında yer alan Sumacarcel kasabasında meydana gelen taşkın olayını ve Sumacarcel kasabasının su altında kalmasının etkilerini simüle etmişlerdir. Modellerinden elde ettikleri veri seti, kentsel alanlar dahil taşkın yayılımının sayısal modellerini test etmek amacıyla yapılan IMPACT (Investigation of extreMe flood Processes And unCerTainty) isimli bir ortak Avrupa projesi ile test edilmiş ve doğrulanmıştır.

Testa, Zuccala, Alcrudo, Mulet ve Soares-Frazao (2007), Toce River vadisinin yerleşim alanına karşılık gelen 1:100 ölçekli ve 50 m uzunluğundaki modeli üzerinde taşkın dalgasının yayılmasını araştırmışlardır. Yerleşim alanındaki binaları 15 cm boyutunda küp beton bloklarla temsil ederken, baraj rezervuarını temsilen su tankı kullanmışlardır. Çeşitli şehir modeli konfigürasyonları için belirli konumlardaki su derinliklerini belirlemişlerdir. Kentsel bölgenin taşkın yayılması önünde bir engel oluşturduğunu ve binaların önünde güçlü hidrolik sıçramaya neden olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca taşkın dalgası şehre girdiğinde karmaşık bir akış düzeninin oluştuğunu belirtmişlerdir. Deneysel çalışmalarda kullanılan binaların yerleşimi Şekil 2.3’te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Testa ve diğer.’nin deneysel çalışmalarında kullandıkları binaların yerleşimi (Testa ve diğer., 2007)

Chen, Huai, Han ve Zhao (2010), kısmen bitki örtülü dikdörtgen kesitli bir kanalda, sabit uniform bir akışta, derinlik ortalamalı hızları ve Reynolds gerilmelerini araştırmışlardır. Kısmen bitki örtülü kanalın şematik görünümü Şekil 2.4'te verilmiştir. Momentum denklemi boyutsuz olarak ifade edilmiş ve derinlik ortalamalı hızı elde etmek için çözülmüştür. Yapay rijit bitki örtülü durumda, sabit uniform akışı ölçmek için ADV Hız Ölçüm Cihazı kullanmışlardır. Ölçülen veriler ile hesaplanan sonuçları incelediklerinde, uyguladıkları yöntemin akış yönündeki hızın tahmininde ve kısmen bitki örtülü dikdörtgen kanallarda Reynolds gerilmelerinin tahmininde başarılı olduğunu ifade etmişlerdir.



Şekil 2.4 Chen ve diğer.'nin çalışmalarında kullandıkları kısmen bitki örtülü kanalın şematik görünümü (Chen ve diğer., 2010)

Özmen-Çağatay ve Kocaman (2011), baraj yıkılması olayını bir engel olması durumunda, 8,9 m uzunluğunda, 0,30 m genişliğinde ve 0,34 m yüksekliğindeki dikdörtgen kesitli yatay bir kanalda deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Kanalın tabanı ve yan duvarları, 9 mm kalınlığında camdan yapılmıştır. Baraj kapağı, kanal girişinden 4,65 m uzağa yerleştirilmiş ve kanalın menba bölümünü rezervuar olarak ayırmıştır. Kanalın mansap bölgesini tamamen kuru tutmuşlardır. Serbest su yüzeyi profillerini, mansap kanalı boyunca üç kamera ile senkronize olarak kaydetmişlerdir. Sayısal çalışmalarında, k- ϵ türbülans modeli kullanarak FLOW-3D ile baraj yıkılması simülasyonları gerçekleştirmişler ve sayısal sonuçları deneysel sonuçlarla doğrulamışlardır.

Katul, Poggi ve Ridolfi (2011), su altı bitki örtüsünün oluşturduğu akış direnci için analitik bir model önermişlerdir. Model akış direncinin; bitkinin yaprak alanı yoğunluğu, kanopi yüksekliği ve suyun derinliği ile değiştiğini tahmin etmektedir.

Wu, Guo, Fu ve Chen (2012), mangrov bitkili ortamlarda akış direnci için momentum denklemine dayanan matematiksel modeller araştırmışlardır. Mangrovun akış direnci üzerindeki etkisini, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan Fluent ile analiz etmişlerdir. Sonuçlar taşkın dalgasının sönümlenmesinin; bitki örtüsündeki boşluk oranıyla, bitki örtüsü yapısının genişliğiyle ve dalga derinliğiyle ilişkili olduğunu göstermiştir.

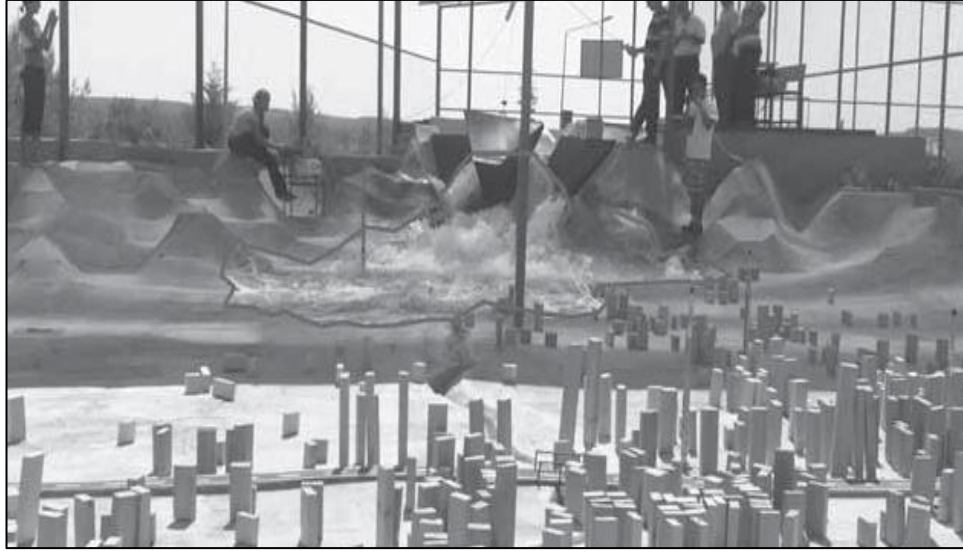
Tayfur ve Güney (2013) ve Tayfur, Güney ve Bombar (2013), trapez şeklindeki bir gedikten kaynaklanan kısmi baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgasının yayılmasını, Ürkmez Barajı'nın rezervuarını, gövdesini ve mansap bölgesini içeren 1/150 yatay ölçeğe ve 1/30 düşey ölçeğe sahip fiziksel modelini kullanarak araştırmışlardır. Modelde, mansap taşkın yatağının topografya, evler, yollar ve köprüler gibi tüm önemli özellikleri temsil edilmiştir. Taşkın dalgasına ait su derinlikleri e+ Water L seviye sensörleri kullanılarak ölçülmüştür. Deneysel sonuçlar, yerleşim alanının dakikalar içinde önemli mertebeye varan derinliğe sahip sular altında kalabileceğini göstermiştir.

Zhang, Hao, Zhang ve Wu (2013), bitki örtülü ve bitki örtüsüz durumda dalga yayılması simülasyonu için iki boyutlu sayısal bir model uygulamışlardır. RANS denklemlerinin türbülans kapatması için k- ϵ modelini kullanmışlardır. Bitki örtüsünün etkisi, akış momentum denklemlerinde ve türbülans modelinde, bitki örtüsü direnç kuvveti eklenerek simüle edilmiştir. Navier-Stokes denklemlerinin çözümünde sonlu farklar yöntemi ve serbest yüzeyin izlenmesi için Young's VOF yöntemi kullanılmıştır. Model, bitki örtülü ve bitki örtüsüz kanalda, baraj yıkılması dalga simülasyonu ile düzenli ve rastgele dalgalar ile test edilmiştir. Model, bitki örtülü ve bitki örtüsüz alanlarda dalga yayılmasını ve serbest yüzey değişimlerini doğrulayabilmiştir. Sonuç olarak, bitki örtüsü varlığının, dalga yüksekliğindeki zayıflamayı ve enerji kırılganlığını arttıracaklarını, dolayısıyla gerçek kıyı alanlarında bitki

örtüsü dikilmesi ve kıyı alanlarına yakın yerlerde bitki örtüsünün iyileştirilmesinin taşkın zararlarından korunmak için iyi bir seçim olacağını ifade etmişlerdir.

Larocque, Imran ve Chaudhry (2013), baraj yıkılması durumunda oluşan hız profillerini, deneysel ve sayısal simülasyon sonuçları olarak elde etmişlerdir. Baraj yıkılması olayını, 7,3 m uzunluğunda ve mansap bölgesi kuru olan dikdörtgen kesitli bir kanaldaki kapağı, ani olarak açmak suretiyle gerçekleştirmişlerdir. Ultrasonik Doppler Hız Ölçüm Cihazı kullanarak, kapağın menba ve mansap tarafına yerleştirilen sekiz farklı noktada hız ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Sayısal çalışmalarını hiç türbülans modeli kullanmadan, LES modeli kullanarak ve $k-\epsilon$ modeli kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Türbülans modelinin rezervuardaki hız profili üzerinde etkisinin olmadığını, fakat mansap hız profili üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca en iyi sonucu LES modelinin verdiği görülmüştür.

Güney, Tayfur, Bombar ve Bayram (2013), yatay ölçeği 1/150 ve düşey ölçeği 1/30 olan Ürkmez Barajı'nın çarpıtılmış fiziksel modelinde, trapez şeklinde bir gedik açılarak oluşan baraj yıkılması durumunda, taşkın dalgasının yayılmasını deneysel olarak araştırmışlardır. Su derinliklerini e+ WATER L seviye ölçerleri kullanarak, hızları ise Ultrasonic Velocity Profiler (UVP) algılayıcıları kullanarak belirlemişlerdir. Dalganın yayılmasını kamera ile de kaydetmişlerdir. Hidrolik parametrelerin zamanla değişimlerini analiz etmişler, modelde ölçülen değerleri Froude benzeşim kanunlarını kullanarak doğada karşılaşılabilecek değerlere dönüştürmüşler ve yorumlamışlardır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Güney ve diğer.'nin deneysel çalışmalarında Ürkmez Barajı'nın çarpıtılmış fiziksel modelinde trapez gedik oluşması durumunda taşkın dalgasının yayılması (Güney ve diğer., 2013)

Özmen-Çağatay, Kocaman ve Güzel (2014), baraj yıkılması akışını sayısal olarak, k- ϵ türbülans modeli ile RANS denklemlerini kullanarak ve sığ su denklemlerini kullanarak FLOW-3D yazılımı ile simüle etmişlerdir.

Marsooli ve Wu (2014), bitki örtüsünün taşkın dalgası üzerinde meydana getireceği sönümlemeyi, RANS denklemlerini sonlu hacim yöntemiyle çözen 3 boyutlu bir model kullanarak araştırmışlardır. RANS denklemlerinin türbülans kapatması için Mixing Length modelini kullanmışlardır. Su yüzeyi sınırını VOF yöntemi kullanarak izlemişlerdir. Modeli, bitki örtülü düz ve eğimli yataklar üzerinde yapılan birkaç laboratuvar deneyi ile doğrulamışlardır.

Güney, Tayfur ve Arkış (2015), yatay ölçeği 1/150 ve düşey ölçeği 1/30 olan Ürkmez Barajı'nın çarpıtılmış fiziksel modelinde, trapez ve üçgen şeklinde bir gedik açılarak oluşan baraj yıkılması durumunda ve ani baraj yıkılması durumunda, taşkın dalgasının yayılmasını deneysel olarak araştırmışlardır.

Haltaş, Tayfur ve Elçi (2016), Ürkmez Barajı'nın olası kısmi yıkılması durumunda oluşan taşkın dalgasının kentsel alanda yayılmasını, bir boyutlu HEC-RAS hidrolik modelini ve iki boyutlu FLO-2D hidrolik modelini kullanarak araştırmışlardır.

Mekansal olarak değişen pürüzlülük katsayılarının bulunması için arazi kullanımı ve arazi örtüsü dijital haritaları kullanılmıştır. Binaların taşkın yayılımı üzerindeki etkisi, sayısal modelde alan azaltma faktörü (ARF) ve genişlik azaltma faktörü (WRF) ile temsil edilmiştir. İki boyutlu sayısal model çözünürlüğü, fiziksel modeldeki yerleşik topografya hassasiyetiyle tutarlı olması için 75 m'ye ayarlanmıştır. Sonuçlar, yerleşim bölgesinde akış derinliklerinin yaklaşık 3 m'ye ulaşabileceğini ve barajın yıkılmasından 40 dakika sonra kasabanın büyük bölümündeki evlerin maksimum akış derinliklerinin altında kalacağını ortaya koymuştur. Model, farklı ölçüm noktalarında ölçülen deneysel akış derinlikliği verilerini başarıyla simüle etmiştir.

Zhang, Xu, Li, Qiao ve Zhang (2016), su bitkili ve su bitkisiz durumlar için sabit ve hareketli yatak üzerinde baraj yıkılması akışını incelemişlerdir. Bitkiler taşkına karşı tampon olacak şekilde bir grup halinde yerleştirilmiş ve geçişin daralması sağlanarak akış kısıtlanmıştır. Bitki topluluğunun akış yönünü değiştirdiği ve taşkın hızında değişime sebep olduğu görülmüştür.

He, Wu, Weng, Hu ve Wu (2017), bitki örtülü ve hareketli yatak üzerinde meydana gelen baraj yıkılması akışları için iki boyutlu model oluşturmuşlar ve modeli laboratuvar testleriyle doğrulamışlardır. Çalışmada 6 farklı sayısal senaryo durumu için bitki örtüsünün etkisini araştırmışlar ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, bitki örtüsü bölgesinin, bitki örtüsü yoğunluğunun ve bitki örtüsünün dağılım şeklinin, yatak morfolojisindeki değişimi büyük ölçüde farklılaştırdığını, akışın yönünü değiştirdiğini ve akışı engellediğini ifade etmişlerdir.

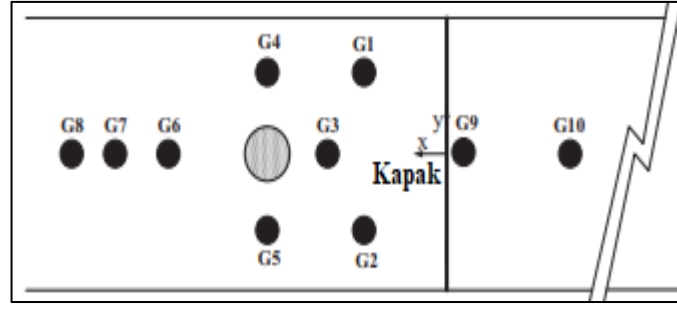
Liu, Sun, Lin ve Lu (2018), 40 m uzunluğunda, 3,5 m genişliğinde ve 0,4 m derinliğindeki yatay bir kanalda deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir (Şekil 2.6). Kanal yatağı ve yan duvarları, şeffaf camdan yapılmıştır. Kanalin 11,5 m uzunluğundaki ve 3,5 m genişliğindeki rezervuar bölümü, 25 m uzunluğundaki ve 2,2 m genişliğindeki kanaldan bir kapak ile ayrılmıştır. Çalışmalarında, kapağı hızlı bir şekilde yukarı doğru kaldırarak baraj yıkılması simülasyonu oluşturmuşlar ve meydana gelen taşkın dalgası yayılmasının bir ev üzerindeki etkisini, farklı noktalara yerleştirdikleri ultrasonik ölçerler yardımıyla kilitlenmemiş kapı senaryosu için ve

kilitlenmiş kapı senaryosu için araştırmışlardır. Kilitlenmemiş kapı senaryosu için, evin menba tarafındaki su derinliğinin hızla arttığını ve taşkın dalgası eve ulaştığında salınmaya başladığını belirlemişlerdir. Kilitli kapı senaryosu ile karşılaştırıldığında, ön kapının açılmasının evin içindeki su seviyesinde önemli bir artışa neden olduğunu ve en yüksek su seviyesinin kilitli kapı senaryosundakinin neredeyse iki katı olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, kapı üzerindeki basınç kuvvetinin etkisinin baraj kapağı ile ev arasındaki mesafeye göre ve evin yönüne göre değiştiğini söylemişlerdir.



Şekil 2.6 Liu ve diğer.'nin deneysel çalışmalarında kullandıkları deney tesisi (Liu ve diğer., 2018)

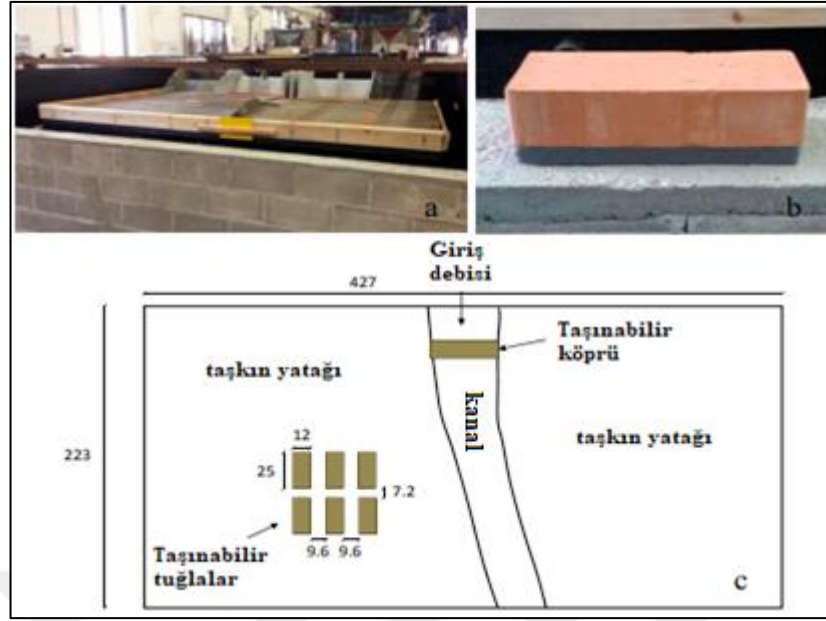
Feizi (2018), mansap bölgesinde bulunan 4 cm çaplı silindirik köprü ayağı engelinin, baraj yıkılması sonucu oluşan akış üzerindeki etkisini araştırmıştır. Deneysel çalışmalarında ve Fluent yazılımı kullanarak gerçekleştirdiği 3 boyutlu sayısal simülasyonlarında, uzun ve geniş olmak üzere iki farklı rezervuar geometrisini göz önünde bulundurmıştır. Uzun rezervuar modelinde, rezervuarın eni 0,51 m ve boyu 3,5 m'dir. Geniş rezervuar modelinde, rezervuarın eni 2 m ve boyu 0,89 m'dir. Köprü ayağı baraj kapağından 1,08 m mesafede bulunmaktadır. Her iki rezervuar modelinde de, mansap bölgesine ait kanalın eni 0,51 m ve boyu 9,3 m'dir. Ölçüm noktalarının ikisi rezervuarın içine, sekiz tanesi mansap bölgesine yerleştirilmiştir (Şekil 2.7). Sayısal çalışmada farklı türbülans modelleri karşılaştırılarak, RNG modelinin kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 2.7 Feizi'nin deneysel ve sayısal çalışmasında kullandığı ölçüm noktaları (Feizi, 2018)

Uzun rezervuarın mansap bölgesindeki G1 ve G3 noktalarında elde edilen deneysel ve sayısal sonuçlar arasındaki ortalama su derinliği farklarının küçük olduğu görülmüştür. Sayısal sonuçlara göre, G1 ve G3 noktalarında elde edilen su derinlikleri maksimum değerlerine geniş rezervuar kullanılması durumunda daha hızlı ulaşmıştır. Kapak açıldıktan sonra 2. ve 4. saniyelerde mansap bölgesindeki G2 ve G6 noktalarında elde edilen hızların, geniş rezervuar kullanılması durumunda daha küçük olduğu görülmüştür.

Beretta, Ravazzani, Maiorano ve Mancini (2018), laboratuvarında kentsel bölgenin ölçekli fiziksel modelini kullanarak deneysel çalışmalar yapmışlardır (Şekil 2.8). Deneylerden elde ettikleri su derinliklerine ve hızlara ait sonuçları, 2 boyutlu matematiksel model simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Matematiksel model simülasyonlarında üç farklı senaryo gerçekleştirmişlerdir. Birinci modelde binaları 1 cm çözünürlüğe sahip detaylı dijital yükseklik modeli (DEM) kullanarak simüle etmişlerdir. İkinci modelde binaları yüksek pürüzlülüğe sahip pürüzlülük alanları ile simüle etmişlerdir (Manning katsayısı=10). Üçüncü modelde ise tüm kentsel alanı yüksek pürüzlülüğe sahip pürüzlülük alanları ile simüle etmişlerdir (Manning katsayısı=0,15). Sonuç olarak, birinci ve ikinci modelin kentsel alanda su derinliği ve hızını simüle etmede benzer doğruluk sağladığını ifade etmişlerdir.



Şekil 2.8 Beretta ve diğer.’nin deneysel çalışmalarında kullandıkları (a) Barajın ve mansap bölgesinin ölçekli fiziksel modeli, (b) kentsel alanı temsil eden alt tarafı kaplayan bir köpük tabakası ile tuğla, (c) giriş debisini, kanalı, taşkın yatağını, kaldırılabilir köprü ve tuğlaları gösteren deney düzeneği (Beretta ve diğer., 2018)

Azimi, Heydari ve Shabanlou (2018), Malpasset Barajı’nın ani yıkılmasına ait simülasyonları FLOW-3D yazılımı kullanarak gerçekleştirmişler ve sonuçları EDF (Electricité de France) fiziksel modelinin sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Türbülans modeli olarak iki denklemlili (k- ϵ) modelini ve RNG modelini kullanmışlardır. Akışa ait serbest su yüzeyi profilini VOF yöntemi kullanarak simüle etmişlerdir. Sayısal ve fiziksel modellerden elde edilen maksimum su derinlikleri karşılaştırıldığında, sonuçların uyumlu olduğu ve RNG modelinin daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Ayrıca, baraj yıkılması sonucu ilerleyen dalganın önünde oluşan maksimum hızın, mansap bölgesinde artan su derinliği nedeniyle azaldığı görülmüştür.

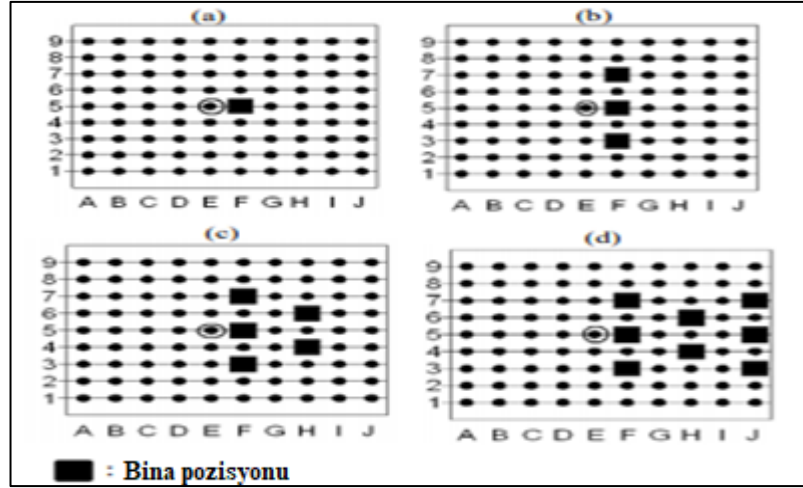
Sevinç ve Güney (2018), Ürkmez Barajı’nın çarpıtılmış fiziksel modelini kullanarak, barajın ani yıkılması durumunda kısmi bitki örtüsünün taşkın dalgasının yayılmasına etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmalarında, taşkın dalgasına ait su derinliklerini ölçmek için Ultrasonik Seviye Ölçerler, yerel hızları ölçmek için Ultrasonik Hız Ölçüm Cihazı (Ultrasonic Velocity Profiler-UVP) kullanmışlardır. Deneysel sonuçlar, bitki örtüsü varlığının taşkın dalgasının yayılma hızını azalttığını,

sağ sahilde su derinliklerini azalttığını (seyrek yerleşim yerinde dereye yakın bölge hariç) ve sol sahilde su derinliklerini arttırdığını ortaya çıkarmıştır.

Li, Wang, Jiao ve Yang (2018), bitki örtüsü yoğunluğunun akış hızı özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Bitki örtüsü modeli olarak sert bambu silindirleri seçmişlerdir. Tüm deneyler için diğer tüm akış parametreleri sabit tutulurken, bitki örtüsünün yoğunluğu değiştirilmiştir. Yerel hızların ölçümünde ADV Hız Ölçüm Cihazı kullanmışlardır. Sonuçlar, bitki örtüsü varlığının bitki örtüsünün arkasında sağ ve sol tarafta derinlik ortalamalı hızın artışı ve bitki örtüsü yoğunluğuna bağlı olarak hızın arttığını göstermiştir.

Melis, Poggi, Fasanella, Cordero ve Katul (2019), düzgün ve yoğun bir kanopi bitki örtüsü ile kaplanmış eğimli bir kanalda, baraj yıkılması sonrasında mansap bölgesindeki su yüzeyi profilinin değişimine etki eden hidrolik direnci deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Sonuçlar, kanopinin olmaması durumunda sayısal çözüm sonuçlarının ölçüm sonuçlarıyla uyumlu olduğunu göstermiştir. Kanopinin Manning formülünde temsil edilmesi durumunda ise; dalga hızı uyumlu iken, su yüzeyi profilinin şekli uyum sağlamamıştır.

Kusuma, Setiawati ve Farid (2019), kentsel alanda baraj yıkılma akışını simüle etmek için, birkaç binadan oluşan konfigürasyona sahip deneysel bir model geliştirmişlerdir (Şekil 2.9). Çalışmalarında, kentsel alanda baraj yıkılması sonucu oluşan akış özelliklerini akış derinliği ve akış hızı açısından araştırmışlardır. Deneylerini, bina olmayan ve birkaç binadan oluşan konfigürasyonlar ile gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, su derinliğinde 5. saniyeden 7. saniyeye kadar önemli bir değişim olduğunu, akış hızının tüm gözlenen alanlarda düzenli bir şekilde arttığını ve bina olmayan modelde meydana gelen akışın kritik altı akış olduğunu ifade etmişlerdir.



Şekil 2.9 Kusuma ve diğer.'nin deneysel çalışmalarında kullandıkları bina konfigürasyonu (a) bir bina, (b) üç bina, (c) beş bina, (d) sekiz bina (Kusuma ve diğer., 2019)

Arkış (2020), yatay ölçeği 1/150 ve düşey ölçeği 1/30 olan Ürkmez Barajı'nın çarpıtılmış fiziksel modelinde, trapez ve üçgen şeklinde bir gedik açılarak oluşan baraj yıkılması durumunda ve ani baraj yıkılması durumunda, taşkın dalgasının yayılmasını deneysel ve sayısal olarak araştırmıştır. Deneylerde 12 cm'ye varan su derinlikleri ölçüldüğünü ve bu değerin doğada 3,6 m'ye karşılık geldiğini, ölçülen hızların ise 6 m/s mertebesine ulaştığını ve bunun da doğada 32,88 m/s hıza karşılık geldiğini söylemiştir. Ayrıca, sayısal çözümler sonucunda RNG ile elde edilen sonuçların deneysel bulgulara daha yakın olduğunu ifade etmiştir.

Chumchan ve Rattanadecho (2020), ANSYS Fluent ve XFlow yazılımlarını kullanarak 3 boyutlu baraj yıkılması simülasyonları gerçekleştirmişler ve sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Simülasyonlarda türbülans modeli olarak LES modelini kullanmışlardır. Deneysel çalışmalarını 484 mm genişliğinde 984 mm uzunluğunda 200 mm yüksekliğinde olan yatay bir kanalda gerçekleştirmişler ve mansap bölgesinde farklı konfigürasyonlarda dört adet kübik engel bulunması durumunda dalgaların serbest yüzey profillerini yüksek hızlı kamera ile görüntülemişlerdir. Sayısal çalışmalarında çalışma alanını $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 8$ mm, 6 mm, 5 mm ve 4 mm boyutlarında hücrelere bölerek dört farklı hücre boyutuna sahip simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Zamanın 0,5 s olduğu anda, XFlow yazılımında gerçekleştirilen hücre boyutunun 5 mm olduğu simülasyonun ANSYS Fluent

yazılımında gerçekleştirilen tüm simülasyonlardan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu nedenle her iki yazılımla gerçekleştirilen baraj yıkılması akışının tahmininde ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmalarında 5 mm hücre boyutu kullanılmıştır. ANSYS Fluent ve XFlow yazılımlarından elde edilen dalga önü yayılması ile hızlarda küçük farkların olduğu görülse de, sonuçların deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Oğuzhan ve Aksoy (2020), Ürkmez Barajı'nın çarpıtılmış fiziksel modelini kullanarak, bu tez çalışmasından farklı olarak daha yoğun bir bitki örtüsünün ani baraj yıkılması sonucu ve barajda üçgen gedik oluşması sonucu meydana gelen taşkın dalgasının yayılmasına etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Su derinliklerinin zamanla değişimlerini UltraLab ULS (Ultrasonik seviye sensörü) 80-D cihazı ve USS20130 sensörlerini kullanarak, hızların zamanla değişimlerini Sontek MicroADV kullanarak belirlemişlerdir. Taşkın dalgası mansaba doğru yayılırken, bitki örtüsü varlığının su derinliklerinde azalmaya neden olduğunu ve yerleşim yerleri üzerindeki etkisini azalttığını söylemişlerdir. Ayrıca, taşkın dalgasının zamansal değişiminde, baraj yıkılma şeklinin önemli bir rol oynadığını ifade etmişlerdir.

BÖLÜM ÜÇ

FİZİKSEL MODEL VE ÖLÇÜM YÖNTEMİ

3.1 Ürkmez Barajı Hazne ve Mansap Bölgesinin Çarpıtılmış Fiziksel Modeli

3.1.1 Ürkmez Barajı ile İlgili Genel Bilgiler

Sulama ve içme suyu ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla inşa edilen Ürkmez Barajı, Seferihisar ilçesi Ürkmez beldesinin 3 km kuzeyinde Ürkmez deresi üzerinde bulunmaktadır. Barajın kret kotu 48 m, baraj gövdesi yüksekliği 32 m ve talveg kotu 16 m'dir. Projesi ve inşaatı Devlet Su İşleri tarafından yapılan baraj, 1990 yılında tamamlanarak Ürkmez ovasına sulama suyu vermeye başlamıştır. 2004 yılında İller Bankası tarafından yapılan içme suyu arıtma tesislerinin tamamlanmasından sonra da Ürkmez beldesine içme suyu vermeye başlamıştır. İçme suyu arıtma tesisi 2004 yılında İZSU Genel Müdürlüğü'ne devredilmiştir (İZSU, b.t.).

3.1.2 Çarpıtılmış Fiziksel Modelin Tasarımı

Ürkmez Barajı hazne ve mansap bölgesinin çarpıtılmış fiziksel modeli, kısmi ve ani baraj yıkılmasından kaynaklanan taşkın dalgalarının yayılmasını araştırmak amacıyla tasarlanmış ve inşa edilmiştir (TÜBİTAK 110M240, 2013). Çalışma alanının genel görünümü Şekil 3.1'de verilmektedir.



Şekil 3.1 Çalışma alanının genel görünümü (Google Earth, b.t.)

Yerçekimi kuvvetinin daha etkin olmasından dolayı, fiziksel model Froude benzeşim kanununa göre tasarlanmıştır. Düşey ve yatay ölçekler, modelin belirlenen alana sığacak şekilde inşa edilerek çalıştırılabileceği, derinliklerin ve hızların yeterli hassasiyetle ölçülebileceği şekilde seçilmiştir (TÜBİTAK 110M240, 2013).

Yatay ölçeğin $S(L_x)=1/150$ ve düşey ölçeğin $S(L_z)=1/30$ olarak seçilmesiyle aşağıdaki ölçekler tanımlanabilmektedir:

Çarpıklık katsayısı:

$$D_r = \frac{S(L_z)}{S(L_x)} = 5 \quad (3.1)$$

Froude sayısı fiziksel model ve prototip için aynı olmalıdır:

$$\frac{V_m}{\sqrt{gh_m}} = \frac{V_p}{\sqrt{gh_p}} \quad (3.2)$$

(3.2) denkleminde g yerçekimi ivmesini, V_m ve V_p sırasıyla modeldeki ve prototipteki taşkın dalgasının yayılma hızlarını göstermektedir. h_m ve h_p sırasıyla model ve prototipteki su derinliklerini göstermektedir.

Hız ölçeği:

$$S(V) = \frac{V_m}{V_p} = \sqrt{\frac{h_m}{h_p}} = \sqrt{S(L_z)} = \frac{1}{5,48} \quad (3.3)$$

Strouhal sayısı fiziksel model ve prototipte birbirine eşit olmalıdır (Yalın, 1971):

$$\frac{V_m T_m}{L_{xm}} = \frac{V_p T_p}{L_{xp}} \quad (3.4)$$

(3.4) denklemi aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir:

$$S(V)S(T) = S(L_x) \quad (3.5)$$

Zaman ölçeği:

$$S(T) = \frac{T_m}{T_p} = \frac{S(L_x)}{S(V)} = \frac{1}{27,4} \quad (3.6)$$

(3.3) ve (3.6) denklemlerinden sırasıyla $V_p = 5,48 V_m$ ve $T_p = 27,4 T_m$ elde edilir.

Ürkmez Barajı prototipinin ve çarpıtılmış fiziksel modelinin geometrik özellikleri Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1 Ürkmez Barajı prototipinin ve çarpıtılmış fiziksel modelinin geometrik özellikleri (TÜBİTAK 110M240, 2013)

Özellik	Prototip	Fiziksel Model
Kret uzunluğu (m)	426	2,84
Kret genişliği (m)	12	0,08
Barajın temelden yüksekliği (m)	32	1,07
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

3.1.3 Çarpıtılmış Fiziksel Modelin İnşaatı

Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarları arkasında bulunan ve Ürkmez Barajı çarpıtılmış fiziksel modeli için ayrılmış olan açık alanda öncelikle zemin düzeltme ve drenaj çalışmaları yapılmıştır. Ardından zemine hasır çelikler ile güçlendirilmiş beton dökülmüştür. Sağlam zemin üzerinde, laboratuvar da çelik levhalar ve lamalardan imal edilen kesitler, gerekli konumlarda ve nivo yardımıyla uygun kotlarda, zemine sabitlenen nervürlü inşaat çeliklerine kaynak yapılmak suretiyle yerleştirilmiştir. Ardından baraj gölüne karşılık gelen bölgenin etrafı tuğla duvar ile çevrilmiş ve dolgu işlemi yapılmıştır. Dolgunun ardından tüm zemin çelik hasır ile güçlendirilmiş beton kaplanarak topoğrafyanın ölçek dahilinde mümkün olduğunca temsil edilmesi sağlanmıştır. Sızdırmazlığı sağlamak amacıyla sürme yalıtım malzemesi uygulanmıştır. Kısmi yıkımda kullanılan Ürkmez Baraj Gövdesi, 6 adet enkesit yardımıyla ölçek dahilinde sac levhadan imal edilmiştir. Ani yıkılma durumu için ise, baraj gövdesi düz metal levha kullanılarak elde edilmiştir. Mansap bölgesinde bulunan konutlar, ölçek dahilinde ahşap bloklar yardımıyla temsil edilmiştir. Seferihisar-Kuşadası karayolu ise belirlenen ölçek dahilinde hazırlanan kalıba harç dökülmesi yoluyla hazırlanmıştır. Ürkmez deresi de haritadaki profil ve yükseltiler kullanılarak yansıtılmıştır (TÜBİTAK 110M240, 2013).

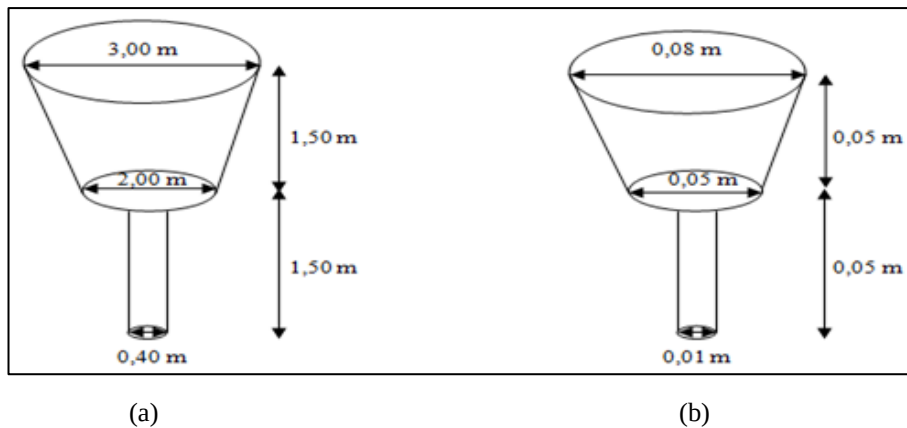
Fiziksel modelin değişik safhalarının inşaatı fotoğraflar eşliğinde EK 1’de anlatılmaktadır.

Bitki örtüsüz durumda fiziksel modelin tamamlanmış hali Şekil 3.2’de görölmektedir.



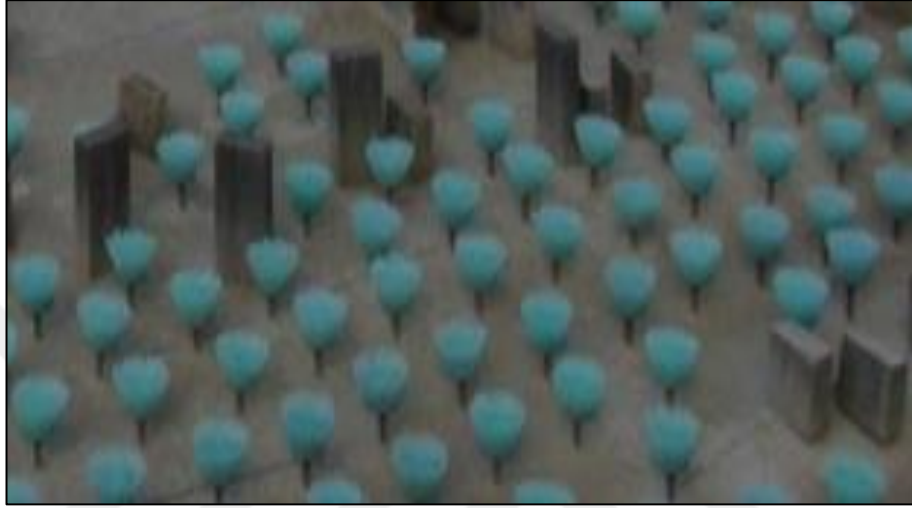
Şekil 3.2 Bitki örtüsüz durumda fiziksel modelin tamamlanmış hali (Kişisel arşiv, 2013)

Ürkmez Barajı mansap bölgesinde, bitki örtüsü yapısını çoğunlukla narenciye bahçeleri oluşturmaktadır. Bu nedenle fiziksel modelde, bitki örtüsü yapısını oluşturan narenciye ağaçlarını temsilen plastik fırçalar kullanılmıştır. Prototipte ve fiziksel modelde dikkate alınan ağacın yaklaşık ölçüleri Şekil 3.3’te verilmektedir.



Şekil 3.3 (a) Prototipte, (b) fiziksel modelde dikkate alınan ağacın yaklaşık ölçüleri

Şekil 3.3'te verilen yaklaşık ölçüler dikkate alınarak, prototipteki 4 narenciye ağacını modelde 1 plastik fırçanın temsil ettiği kabul edilmiştir. Prototipteki narenciye ağaçlarını temsil eden plastik fırçalar, barajın mansap bölgesinde baraja yakın bölgelerde ve seyrek yerleşim bölgelerinde, matkapla zeminde açılan deliklere epoksi yardımıyla dik olarak sabitlenmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Fiziksel modelde ağaçları temsil eden plastik fırçalar (Kişisel arşiv, 2015)

Bitki örtülü durumda fiziksel modelin tamamlanmış hali Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Bitki örtülü durumda fiziksel modelin tamamlanmış hali (Kişisel arşiv, 2015)

3.2 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Materyal ve Yöntem

Deney başlamadan önce, ani yıkılmayı oluşturan baraj kapağı, elektrikli motora bağlı olan bir sürgü ile kapalı durumda tutulmuş ve baraj gölü su ile doldurulmuştur (Şekil 3.6).



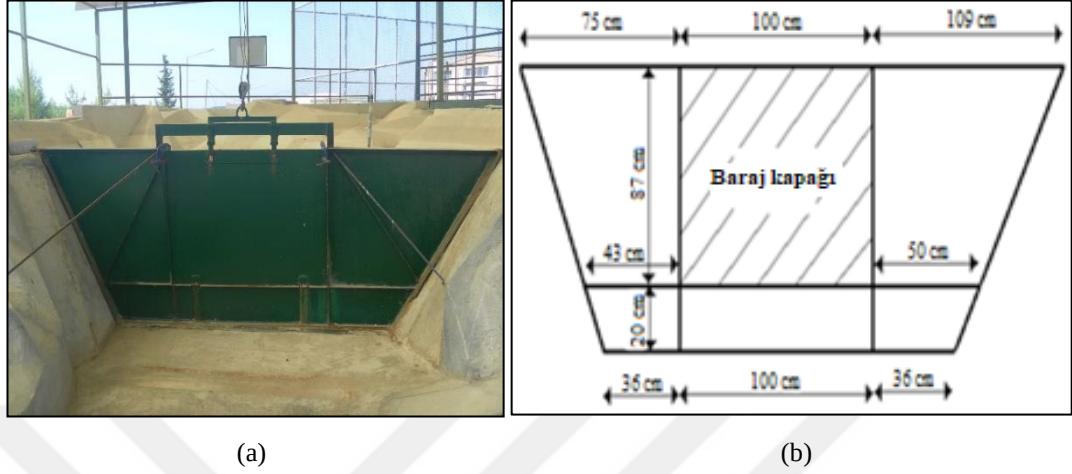
Şekil 3.6 Deney başlamadan önce kapalı durumdaki baraj kapağı (Kişisel arşiv, 2013)

Deney başladığı anda, elektrikli motora bağlı olan butona basılarak, motora bağlı kancanın sürgüyü yukarı doğru çekmesi sağlanmıştır. Böylece serbest kalan kapağın, gölde depolanan suyun etkisiyle devrilmesi sağlanmış ve taşkın dalgası oluşturulmuştur (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Deney başladığı anda devrilen baraj kapağı (Kişisel arşiv, 2013)

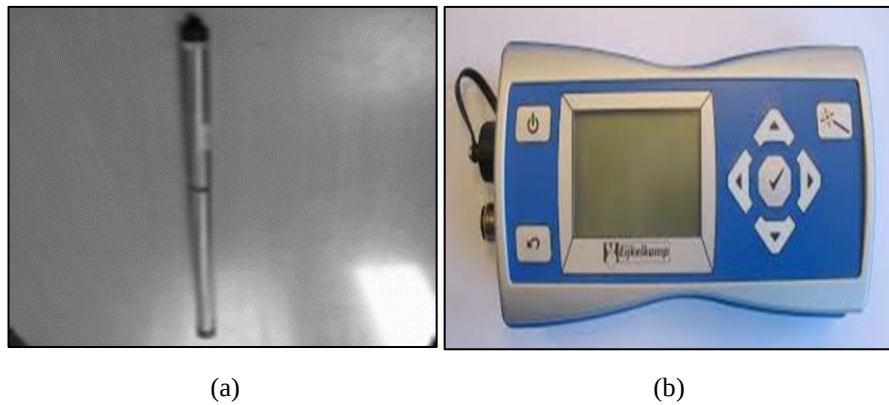
Şekil 3.8 (a) modelde baraj gövdesini simüle eden metal konstrüksiyonu, Şekil 3.8 (b) gövdenin detaylı boyutlarını göstermektedir.



Şekil 3.8 (a) Modelde baraj gövdesini simüle eden metal konstrüksiyon (Kişisel arşiv, 2014), (b) gövdenin detaylı boyutları

3.2.1 Su Derinliklerinin Ölçülmesi

Taşkın dalgasına ait su derinlikleri, mansap bölgesinin belirli noktalarına yerleştirilen “Eijkelkamp e+ WATER L” seviye ölçüm çubukları ve bu seviye ölçüm çubuklarının bağlandığı “Eijkelkamp e+ CONTROL” kontrol cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 (a) Seviye ölçüm çubuğu, (b) kontrol cihazı (Kişisel arşiv, 2013)

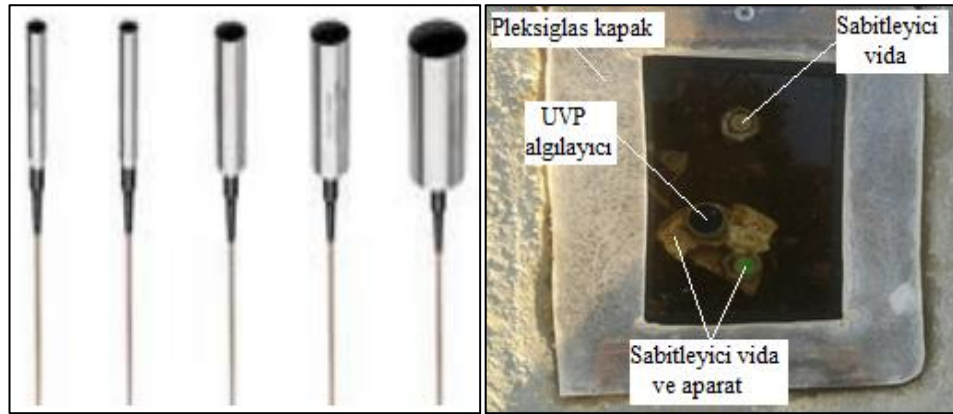
Seviye ölçüm çubukları, taşkın dalgasına ait su derinliklerini ölçen ve kaydeden çubuklardır. Kontrol cihazı ile seviye ölçüm çubuklarına bağlanarak, çubukların

istenilen zamanda ölçüme başlaması, ölçümü bitirmesi ve çubuklarda ölçülen su derinliği verilerinin depolanması sağlanmaktadır (Eijkelkamp Agrisearch Equipment, 2011).

Deney öncesi ve sonrasında seviye ölçüm cihazının kullanımı ile ilgili gerçekleştirilen işlemler EK 2’de anlatılmaktadır.

3.2.2 Zamana Bağlı Hız Değerlerinin Ölçülmesi

Taşkın dalgasına ait zamana bağlı hız değerleri; arazide seviye ölçüm çubuklarına yakın bazı noktalarda zeminde açılan çukurlar içerisine yerleştirilen UVP (Ultrasonic Velocity Profiler) algılayıcıları (transducer) (Şekil 3.10), UVP algılayıcılarının özel kabloları yardımı ile bağlandığı “UVP-DUO MX” ultrasonik hız ölçüm cihazı ve ultrasonik hız ölçüm cihazının USB kablosu yardımı ile bağlandığı dizüstü bilgisayar kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.11). UVP algılayıcılarının yerleştirildiği çukurlarda, gelen dalganın 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 ortası boş pleksiglas kapakların zemin seviyesinde yerleştirilmelerine karar verilmiştir (TÜBİTAK 110M240, 2013).



Şekil 3.10 (a) UVP algılayıcıları (Met-Flow SA, 2002), (b) zeminde açılan çukur içerisine yerleştirilen UVP algılayıcı (Kişisel arşiv, 2013)

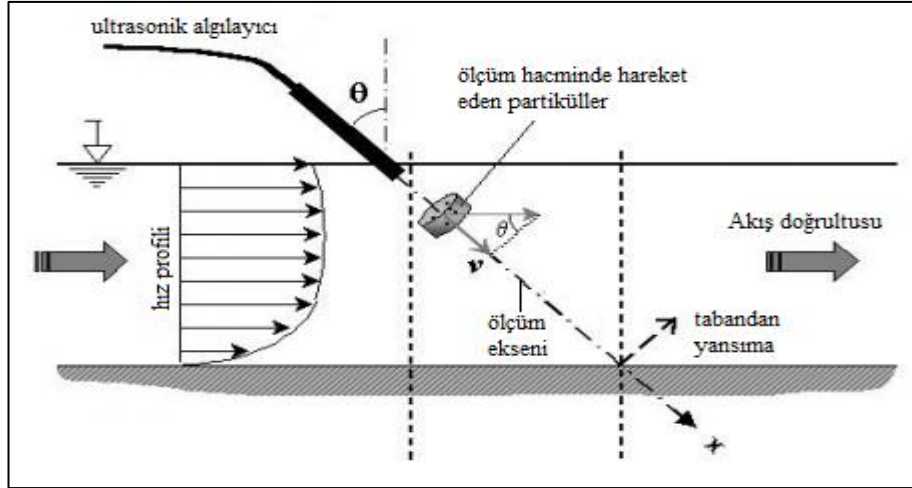


(a)

(b)

Şekil 3.11 (a) Dizüstü bilgisayar ve ultrasonik hız ölçüm cihazının ön paneli, (b) dizüstü bilgisayar ve hız ölçüm cihazının arka paneli (Kişisel arşiv, 2019)

Ultrasonik hız ölçüm cihazı Doppler prensibine göre çalışan bir cihaz olup, yüksek frekanslı ses dalgalarını akış içerisine göndermektedir. Cihaz, akış içindeki partiküllere çarpıp geri yansıyan ses dalgalarının frekans değişimini irdeleyerek, bulunduğu enkesit içinde noktasal hız değerlerini belirleyebilmekte ve bir hız profili çıkarabilmektedir. Cihaz, kendisine kablo ile bağlanan algılayıcılar yardımı ile 0,5 , 1, 2, 4 ve 8 MHz frekansları yayabilmekte ve kaydettiği hız verilerini bağlı olduğu bilgisayara aktarabilmektedir. Genel olarak, büyük ölçekli tanklar, nehirler, dalga kanalları vb. yerlerde yapılan ölçümlerde, iyi yayılma yetenekleri nedeniyle daha düşük frekanslar kullanılır. Düşük frekanslar aynı zamanda yüksek hızlı akışlar için de kullanılır. Küçük çaplı borular, küçük hidrolik modeller vb. yerlerdeki küçük ölçekli akışlar için, kısa dalga boyları nedeniyle daha yüksek frekanslar kullanılır. Ultrasonik hız ölçüm cihazıyla, cihazda bulunan “multiplexer” ile aynı tipte olmak şartıyla birden fazla algılayıcı ile değişik kesitlerde eş zamanlı hız profili elde edilmek suretiyle, iki boyutlu hız ölçümü yapılması ve akım haritası çıkarılması da mümkün olmaktadır. (Met-Flow SA, 2002). Yapılan bir seri deney sonunda, oluşturulan taşkın dalgasına ait hızlar dikkate alınarak, 1 MHz frekansına sahip UVP algılayıcılarının kullanılmasına karar verilmiştir. Ultrasonik hız ölçüm cihazının çalışma prensibi Şekil 3.12’de gösterilmektedir.



Şekil 3.12 Ultrasonik hız ölçüm cihazının çalışma prensibi (Met-Flow SA, 2002)

Deneye başlamadan önce, UVP algılayıcıların sürekli su ile temasını sağlamak amacıyla, çukurların içi su ile doldurulmuştur. Daha sonra, tüm UVP algılayıcıları özel kabloları vasıtası ile, dizüstü bilgisayar ise USB kablosu vasıtası ile ultrasonik hız ölçüm cihazının arka paneline bağlanmıştır. Ultrasonik hız ölçüm cihazının ön panelinde bulunan güç düğmesinin açılmasıyla cihaz çalıştırılmıştır. Hız ölçüm cihazının deney başladığı anda ölçme işlemine başlaması, deney bittiği anda ise ölçme işlemini bitirmesi ve ölçtüğü hız değerlerini kaydetmesi işlemleri, dizüstü bilgisayarda bulunan Met-Flow yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

3.2.3 Taşkın Dalgası Yayılmasının Görüntülenmesi

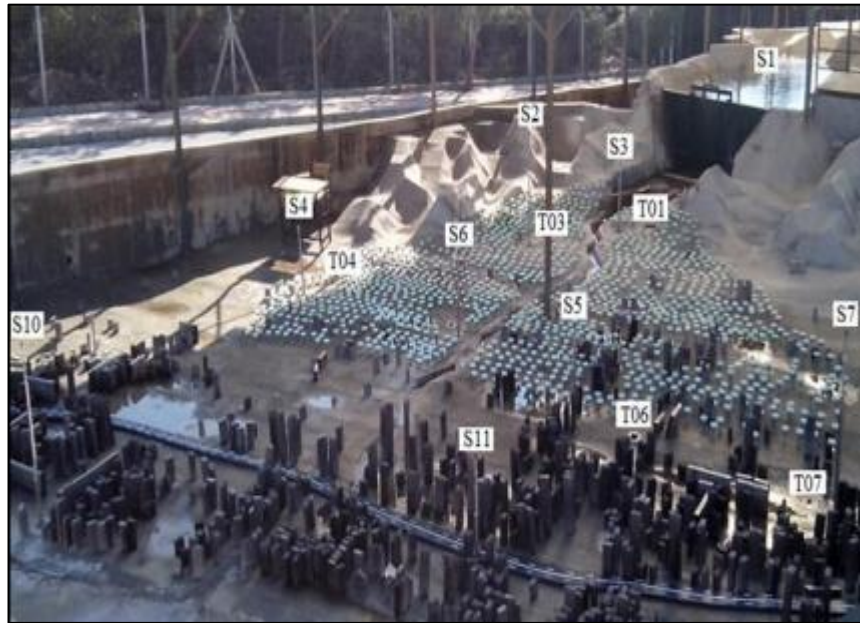
Taşkın dalgasının zaman içerisinde mansap bölgesinde ulaştığı bölgeler, yüksek çözünürlüklü (HD) iki adet dijital kamera vasıtasıyla görüntülenmiştir. Kameraların bir tanesi, Şekil 3.13'te gösterilen mansap bölgesinin sonunda yer alan platforma yerleştirilerek, yayılan taşkın dalgasının zaman içerisinde ulaştığı bölgeler kaydedilmiştir. Diğer kamera ise baraj gövdesi yakınında inşa edilmiş olan platformdan alınan görüntüleri kaydetmiştir.



Şekil 3.13 Mansap bölgesinin sonunda yer alan platforma yerleştirilen HD dijital kamera (Kişisel arşiv, 2014)

3.3 Seviye Ölçüm Çubukları ve UVP Algılayıcıların Arazideki Konumları

Arazide, S1 seviye ölçeri baraj gölü içerisinde baraj gövdesine yakın bir konuma yerleştirilmiştir. S2, S3, S4, S5, S6, S7, S10 ve S11 seviye ölçerleri modelin mansap bölgesinde farklı konumlara yerleştirilmişlerdir. T01 UVP algılayıcısı S3 seviye ölçerine yakın, T03 UVP algılayıcısı S2 seviye ölçerine yakın, T04 UVP algılayıcısı S4 seviye ölçerine yakın, T06 UVP algılayıcısı S5 seviye ölçerine yakın ve T07 UVP algılayıcısı S7 seviye ölçerine yakın konumlara yerleştirilmişlerdir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Seviye ölçerlerin ve UVP algılayıcıların arazideki konumları (Kişisel arşiv, 2015)

Seviye ölçerlerin koordinat sistemindeki konumları Tablo 3.2’de verilmektedir.

Tablo 3.2 Seviye ölçerlerin koordinat sistemindeki konumları

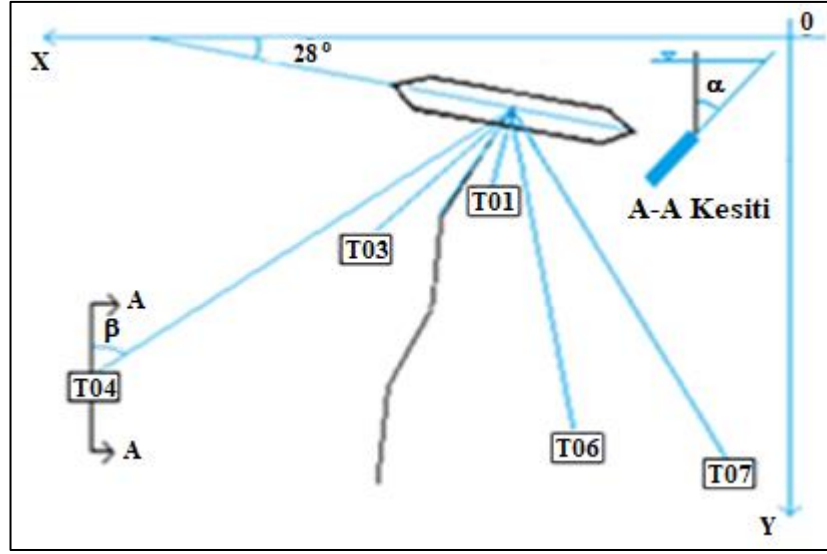
Seviye Ölçer	X (m)	Y (m)	Z (m)
S2	8,05	4,55	0,30
S3	6,71	3,56	0,37
S4	11,53	7,51	0,13
S5	5,81	9,10	0,10
S6	8,06	7,77	0,16
S7	2,89	10,04	0,07
S10	10,64	13,18	0,04
S11	6,02	11,94	0,06

UVP algılayıcıların koordinat sistemindeki konumları ile düşeyde Z eksenine yaptığı açı (α) ve yatayda Y eksenine yaptığı açı (β) Tablo 3.3’te verilmektedir.

Tablo 3.3 UVP algılayıcıların koordinat sistemindeki konumları ile α ve β açıları

UVP Algılayıcı	X (m)	Y (m)	Z (m)	α (°)	β (°)
T01	6,56	3,18	0,36	7	14,3
T03	7,71	4,38	0,32	15	28,2
T04	11,21	7,35	0,13	15	42,7
T06	5,03	9,10	0,08	6	7,6
T07	3,15	9,71	0,07	1	19,9

UVP algılayıcıların koordinat sistemindeki konumları Şekil 3.15’te gösterilmektedir.



Şekil 3.15 UVP algılayıcıların koordinat sistemindeki konumları

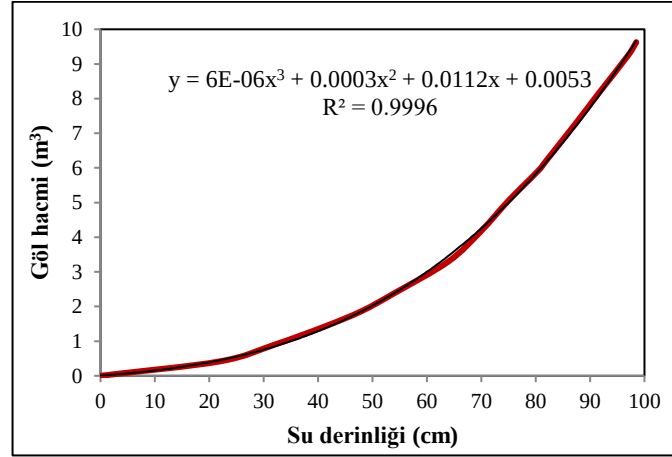
BÖLÜM DÖRT

DENEYSEL BULGULAR

Bitki örtüsüz ve kısmi bitki örtülü durumda gerçekleştirilen deneyler, güvenilir sonuçların elde edilmesi amacıyla üçer kez tekrarlanmıştır. Sonraki bölümlerde analiz edilen taşkın dalgasına ait su derinliği ve hız ölçümleri, üç deneyin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Bitki örtüsünün olmaması durumunda elde edilen deneysel bulgular, kısmi bitki örtüsünün varlığı durumunda elde edilen deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır.

4.1 Fiziksel Modelin Baraj Gölü Hacmi-Su Derinliği Eğrisinin Belirlenmesi

Modelin göl hacmi-su derinliği eğrisinin elde edilmesi için, göl sabit debide su ile doldurulmuş ve belirli zaman aralıklarıyla S1 seviye ölçerinden su derinlikleri ölçülmüştür. Daha sonra, debinin zaman aralığıyla çarpılmasıyla gölde oluşan su hacmi hesaplanmıştır. Fiziksel modelin göl hacmi-su derinliği eğrisi Şekil 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.1 Fiziksel modelin göl hacmi-su derinliği eğrisi

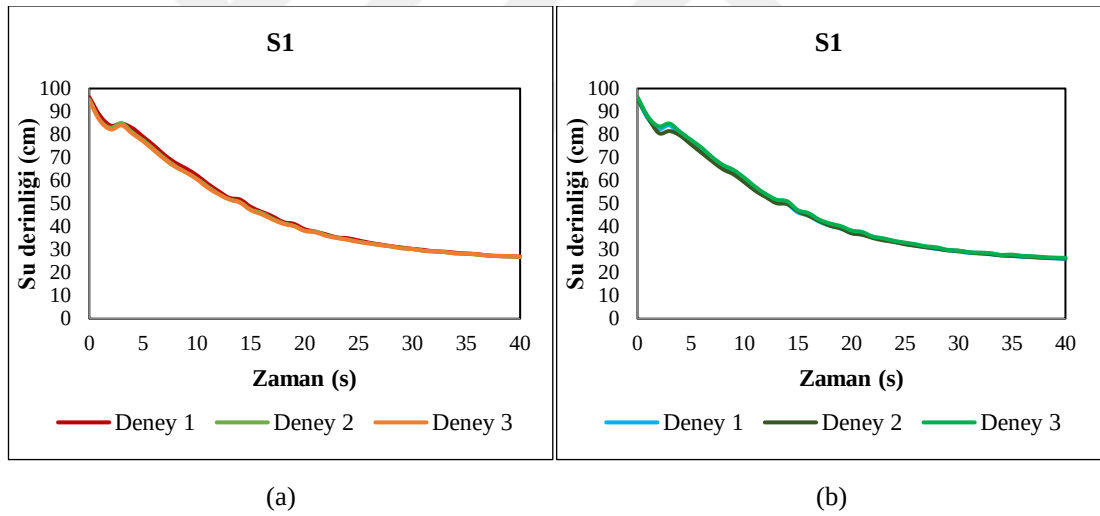
Ölçülen değerler kullanılarak, göl hacmi ve su derinliği arasında analitik bir bağıntı araştırılmış ve regresyon analizinden (4.1) denklemi elde edilmiştir.

$$V = 0,000006h^3 + 0,0003h^2 + 0,0112h + 0,0053 \quad (4.1)$$

(4.1) denkleminde; $V (m^3)$ göl hacmi, $h (cm)$ su derinliğidir. Şekil 4.1’de kırmızı renk ile gösterilen eğri ölçülen değerler kullanılarak elde edilen eğriyi, siyah renk ile gösterilen eğri (4.1) denklemini kullanarak regresyon analizinden elde edilen eğriyi göstermektedir.

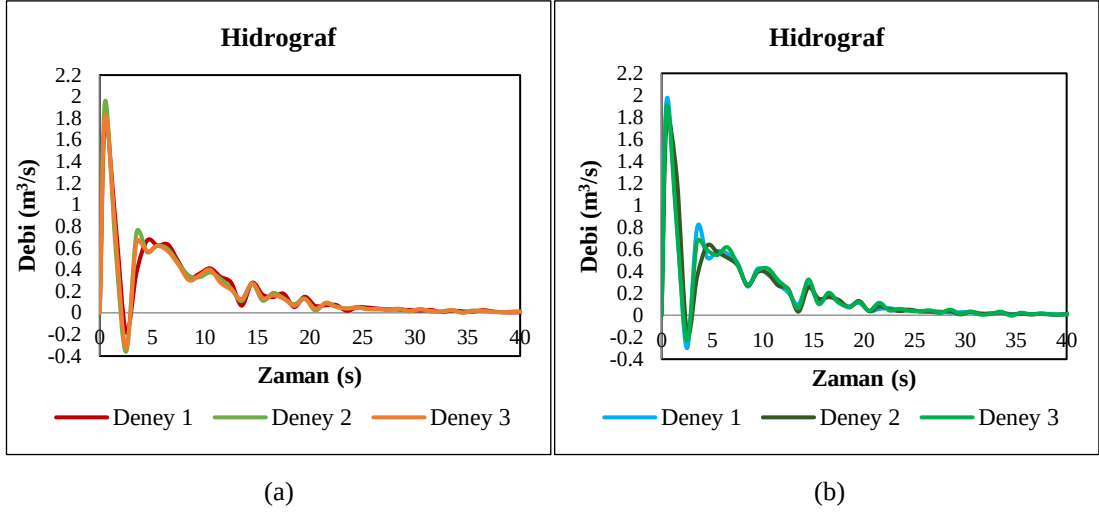
4.2 Fiziksel Modelin Taşkın Hidrografının Belirlenmesi

Deney başladığı anda, baraj gölünde depolanan suyun etkisiyle baraj kapağı devrilmiş ve göl su seviyesindeki azalma bir saniye aralıklarla S1 seviye ölçeriyle ölçülmüştür. Seviye ölçer ham verileri Excel tablolarına aktarılmış ve Şekil 4.2’de görülen baraj gölündeki su derinliği grafikleri oluşturulmuştur. Sonraki bölümlerde analiz edilen, diğer seviye ölçerlerdeki su derinliği grafikleri de benzer şekilde elde edilmiştir.



Şekil 4.2 Baraj gölündeki su derinlikleri, (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü

S1 seviye ölçerinden elde edilen su derinlikleri, (4.1) denklemini kullanarak hacim değerlerine dönüştürülmüştür. Daha sonra, hesaplanan hacim farkları (ΔV) ilgili zaman aralıklarına ($\Delta t=1$ s) bölünmüş ve debi değerleri hesaplanmıştır. Bu şekilde elde edilen taşkın hidrografi grafikleri Şekil 4.3’te verilmektedir.



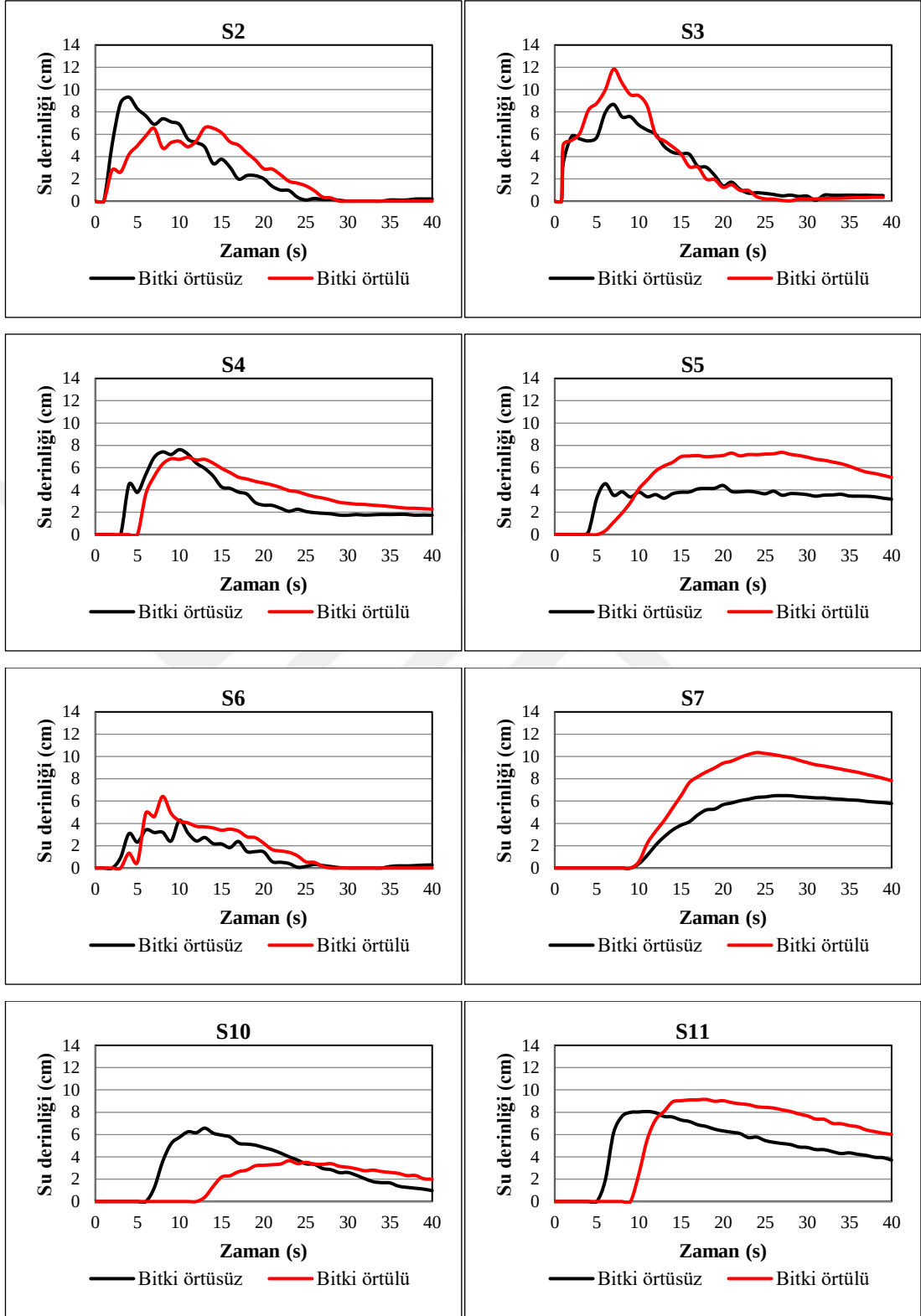
Şekil 4.3 Taşkın hidrografları, (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü

Şekil 4.3'te verilen grafiklerin oluşturulması için Excel tabloları kullanılmıştır. EK 3'te bitki örtülü Deney 3'e ait taşkın hidrografi grafiğinin oluşturulması için kullanılan Excel tablosu örnek olarak verilmektedir.

4.3 Farklı Noktalarda Ölçülen Su Derinliklerinin Belirlenmesi

Arazide S2, S4, S6 ve S10 seviye ölçerleri, bakış yönü baraj gövdesinden denize doğru olmak üzere, derenin sağ sahilinde; S3, S5, S7 ve S11 seviye ölçerleri ise derenin sol sahilinde yer almaktadır. S2 ve S3 seviye ölçerleri baraj gövdesine yakın çok seyrek yerleşim yerlerinde, S4 ve S6 seviye ölçerleri seyrek yerleşim yerlerinde ve S5, S7, S10 ve S11 seviye ölçerleri ise yoğun yerleşim yerlerinde bulunmaktadır (Şekil 3.14).

Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde farklı noktalarda ölçülen su derinlikleri Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde farklı noktalarda ölçülen su derinlikleri

Bitki örtülü Deney 3'e ait S2 seviye ölçeri ham verileri EK 4'te örnek olarak verilmiştir.

Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde farklı noktalarda ölçülen maksimum su derinlikleri, bu derinliklere ulaşma süreleri ve bu değerlere karşılık gelen prototip değerleri Tablo 4.1’de görülmektedir.

Tablo 4.1 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde farklı noktalarda ölçülen maksimum su derinlikleri, bu derinliklere ulaşma süreleri ve bu değerlere karşılık gelen prototip değerleri

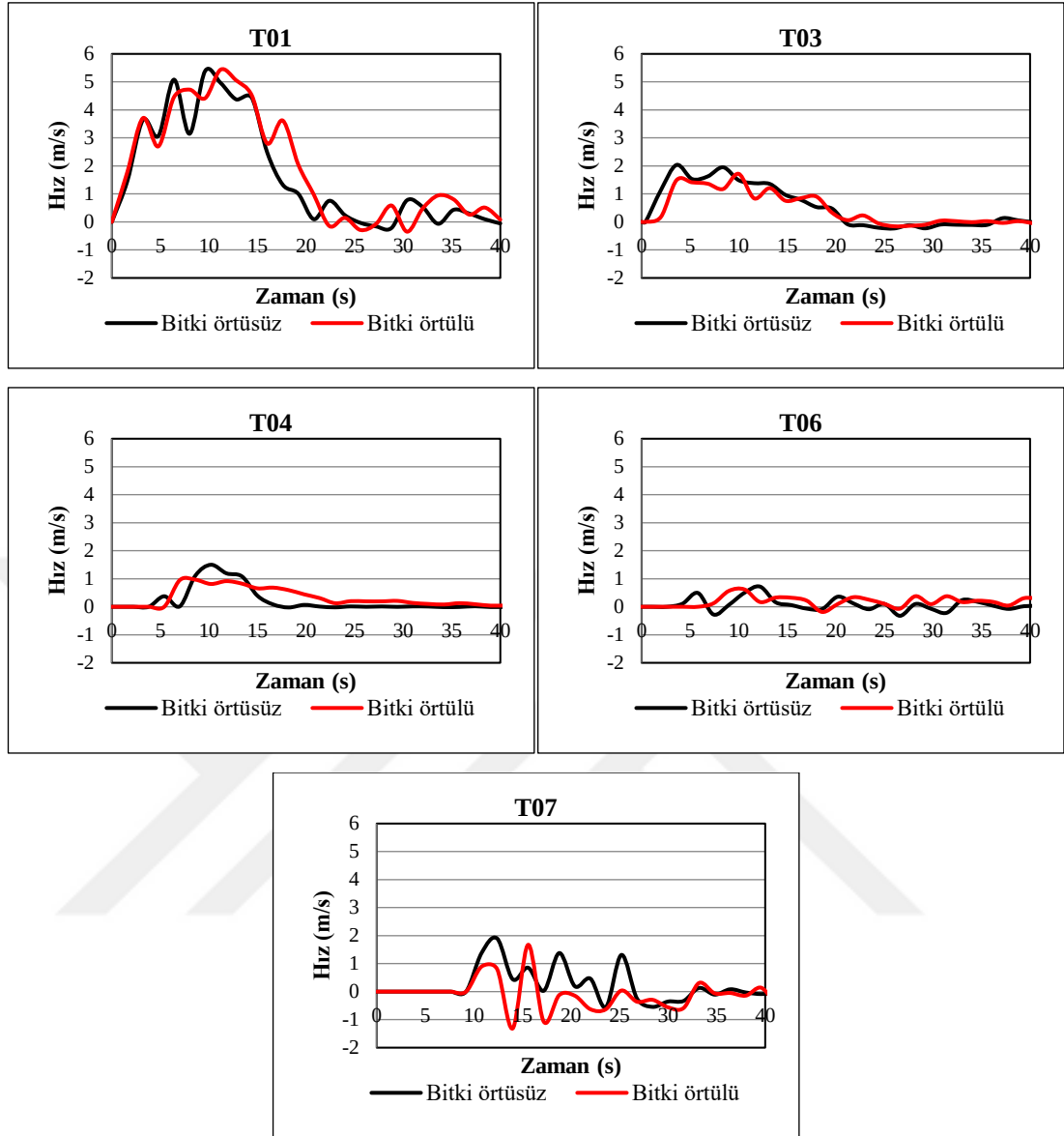
Seviye Ölçer	Bitki Örtüsüz				Bitki Örtülü			
	Maksimum Su Derinliği		Maksimum Su Derinliğine Ulaşma Süresi		Maksimum Su Derinliği		Maksimum Su Derinliğine Ulaşma Süresi	
	Deney (cm)	Prototip (m)	Deney (s)	Prototip (dk)	Deney (cm)	Prototip (m)	Deney (s)	Prototip (dk)
S2	9,30	2,79	4	1,83	6,60	1,98	13	5,94
S3	8,70	2,61	7	3,20	11,80	3,54	7	3,20
S4	7,60	2,28	10	4,57	6,90	2,07	11	5,02
S5	4,60	1,38	6	2,74	7,30	2,19	21	9,59
S6	4,30	1,29	10	4,57	6,40	1,92	8	3,65
S7	6,50	1,95	26	11,87	10,40	3,12	24	10,96
S10	6,60	1,98	13	5,94	3,70	1,11	23	10,50
S11	8,10	2,43	11	5,02	9,20	2,76	18	8,22

4.4 Farklı Noktalarda Ölçülen Hızların Belirlenmesi

Arazide T03 ve T04 UVP algılayıcıları, derenin sağ sahilinde sırasıyla S2 ve S4 seviye ölçerlerinin yakınında yer almaktadır. T01, T06 ve T07 UVP algılayıcıları, derenin sol sahilinde sırasıyla S3, S5 ve S7 seviye ölçerlerinin yakınında bulunmaktadır (Şekil 3.14).

4.4.1 Derinlik Ortalamalı Hızlar

Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde farklı noktalarda ölçülen derinlik ortalamalı hızlar Şekil 4.5’te verilmektedir.



Şekil 4.5 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde farklı noktalarda ölçülen derinlik ortalamalı hızlar

Şekil 4.5'te ve daha sonraki bölümlerde verilen hız grafikleri, UVP algılayıcılardan elde edilen ham hız verilerinin Excel tablolarına aktarılmasıyla elde edilmiştir. Bitki örtülü Deney 3'e ait T03 UVP algılayıcısı ham verileri EK 5'te örnek olarak verilmiştir.

Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde farklı noktalarda ölçülen maksimum derinlik ortalamalı hızlar, bu hızlara ulaşma süreleri, bu değerlere karşılık gelen prototip değerleri ve bu değerlerdeki değişimler Tablo 4.2'de verilmektedir.

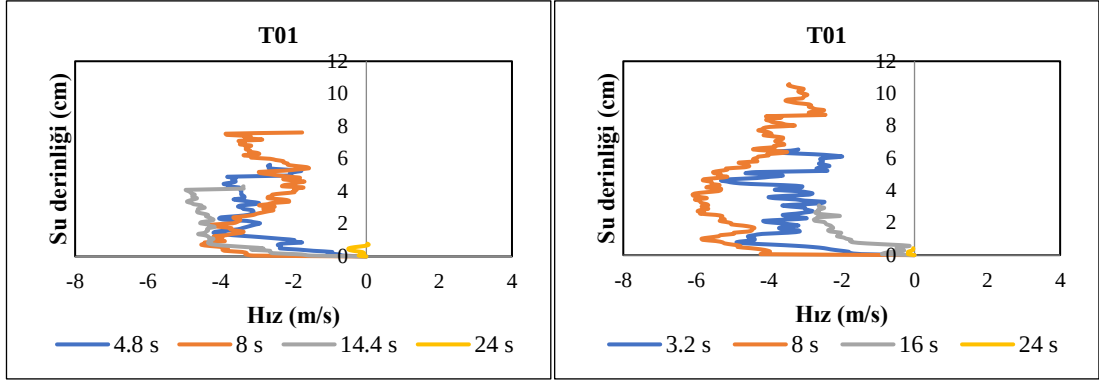
Tablo 4.2 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde farklı noktalarda ölçülen maksimum derinlik ortalamalı hızlar, bu hızlara ulaşma süreleri, bu değerlere karşılık gelen prototip değerleri ve bu değerlerdeki değişimler

UVP Algılayıcı	Bitki Örtüsüz				Bitki Örtülü				Değişim	
	Maksimum Hız (m/s)		Maksimum Hıza Ulaşma Süresi		Maksimum Hız (m/s)		Maksimum Hıza Ulaşma Süresi		Maksimum Hız (%)	Maksimum Hıza Ulaşma Süresi (%)
	Deney	Prototip	Deney (s)	Prototip (dk)	Deney	Prototip	Deney (s)	Prototip (dk)		
T01	5,38	29,48	9,6	4,38	5,44	29,81	11,2	5,11	+%1	+%17
T03	2,03	11,12	3,6	1,64	1,72	9,43	10,0	4,57	-%15	+%177
T04	1,50	8,22	10,2	4,66	0,97	5,32	8,6	3,93	-%35	-%16
T06	0,72	3,95	12,2	5,57	0,62	3,40	10,6	4,84	-%14	-%13
T07	1,90	10,41	12,4	5,66	1,67	9,15	15,6	7,12	-%12	+%26

Bitki örtülü durumda; sağ sahilde orta bölgede maksimum derinlik ortalamalı hızlarda %35'e varan azalmalar görülmüştür. Sol sahilde ise orta bölgede %14'e varan azalmalar gözlenmiştir. Maksimum hızlara ulaşma sürelerinde baraja yakın bölgelerde gecikme ölçülmüştür. Bu gecikme sağ sahilde %177 mertebesinde iken, sol sahilde %17 mertebesinde dir. Taşkın sol sahilin en sol kısmında maksimum hızlara %26 mertebesinde daha geç ulaşırken, orta bölgelerde ise %13-16 mertebelerinde daha erken ulaşmıştır.

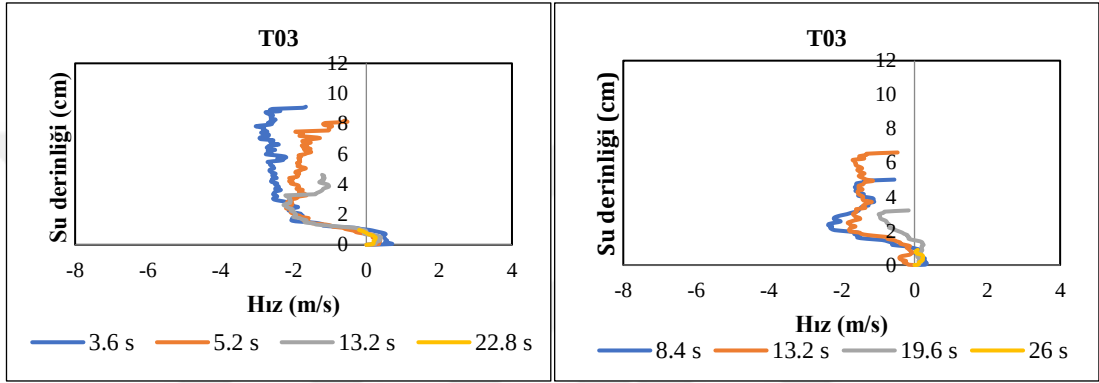
4.4.2 Farklı Zamanlarda Elde Edilen Hız Profilleri

Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde farklı noktalarda elde edilen, su derinliği eğrilerinin sırasıyla yükselen kolunun yaklaşık orta noktasına, tepe noktasına, azalan kolunun orta noktasına ve sonuna karşılık gelen zamanlardaki hız profilleri Şekil 4.6'da görülmektedir.



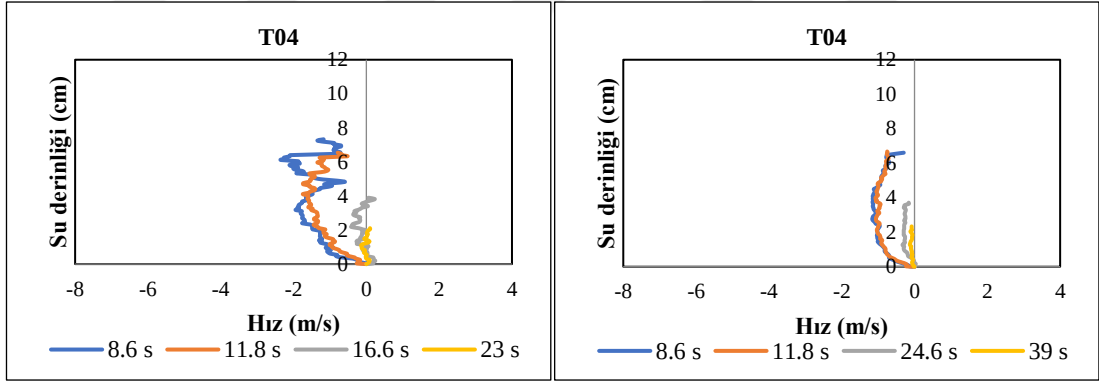
(a)

(b)



(a)

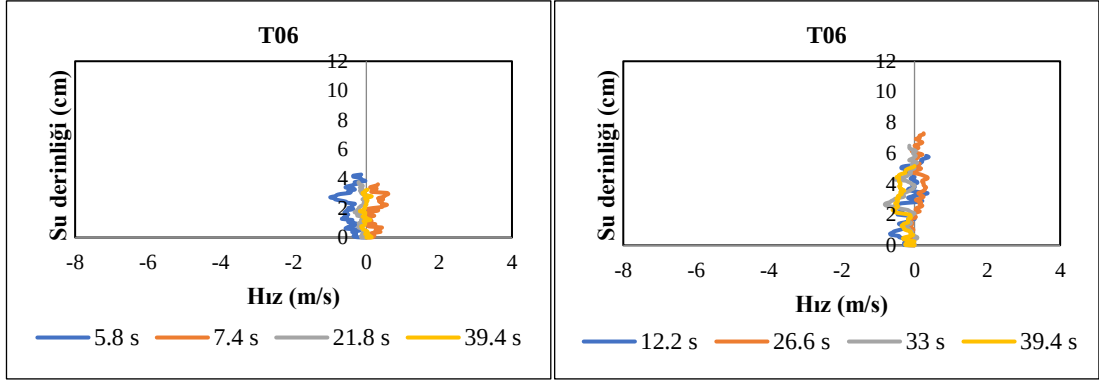
(b)



(a)

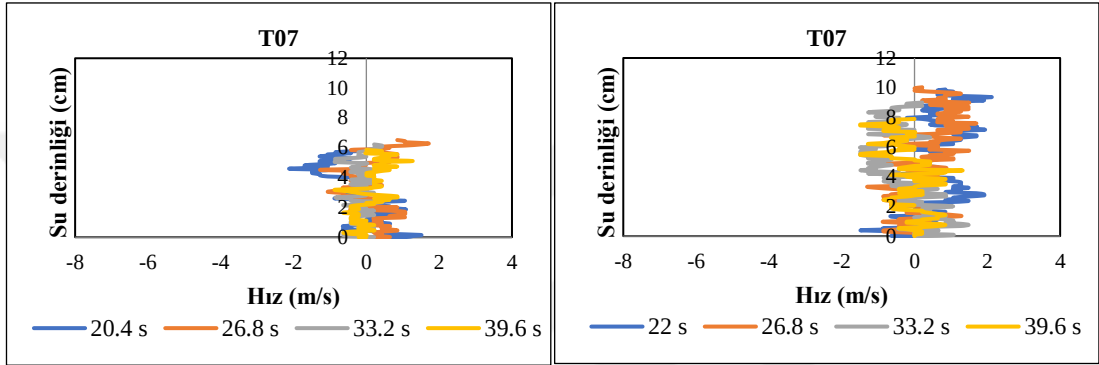
(b)

Şekil 4.6 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde farklı noktalarda farklı zamanlarda elde edilen hız profilleri (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü



(a)

(b)



(a)

(b)

Şekil 4.6 Devamı

Mansap bölgesinin sağ sahilinin baraj gövdesine yakın olan kısmında ve orta kısmında, bitki örtüsü su derinliği eğrisinin tüm aşamalarında hız değerlerini azaltmıştır.

Mansap bölgesinin sol sahilinin baraj gövdesine yakın olan kısmında, bitki örtüsü etkisiyle su derinliği eğrisinin yükselen kolunda hız değerlerinin arttığı, azalan kolunda ise düştüğü görülmüştür. Mansap bölgesinin sol sahilinde orta bölgede, bitki örtüsü su derinliği eğrisinin yükselen kolunda hız değerlerinin azalmasına, azalan kolunda ise artmasına neden olmuştur. Mansap bölgesinin sol sahilinin en sol kısmında, su derinliği eğrisinin yükselen ve azalan kolunda hızların büyüklüklerinin birbirine yakın olduğu, ancak yönlerinin farklı olduğu bulunmuştur.

4.5 Taşkın Dalgasının Yayılması

Taşkın dalgasının yayılması, mansap bölgesinin sonunda yer alan platforma yerleştirilen HD dijital kamera ile kaydedilmiştir. Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde taşkın dalgasının 2., 3., 6. ve 15. saniyelerde ulaştığı bölgeler, sırasıyla Şekil 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10’da görülmektedir.



(a)

(b)

Şekil 4.7 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde taşkın dalgasının 2. saniyede ulaştığı bölgeler
(a) bitki örtüsüz (Kişisel arşiv, 2013), (b) bitki örtülü (Kişisel arşiv, 2016)



(a)

(b)

Şekil 4.8 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde taşkın dalgasının 3. saniyede ulaştığı bölgeler
(a) bitki örtüsüz (Kişisel arşiv, 2013), (b) bitki örtülü (Kişisel arşiv, 2016)



(a)

(b)

Şekil 4.9 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde taşkın dalgasının 6. saniyede ulaştığı bölgeler (a) bitki örtüsüz (Kişisel arşiv, 2013), (b) bitki örtülü (Kişisel arşiv, 2016)



(a)

(b)

Şekil 4.10 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde taşkın dalgasının 15. saniyede ulaştığı bölgeler (a) bitki örtüsüz (Kişisel arşiv, 2013), (b) bitki örtülü (Kişisel arşiv, 2016)

Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde taşkın dalgasının farklı noktalar ile Ürkmez deresinin karayolu ve deniz ile kesişim noktalarına ulaşma süreleri ve bu değerlere karşılık gelen prototip değerleri Tablo 4.3'te verilmektedir.

Tablo 4.3 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü deneylerde taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşma süreleri ve bu değerlere karşılık gelen prototip değerleri

Ulaştığı Nokta	Bitki Örtüsüz Ulaşma Süresi		Bitki Örtülü Ulaşma Süresi	
	Deney (s)	Prototip (dk)	Deney (s)	Prototip (dk)
S2	2	0,91	2	0,91
S3	1	0,46	1	0,46
S4	4	1,83	6	2,74
S5	4	1,83	6	2,74
S6	3	1,37	4	1,83
S7	10	4,57	10	4,57
S10	7	3,20	13	5,94
S11	6	2,74	10	4,57
Karayolu	4	1,83	6	2,74
Deniz	6	2,74	10	4,57

4.6 Kısmi Bitki Örtülü ve Yoğun Bitki Örtülü Deneysel Bulguların Karşılaştırılması

Ürkmez Barajı ve mansap bölgesinin çarpıtılmış fiziksel modeli üzerindeki çalışmalar, bitki örtüsü mevcut durumu yansıtacak şekilde artırılarak devam etmektedir. Fiziksel modelin yoğun bitki örtülü durumdaki güncel hali Şekil 4.11’de verilmektedir.



Şekil 4.11 Fiziksel modelin yoğun bitki örtülü durumdaki güncel hali (Oğuzhan ve Aksoy, 2020)

Oğuzhan ve Aksoy (2020)'un yoğun bitki örtülü durumda gerçekleştirdikleri deneysel çalışmanın sonuçları ile kısmi bitki örtülü durumda gerçekleştirilen bu çalışmanın sonuçları karşılaştırılmıştır. Maksimum su derinlikleri, bu derinliklere ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler ile ilgili karşılaştırmalar Tablo 4.4'te, taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşma süreleri ve bu sürelerdeki değişimler ile ilgili karşılaştırmalar ise Tablo 4.5'te verilmektedir.

Tablo 4.4 Bitki örtüsüz, kısmi bitki örtülü ve yoğun bitki örtülü durumlarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda farklı noktalardaki maksimum su derinlikleri, bu derinliklere ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler

Nokta	Bitki Örtüsüz		Kısmi Bitki Örtülü		Yoğun Bitki Örtülü		Değişim	
	Maksimum Su Derinliği (cm)	Maksimum Su Derinliğine Ulaşma Süresi (s)	Maksimum Su Derinliği (cm)	Maksimum Su Derinliğine Ulaşma Süresi (s)	Maksimum Su Derinliği (cm)	Maksimum Su Derinliğine Ulaşma Süresi (s)	Maksimum Su Derinliği (%)	Maksimum Su Derinliğine Ulaşma Süresi (%)
S2	9,30	4	6,60	13	28,75	6	+%336	-%54
S3	8,70	7	11,80	7	10,52	1	-%11	-%86
S4	7,60	10	6,90	11	1,24	10	-%82	-%9
S5	4,60	6	7,30	21	2,60	15	-%64	-%29
S6	4,30	10	6,40	8	5,21	5	-%19	-%38

Yoğun bitki örtülü durumda kısmi bitki örtülü duruma göre; baraja yakın bölgelerde sağ sahilde maksimum su derinliğinde +%336 mertebesinde bir artış ölçülürken, sol sahilde %11 mertebesinde bir azalma ölçülmüştür. Orta bölgelerde sağ sahilde %19-82 mertebelerinde, sol sahilde ise %64 mertebesinde azalmalar görülmüştür. Taşkın maksimum su derinliklerine; baraja yakın bölgelerde %54-86 mertebelerinde, sağ sahilde orta bölgelerde %9-38 mertebelerinde, sol sahlin orta bölgesinde %29 mertebesinde daha erken ulaşmıştır.

Tablo 4.5 Bitki örtüsüz, kısmi bitki örtülü ve yoğun bitki örtülü durumlarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşma süreleri ve bu sürelerdeki değişimler

Ulaştığı Nokta	Bitki Örtüsüz Ulaşma Süresi (s)	Kısmi Bitki Örtülü Ulaşma Süresi (s)	Yoğun Bitki Örtülü Ulaşma Süresi (s)	Değişim Ulaşma Süresi (%)
S2	2	2	2	-
S3	1	1	1	-
S4	4	6	7	+%17
S5	4	6	8	+%33
S6	3	4	5	+%25

Yoğun bitki örtülü durumda kısmi bitki örtülü duruma göre; taşkın dalgasının baraja yakın bölgelere ulaşma sürelerinde değişim ölçülmemiştir. Orta bölgelerde sağ sahilde %17-25 mertebelerinde, sol sahilde ise %33 mertebesinde gecikmeler gözlenmiştir.

BÖLÜM BEŞ

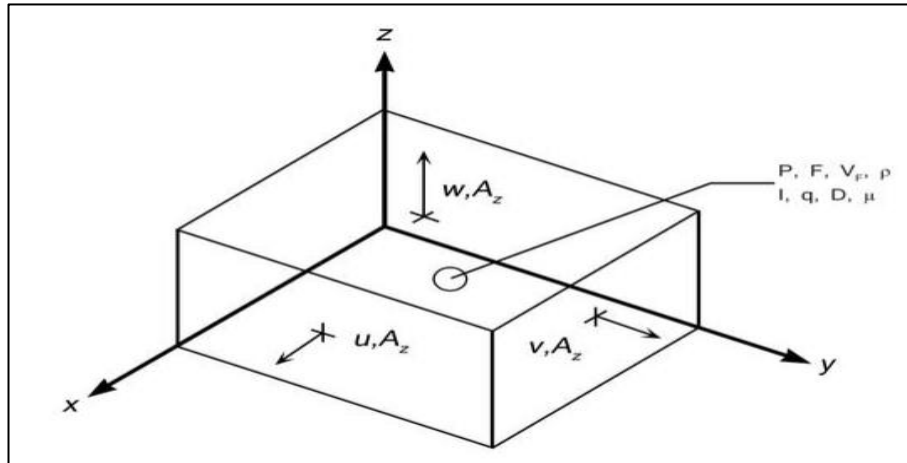
FLOW-3D YAZILIMI, SAYISAL MODELİN OLUŞTURULMASI, FLOW-3D YAZILIMINA GİRİLEN PARAMETRELER VE ANALİZ SONUÇLARININ ELDE EDİLMESİ

5.1 FLOW-3D Yazılımı

Üç boyutlu sayısal çözümler için, Flow Science, Inc. tarafından geliştirilen FLOW-3D hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanılmıştır. Yazılım, üç boyutlu kütle (süreklilik) ve momentum (hareket) denklemlerinden oluşan diferansiyel denklem sistemini sonlu hacimler yöntemi (Finite Volume Method) ile çözmektedir (Flow Science, Inc., 2016).

Yazılım özellikle serbest yüzeyli (açık kanal) akım problemlerinin çözümünde oldukça başarılıdır ve yaygın olarak kullanılmaktadır (Kocaman, 2007).

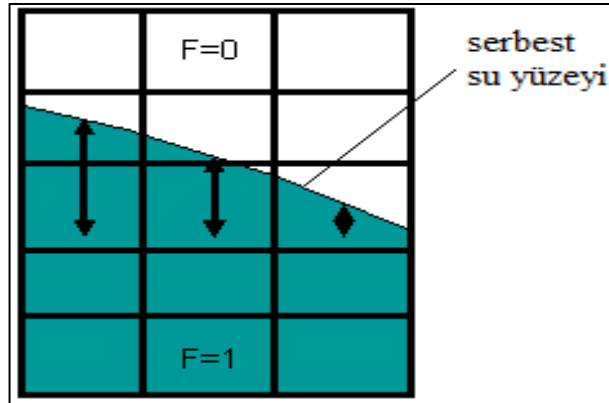
Sayısal hesaplamalar hücrelerde gerçekleştirilmektedir. Basınç, yoğunluk ve viskozite gibi skaler büyüklükler hücrelerin merkezinde, vektörel hız bileşenleri ise hücre yüzeylerinin ortasında hesaba katılmaktadır (Flow Science, Inc., 2016) (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 FLOW-3D yazılımında değişkenlerin hücre içindeki konumu (Flow Science, Inc., 2016)

Sayısal modelin geometrisi FAVOR (Fractional Area/Volume Obstacle Representation) yöntemi ile oluşturulmaktadır. Çözüm ağı içerisinde katı cisim (solid) ile kapatılan hücrelerde, katı cismin hücrenin her bir yüzeyinde kapladığı alanlar (fractional area) ve hücre içerisinde kapladığı hacim (volume fraction) hesaplanarak model geometrisi oluşturulmaktadır. Bu yöntemde, kartezyen koordinatlar (x, y, z) cinsinden yazılan tüm denklemler, alan ve hacim boşluk fonksiyonları ile formüle edilmiştir. Bu formülasyon, karmaşık geometrik bölgeleri modellemek için kullanılmaktadır. Genellikle, alan ve hacim oranları zamandan bağımsızdır. Ancak, bu büyüklükler hareketli engel modeli kullanıldığında zamanla değişebilmektedir (Flow Science, Inc., 2016).

Serbest su yüzeylerinin belirlenmesi amacıyla VOF (Volume of Fluid) olarak adlandırılan akışkan hacmi yöntemi kullanılmaktadır (Hirt ve Nichols, 1981). Bu yöntemde; hücrelerin tamamen boş, tamamen su ile dolu veya kısmen su ile dolu olduğu belirlenmektedir. Akışkan hacmi F olmak üzere; hücre tamamen su ile dolu ise F parametresi 1 değerini, tamamen boş ise 0 değerini ve kısmen su ile dolu ise hücrede kapladığı hacim yüzdesine bağlı olarak 0 ve 1 arasında bir değeri almaktadır (Flow Science, Inc., 2016) (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 FLOW-3D yazılımında serbest su yüzeyinin belirlenmesi (Flow Science, Inc., b.t.)

5.1.1 Kütle (Süreklilik) Denklemi (Flow Science, Inc., 2016)

Kütle (süreklilik) denklemi 5.1’de verilmektedir:

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

(5.1) denkleminde V_F akıma açık kesirsel hacmi, ρ akışkan yoğunluğunu, R_{DIF} türbülans yayılım terimini ve R_{SOR} kütle kaynağını göstermektedir. u , v ve w ; sırasıyla x , y ve z koordinat doğrultusundaki hız bileşenleridir. A_x , A_y ve A_z ; sırasıyla x , y ve z doğrultularındaki akıma açık kesirsel alanlardır. R katsayısı koordinat sistemi seçimine bağlı bir katsayıdır. Kartezyen koordinatlarda R katsayısı 1 değerini, ξ ise 0 değerini alır. R_{DIF} türbülans yayılım terimi (5.2) denkleminde verilmektedir. R_{SOR} kütle kaynağı terimi, gözenekli engelli yüzeylerden kütleli geçiş modellemesi için kullanılabilecek yoğunluk kaynağı terimidir.

$$R_{DIF} = \frac{\partial}{\partial x} \left(v_\rho A_x \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(v_\rho A_y \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_\rho A_z \frac{\partial \rho}{\partial z} \right) + \xi \frac{v_\rho A_x}{x} \frac{\partial \rho}{\partial x} \quad (5.2)$$

(5.2) denkleminde v_ρ katsayısı $S_c \mu / \rho$ ’ya eşittir. μ momentum yayılım katsayısını (viskozite) ve S_c sabitinin tersi ise türbülans Schmidt sayısını göstermektedir.

Sıkıştırılamaz akışkanlar için, ρ sabit bir değerdir. (5.1) denklemi sıkıştırılamazlık durumu için (5.3) denklemindeki gibi yazılır.

$$\frac{\partial}{\partial x}(u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(w A_z) + \xi \frac{u A_x}{x} = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (5.3)$$

5.1.2 Momentum (Hareket) Denklemi (Flow Science, Inc., 2016)

Üç koordinat doğrultusundaki (u , v , w) akışkan hızı bileşenleri için hareket denklemleri, bazı ek terimler içeren Navier-Stokes denklemleridir (5.4).

$$\begin{aligned}
\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \xi \frac{A_y v^2}{x V_F} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \delta u_s) \\
\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \xi \frac{A_y u v}{x V_F} &= -\frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial p}{\partial y} \right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s) \\
\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s)
\end{aligned} \quad (5.4)$$

Bu denklemlerde; (G_x, G_y, G_z) gövde ivmelerini, (f_x, f_y, f_z) viskoz ivmelerini, (b_x, b_y, b_z) gözenekli ortamdaki akış kayıplarını ifade etmektedir. (u_w, v_w, w_w) , genel hareketli nesneler modelinde (General Moving Objects Model) kütle kaynağının hız bileşenleridir. (u_s, v_s, w_s) , kaynağın yüzeyindeki akışkan hızıdır.

Değişken bir dinamik viskozite (μ) için, viskoz ivmeleri (5.5) denkleminde verilmektedir.

$$\begin{aligned}
\rho V_F f_x &= w s x - \left(\frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xx}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{xz}) + \frac{\xi}{x} (A_x \tau_{xx} - A_y \tau_{yy}) \right) \\
\rho V_F f_y &= w s y - \left(\frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xy}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{yz}) + \frac{\xi}{x} (A_x + A_y \tau_{xy}) \right) \\
\rho V_F f_z &= w s z - \left(\frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xz}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{zz}) + \frac{\xi}{x} (A_x \tau_{xz}) \right)
\end{aligned} \quad (5.5)$$

(5.5) denkleminde $w s x$, $w s y$ ve $w s z$ cidar kayma gerilmelerini göstermektedir. Diğer gerilmeler (5.6) denkleminde verilmektedir.

$$\begin{aligned}
\tau_{xx} &= -2\mu \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right) \\
\tau_{yy} &= -2\mu \left(R \frac{\partial v}{\partial y} + \xi \frac{u}{x} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right) \\
\tau_{zz} &= -2\mu \left(\frac{\partial w}{\partial z} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right) \\
\tau_{xy} &= -\mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + R \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\xi v}{x} \right) \\
\tau_{xz} &= -\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\
\tau_{yz} &= -\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + R \frac{\partial w}{\partial y} \right)
\end{aligned} \quad (5.6)$$

5.1.3 Akışkan Arayüzleri ve Serbest Su Yüzeyleri (Flow Science, Inc., 2016)

Akışkan konfigürasyonları, akışkan hacmi (VOF) fonksiyonu, $F(x, y, z, t)$, cinsinden tanımlanır (Hirt ve Nichols, 1981). Bu fonksiyon (5.7) denklemini sağlar.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[\frac{\partial}{\partial x} (FA_x u) + R \frac{\partial}{\partial y} (FA_y v) + \frac{\partial}{\partial z} (FA_z w) + \xi \frac{FA_x u}{x} \right] = F_{DIF} + F_{SOR} \quad (5.7)$$

(5.7) denkleminde verilen F_{DIF} terimi (5.8) denkleminde elde edilir.

$$F_{DIF} = \frac{1}{V_F} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(v_F A_x \frac{\partial F}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial x} \left(v_F A_y R \frac{\partial F}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_F A_z \frac{\partial F}{\partial z} \right) + \xi \frac{v_F A_x F}{x} \right\} \quad (5.8)$$

Yayılm katsayısı $v_F = c_F \mu / \rho$ olarak tanımlanır. c_F tersi türbülans Schmidt sayısı olarak adlandırılan bir sabit değerdir.

(5.7) denkleminde verilen F_{SOR} terimi, (5.1) denklemindeki R_{SOR} kütle kaynağına karşılık gelmektedir.

5.1.4 Türbülans Modelleri (Flow Science, Inc., 2016)

Türbülans, dengeleyici viskoz kuvvetlerin yetersiz olması durumunda oluşan, akışkanların kaotik ve kararsız hareketidir. Yüksek Reynolds sayısında, çeşitli büyüklükteki girdapların oluşumunda ortaya çıkar. Bu davranış, musluktan akışta veya hızlı hareket eden akışın serbest yüzeyinde kolayca gözlenir. Türbülans, sayısal akış modellemesinde göz ardı edilemez.

FLOW-3D yazılımında Prandtl karışım uzunluğu modeli (Prandtl mixing length model), bir denklemlilik model (one-equation model), iki denklemlilik $k-\epsilon$ modeli (two-equation $k-\epsilon$ model), yeniden normalleştirilmiş grup modeli (renormalized group model - RNG), iki denklemlilik $k-\omega$ modeli (two-equation $k-\omega$ model) ve büyük çevrinti simülasyon modeli (large eddy simulation model - LES) olmak üzere altı adet türbülans modeli mevcuttur.

5.1.4.1 Türbülans Taşıma Modelleri

Bir denklemlili türbülans taşıma modeli, akıştaki türbülans hızı dalgalanmalarıyla ilişkili türbülans kinetik enerjisi için (5.9) denkleminde verilen bir taşıma denkleminde oluşur.

$$k_T = \frac{1}{2}(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \quad (5.9)$$

(5.9) denkleminde u' , v' ve w' kaotik türbülans dalgalanma hızının x, y ve z bileşenlerini göstermektedir.

k_T için taşıma denklemi; türbülans kinetik enerjisinin taşınımını ve yayılımını, kayma ve kaldırma etkisiyle oluşan türbülans kinetik enerjisinin üretimini, yayılımını ve türbülans çalkantıları içerisinde viskoz kayıplar nedeniyle meydana gelen enerji kaybını içerir. Kaldırma, yalnızca akışta düzgün olmayan bir yoğunluk varsa meydana gelir ve yerçekimi ivmesiyle eylemsiz olmayan ivmelerin etkilerini içerir. Taşıma denklemi (5.10)'da verilmektedir.

$$\frac{\partial k_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial k_T}{\partial x} + v A_y \frac{\partial k_T}{\partial y} + w A_z \frac{\partial k_T}{\partial z} \right) = P_T + G_T + Diff_{k_T} - \varepsilon_T \quad (5.10)$$

Türbülans kinetik enerjisi üretimi (5.11) denkleminde verilmektedir.

$$P_T = C_{SPRO} \left(\frac{\mu}{\rho V_F} \right) \left(\begin{aligned} & 2A_x \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2A_y \left(R \frac{\partial v}{\partial y} + \xi \frac{u}{x} \right)^2 + 2A_z \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 + \\ & \left(\frac{\partial v}{\partial x} + R \frac{\partial u}{\partial y} - \xi \frac{v}{x} \right) \left(A_x \frac{\partial v}{\partial x} + A_y \left(R \frac{\partial u}{\partial y} - \xi \frac{v}{x} \right) \right) + \\ & \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \left(A_z \frac{\partial u}{\partial z} + A_x \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \\ & \left(\frac{\partial v}{\partial z} + R \frac{\partial w}{\partial y} \right) \left(A_z \frac{\partial v}{\partial z} + A_y R \frac{\partial w}{\partial y} \right) \end{aligned} \right) \quad (5.11)$$

(5.11) denkleminde; C_{SPRO} varsayılan değeri 1 olan türbülans kayma çarpım katsayısıdır. Kaldırma üretimi terimi (5.12) denkleminde verilmektedir.

$$G_T = -CRHO \left(\frac{\mu}{\rho^3} \right) \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} \frac{\partial P}{\partial x} + R^2 \frac{\partial \rho}{\partial y} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial \rho}{\partial z} \frac{\partial P}{\partial z} \right) \quad (5.12)$$

Burada; μ moleküler dinamik viskozite, ρ akışkan yoğunluğu, P basınç ve $CRHO$ türbülans üretiminde kaldırma katsayısı olup varsayılan değeri 0'dır. Ancak termal kaldırma akış problemleri için yaklaşık 2,5 olarak seçilmelidir. Yayılım terimi (5.13) denkleminde verilmiştir.

$$Diff_{k_T} = \frac{1}{V_F} \left(\frac{\partial}{\partial x} \left(v_k A_x \frac{\partial k_T}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(v_k A_y R \frac{\partial k_T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_k A_z \frac{\partial k_T}{\partial z} \right) + \xi \frac{v_k A_x k_T}{x} \right) \quad (5.13)$$

(5.13) denkleminde v_k , k_T 'nin yayılım katsayısıdır ve yerel türbülans viskozitesi değerine göre hesaplanır.

k_T türbülans kinetik enerjisiyle ilgili bir denklemler modelde, türbülans enerji kaybı oranı ε_T (5.14) denkleminde verilmektedir.

$$\varepsilon_T = CNU^{3/4} \frac{k_T^{3/2}}{TLEN} \quad (5.14)$$

(5.14) denkleminde, CNU türbülans viskozitesi değerlendirmesinde kullanılan katsayı olup, k - ε modelindeki değeri 0,09'dur.

(5.14) denkleminde, $TLEN$ türbülans uzunluk ölçeğidir. FLOW-3D, $TLEN$ değeri için en küçük alan boyutunun %7'si olacak şekilde bir değer seçer. Bununla birlikte, bu değer hidrotik çapın %7'si olması tavsiye edilir (Shojaee Fard ve Boyaghchi, 2007).

k_T türbülans kinetik enerjisi ve ε_T türbülans enerji kaybı oranı için iki taşıma denkleminde oluşan, (5.14) denkleminde olan ihtiyacı ortadan kaldıran (akış sınırları dışında ve sıfıra yakın ε_T türbülans enerji kaybı olan akış bölgelerinde) k - ε modeli (Harlow ve Nakayama, 1967) daha yaygın olarak kullanılır. k - ε modelinin bir çok akış

tipine uygun yaklaşımlar sağladığı görülmüştür (Rodi, 1980). ε_T türbülans enerji kaybı için ek bir taşıma denklemi (5.15) çözülür.

$$\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y} + w A_z \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial z} \right) = \frac{CDIS1 \cdot \varepsilon_T}{k_T} (P_T + CDIS3 \cdot G_T) + Diff_\varepsilon - CDIS2 \frac{\varepsilon_T^2}{k_T} \quad (5.15)$$

(5.15) denkleminde $CDIS1$ türbülans enerji kaybı taşıma denkleminde üretim katsayısı, $CDIS2$ türbülans enerji kaybı taşıma denkleminde bozulma katsayısı ve $CDIS3$ türbülans enerji kaybı taşıma denkleminde kaldırma katsayısı olup, k- ε modeli için sırasıyla 1,44, 1,92 ve 0,2 değerlerine sahip boyutsuz parametrelerdir. Akış bölgesinin çoğunda, (5.15) denklemi (5.14) denkleminin yerine geçer ve böylece etki alanı boyunca $TLEN$ değerine duyulan ihtiyacı azaltır. $Diff_\varepsilon$ enerji kaybı yayılımı (5.16) denkleminde verilmiştir.

$$Diff_\varepsilon = \frac{1}{V_F} \left(\frac{\partial}{\partial x} \left(v_\varepsilon A_x \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(v_\varepsilon A_y R \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_\varepsilon A_z \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial z} \right) + \xi \frac{v_\varepsilon A_x \varepsilon_T}{x} \right) \quad (5.16)$$

Diğer bir türbülans modeli, yeniden normalleştirilmiş grup (RNG) yöntemlerine dayanmaktadır (Yakhot ve Orszag, 1986; Yakhot ve Smith, 1992). Bu yaklaşım, türbülans kinetik enerjisi ve enerji kaybı oranı gibi türbülans büyüklükleri için ortalama denklemlerin türetilmesi amacıyla istatistiksel yöntemler uygular.

RNG modeli k- ε modeline benzer denklemleri kullanır. Bununla birlikte, standart k- ε modelinde ampirik olarak bulunan denklem sabitleri RNG modelinde açıkça türetilmiştir. Genel olarak, RNG modeli standart k- ε modelinden daha geniş uygulanabilirliğe sahiptir. Özellikle RNG modelinin, düşük yoğunluklu türbülanslı akışları ve güçlü kayma bölgelerine sahip olan akışları daha doğru bir şekilde tarif ettiği bilinmektedir. Ayrıca; $CDIS1$ ve CNU 'nun varsayılan değerleri k- ε modelinde kullanılanlardan farklı olup, sırasıyla 1,42 ve 0,085 değerlerine sahiptir. $CDIS2$, RNG modeli için bir kayma oranı fonksiyonudur, türbülans kinetik enerjisi (k_T) ve türbülans üretim (P_T) terimlerinden hesaplanır.

Tüm türbülans taşıma modellerinde kinematik türbülans viskozitesi (ν_T) (5.17) denkleminde hesaplanır.

$$\nu_T = CNU \frac{k_T^2}{\varepsilon_T} \quad (5.17)$$

İki denklemlili k- ε ve RNG modellerinin belirli bir sayısal zorluğu, ε_T 'nin değerini aşağıdan sınırlandırma ihtiyacıdır. (5.15) denklemi, sıfıra çok yakın ε_T değerleri üretebilir. Bu gibi durumlarda, fiziksel olarak k_T 'nin sıfıra yaklaşması gerekse de sayısal nedenlerden dolayı bunu yapmamaya başlar. Bu problemi ortadan kaldırmak için ε_T değeri (5.18) denkleminde verilen değer altına düşmeyecek şekilde sınırlandırılır.

$$\varepsilon_{T,min} = CNU^{3/4} \frac{k_T^{3/2}}{TLEN} \quad (5.18)$$

İki denklemlili k- ω modeli, özellikle duvar sınırlarına yakın, jetler ve çevrıntiler gibi akış yönünde basınç gradyanlarına sahip belirli akış koşullarında, k- ε veya RNG modellerinden üstündür.

$\omega = \varepsilon/k$ değişkeni (Kolmogorov, 1942), 1/zaman boyutuna sahiptir. k- ω modeli (Wilcox, 1998) (5.19) denkleminde formüle edilmiştir.

$$\frac{\partial k_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(uA_x \frac{\partial k_T}{\partial x} + vA_y \frac{\partial k_T}{\partial y} + wA_z \frac{\partial k_T}{\partial z} \right) = P_T + G_T + Diff_{k_T} - \beta^* k \omega \quad (5.19)$$

$\beta_0^* = 0,09$ olmak üzere β^* (5.20) denkleminde hesaplanır.

$$\beta^* = \beta_0^* f_{\beta^*} \quad (5.20)$$

$$\chi_k \leq 0 \text{ için } f_{\beta^*} = 1 \text{ ve } \chi_k > 0 \text{ için } f_{\beta^*} = \frac{1 + 680\chi_k^2}{1 + 400\chi_k^2} \quad (5.21)$$

(5.21) denklemindeki χ_k (5.22) denklemi kullanılarak elde edilir.

$$\chi_k = \frac{1}{\omega^3} \left(\frac{\partial k_T}{\partial x} \frac{\partial \omega_T}{\partial x} + \frac{\partial k_T}{\partial y} \frac{\partial \omega_T}{\partial y} + \frac{\partial k_T}{\partial z} \frac{\partial \omega_T}{\partial z} \right) \quad (5.22)$$

$\alpha=13/25$ olmak üzere ω taşıma denklemi (5.23)'de verilmektedir.

$$\frac{\partial \omega_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial \omega_T}{\partial x} + v A_y \frac{\partial \omega_T}{\partial y} + w A_z \frac{\partial \omega_T}{\partial z} \right) = \alpha \frac{\omega_T}{k_T} (P_T + CDIS3.G_T) + Diff_\omega - \beta \omega_T^2 \quad (5.23)$$

$\beta_0=9/125$ olmak üzere β değeri (5.24) denkleminde hesaplanır.

$$\beta = \beta_0 f_\beta \quad (5.24)$$

(5.24) denkleminde verilen f_β (5.25) denkleminde elde edilmektedir.

$$f_\beta = \frac{1 + 70\chi_\omega}{1 + 80\chi_\omega} \quad (5.25)$$

(5.25) denkleminde verilen χ_ω (5.26) denkleminde elde edilmektedir.

$$\chi_\omega = \left| \frac{\Omega_{ij} \Omega_{jk} S_{ki}}{(\beta_0^* \omega)^3} \right| \quad (5.26)$$

(5.26) denkleminde verilen Ω_{ij} ve S_{ki} sırasıyla ortalama dönme ve ortalama gerilme hızı tansörüdür ve kaldırma terimi (5.12) denklemindeki gibidir.

k - ω modelinde $\varepsilon=\beta^* \omega k$ ve $v_T=k/\omega$ denklemleriyle belirlenir.

Herhangi bir türbülans modelinin temel amacı, türbülanslı dalgalanmaların ortalama akış büyüklükleri üzerindeki etkisini tahmin etmek için bir mekanizma sağlamaktır. Bu etki genellikle kütle (5.1) ve momentum (5.4) denklemlerindeki ek yayılım terimleriyle ifade edilir. Türbülans, momentum yayılımını arttırdığı için,

viskoziteyi etkili bir şekilde artırır. Moleküler ve türbülans viskozitesinin toplamı olan dinamik viskozite (5.27) denkleminde hesaplanır.

$$\mu = \rho(v + v_T) \quad (5.27)$$

5.1.4.2 Prandtl Karışım Uzunluğu Modeli

En basit model olan Prandtl karışım uzunluğu modeli, akışkan viskozitesinin katı sınırların yakını gibi yüksek kesme bölgelerindeki türbülans karışım süreçleri ile arttığını varsayar. Ancak bu durum kararlı akışlar için elverişlidir. Prandtl karışım uzunluğu modeli, türbülans üretimi ve enerji kaybının akışın her yerinde dengede olduğunu varsayar (5.28).

$$P_T + G_T = \varepsilon_T \quad (5.28)$$

(5.28) denkleminde; P_T ve G_T sırasıyla kesme ve kaldırma etkilerine bağlı türbülans üretimleri, ε_T ise türbülans enerji kaybıdır. Türbülans enerji kaybı (5.29) denklemindeki gibi yazılabilir.

$$\varepsilon_T = CNU^{3/4} \frac{k_T^{3/2}}{TLEN} \quad (5.29)$$

(5.29) denkleminde CNU varsayılan değeri 0,09 olan bir parametredir. (5.28) ve (5.29) denklemleri birleştirilerek k_T hesaplanır. Daha sonra k_T ve $TLEN$ kullanılarak v_T türbülans kinematik viskozitesi (5.30) denklemi ile hesaplanır.

$$v_T = CNU^{1/4} TLEN \sqrt{k_T} \quad (5.30)$$

Kısıtlayıcı varsayımları nedeniyle, bu model bir ve iki denklemlilik taşıma modellerine göre daha az kullanışlıdır.

5.1.4.3 Büyük Çevrinti Simülasyon Modeli (LES Modeli)

LES modelinde temel fikir; hesaplama ağı ile çözülebilir tüm çalkantılı akış yapılarının doğrudan hesaplanmasının, yalnızca çözülemeyecek kadar küçük olan özelliklerin yaklaşık olarak hesaplanmasının gerektiğidir (Smagorinsky, 1963). LES modelini kullanırken, modelin doğasında üç boyutlu ve zamana bağlı olduğunu hatırlamak önemlidir. Ayrıca dalgalanmalar giriş sınırlarında belirtilmelidir. LES sonuçları, genellikle Reynolds ortalamalarına dayanan modellerin ürettiğinden daha fazla bilgi sağlar.

LES modelinde, türbülansın hesaplanamayacak kadar küçük etkileri, girdap viskozitesi ile gösterilir. Girdap viskozitesi, uzunluk ölçeğiyle orantılı olan bu ölçek üzerindeki hız dalgalanmalarının bir ölçüsüdür. Uzunluk ölçeği için, Smagorinsky (1963), ağ hücresi boyutlarının geometrik ortalamasını kullanır (5.31).

$$L = (\delta x \delta y \delta z)^{1/3} \quad (5.31)$$

Smagorinsky (1963), ortalama kayma gerilmesinin L katı büyüklüğü ile hız dalgalanmalarını ölçeklendirir. Bu büyüklükler LES kinematik girdap viskozitesinde birleştirilir (5.32).

$$v_T = (cL)^2 \sqrt{2e_{ij}2e_{ij}} \quad (5.32)$$

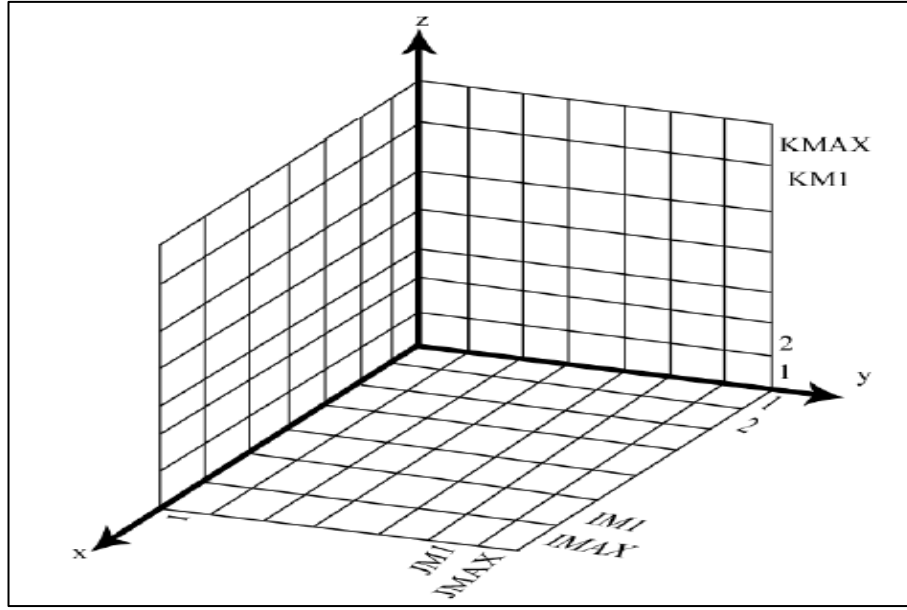
(5.32) denkleminde, c 0,1 ila 0,2 aralığında tipik bir değere sahip bir sabit ve e_{ij} gerilme hızı tansörü bileşenlerini belirtir. Bu kinematik girdap viskozitesi, türbülans taşıma modellerinde olduğu gibi (5.27) denklemindeki dinamik viskoziteye dahil edilir.

5.1.5 Sonlu Hacimler Yöntemi (*Flow Science, Inc., 2016*)

FLOW-3D yazılımında, üç boyutlu süreklilik ve hareket denklemlerinin çözümünde sonlu hacimler (veya sonlu farklar) yaklaşımı kullanılır ve akış bölgesi hücrelerden oluşan sabit bir ağı bölünür. Yönetim denklemleri ve her bağımlı değişken konumunu çevreleyen kontrol hacimleri için ayrık sayısal yaklaşımlar tanımlanır. Her kontrol hacmi için yüzey akışları, yüzey gerilmeleri ve kuvvetler hesaplanabilir. Bunlar daha sonra hareket denklemleriyle ifade edilen yaklaşımlar oluşturmak için birleştirilir.

Denklemlerdeki çoğu terim, yerel değişkenlerin anlık zaman-seviye değerleri kullanılarak, açık (explicit) olarak değerlendirilir. Bu, basit ve verimli bir hesaplama şeması üretir. Ancak hesaplama açısından kararlı ve doğru sonuçlar elde etmek için sınırlı bir zaman adımlı boyutun kullanılması gerekir.

Yönetim denklemlerinin sayısal olarak çözülmesi için, genişlik δx_i , derinlik δy_i , ve yükseklik δz_k olmak üzere hücrelerden oluşan sonlu fark ağları kullanılır. Aktif ağ (mesh) bölgesi, x yönünde i indeks işaretli $IBAR$ hücrelerine, y yönünde j indeks işaretli $JBAR$ hücrelerine ve z yönünde k indeks işaretli $KBAR$ hücrelerine sahiptir (Şekil 5.3). Tam bir ağda genellikle $(IBAR + 2)$ $(JBAR + 2)$ $(KBAR + 2)$ toplam hücre vardır. Ön işlemci, tüm sınır şartlarını karşılamak için gerekli sayıda sınır hücrelerini otomatik olarak başlatacaktır.



Şekil 5.3 Ağ düzenlemesi ve hücrelerin i, j ve k indeksleriyle işaretlenmesi (Flow Science, Inc., 2016)

Akışkana ait u hızları ve A_x kesirsel alanları x yönünde hücre yüzeylerinin ortasında, v hızları ve A_y kesirsel alanları y yönünde hücre yüzeylerinin ortasında, w hızları ve A_z kesirsel alanları z yönünde hücre yüzeylerinin ortasındadır. Basınçlar (p), akışkan kesirleri (F), kesirsel hacimler (V), yoğunluklar (ρ), iç enerji (I), enerji için türbülans miktarları (q), enerji kaybı (D) ve viskozite (μ) hücrelerin merkezindedir (Şekil 5.1).

Sonlu farklar yönteminde kullanılan notasyona göre, (i, j, k) ve $(i + 1, j, k)$ hücreleri arasındaki hücre yüzeyinde bulunan $i + \frac{1}{2}$ 'deki u hızı $u_{i,j,k}^n$ şeklinde gösterilir. Buradaki n üst simgesi n . zaman adımını belirtir. $F_{i,j,k}^n$ n . zaman adımındaki (i, j, k) hücre merkezindeki akışkan kesrini, $P_{i,j,k}^n$ n . zaman adımındaki (i, j, k) hücre merkezindeki basıncı gösterir. (ρ , I , q , D ve μ) notasyonları için de benzer gösterimler gerçekleştirilir. $u_{i,j,k}^n$ n . zaman adımındaki $i + \frac{1}{2}$ hücre yüzeyinin ortasındaki x yönü hızını, $v_{i,j,k}^n$ n . zaman adımındaki $j + \frac{1}{2}$ hücre yüzeyinin ortasındaki y yönü hızını ve $w_{i,j,k}^n$ n . zaman adımındaki $k + \frac{1}{2}$ hücre yüzeyinin ortasındaki z yönü hızını gösterir. $AFR_{i,j,k}$ $i + \frac{1}{2}$ hücre yüzeyindeki x yönü A_x kesirsel alanını, $AFB_{i,j,k}$ $j + \frac{1}{2}$ hücre yüzeyindeki y yönü A_y kesirsel alanını, $AFT_{i,j,k}$ $k + \frac{1}{2}$ hücre yüzeyindeki z yönü A_z kesirsel alanını ve $VF_{i,j,k}$ (i, j, k) hücre merkezindeki kesirsel akış hacmini belirtir.

Zaman içerisindeki artış (δt) olmak üzere, sonlu farklar çözüm yöntemine ait prosedür aşağıdaki üç adımı içerir:

1. Momentum denklemlerinin açık yaklaşımları, (5.4) denklemi, ile başlangıç koşullarını kullanarak ilk hız değeri veya önceki zaman adımındaki hız değeri kullanarak yeni zaman adımındaki hız değeri hesaplanır.
2. Süreklilik denklemini, (5.1) veya (5.3) denklemi, sağlamak için kapalı (implicit) yaklaşım kullanıldığında, basınçlar her hücrede iteratif olarak ayarlanır ve her basınç değişikliğinin neden olduğu hız değişiklikleri (1) adımında hesaplanan hızlara eklenir. Bir hücrede ihtiyaç duyulan basınç değişikliği, bitişik altı hücrede dengeyi bozacağı için iterasyon gereklidir.
3. Son olarak, bir serbest yüzey veya akışkan arayüzü olduğunda, yeni akışkan konfigürasyonunu oluşturmak için (5.7) denklemi kullanılarak güncelleme yapılmalıdır. Türbülans miktarları ve cidar sıcaklıkları da bu adımda güncellenir.

Bu adımların tekrarlanması, istenen herhangi bir zaman aralığında çözümü ilerletecektir. Her adımda, her ağ, engel ve serbest sınır yüzeylerinde, uygun sınır koşulları uygulanmalıdır.

Momentum denkleminin (5.4) sonlu farklar yaklaşımı için genel formu (5.33) denkleminde verilmektedir.

$$\begin{aligned}
 u_{i,j,k}^{n+1} &= u_{i,j,k}^n + \delta t^{n+1} \left[-\frac{P_{i+1,j,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1}}{(\rho \delta x)_{i+\frac{1}{2},j,k}^n} + G_x - FUX - FUY - FUZ + VISX - BX - WSHX \right] \\
 v_{i,j,k}^{n+1} &= v_{i,j,k}^n + \delta t^{n+1} \left[-\frac{P_{i,j+1,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1}}{(\rho \delta y)_{i,j+\frac{1}{2},k}^n} \cdot R_{i+\frac{1}{2}} + G_y - FVX - FVY - FVZ + VISY - BY - WSHY \right] \\
 w_{i,j,k}^{n+1} &= w_{i,j,k}^n + \delta t^{n+1} \left[-\frac{P_{i,j,k+1}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1}}{(\rho \delta z)_{i,j,k+\frac{1}{2}}^n} + G_z - FWX - FWY - FWZ + VISZ - BZ - WSHZ \right]
 \end{aligned} \quad (5.33)$$

Burada,

$$(\rho\delta x)_{i+\frac{1}{2},j,k}^n = \frac{(\rho_{i,j,k}^n\delta x_i + \rho_{i+1,j,k}^n\delta x_{i+1})}{2} \quad (5.34)$$

ve

$$R_{i+\frac{1}{2}} = 1,0 \text{ kartezyen koordinatlarda} \quad (5.35)$$

(5.33) denkleminde, FUX x yönünde u advectif akı, $VISX$ viskoz ivmenin x bileşenini, BX x yönüne dik bir engel için akış kaybını ve WSX x yönündeki viskoz cidar ivmesini göstermektedir. G_x ise yerçekimi ivmesini, dönel ve eylemsiz olmayan ivmeleri içermektedir.

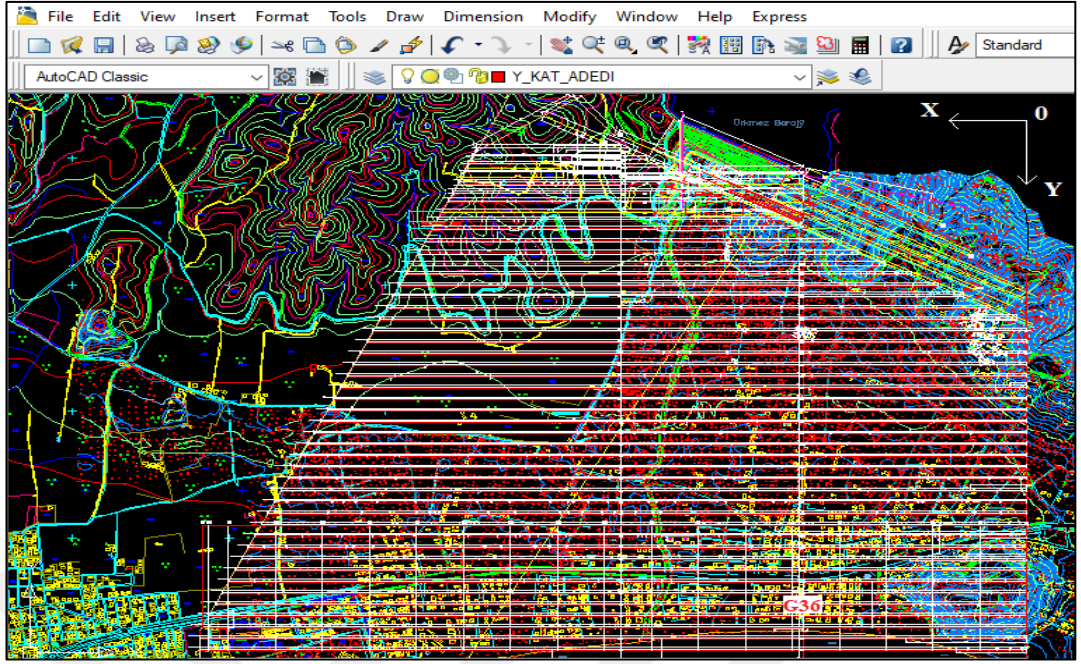
5.2 Sayısal Modelin Oluşturulması

Deneyisel çalışmalarda kullanılan çarpıtılmış fiziksel modele ait baraj gölünün, barajın mansap bölgesinin, mansap bölgesindeki yerleşim alanının ve kısmi bitki örtüsü yapısının boyutları ve araziye yerleşim konfigürasyonları dikkate alınarak sayısal model oluşturulmuştur. Sayısal model oluşturulurken, çarpıtılmış fiziksel modelin tasarımı ve inşaatında kullanılan, barajın menba ve mansap bölgesine ait haritalardan yararlanılmıştır.

Modelin oluşturulması aşamasında; AutoCAD, AutoCAD Civil 3D, 3D Builder ve SketchUp yazılımları kullanılmıştır. Bu yazılımlar kullanılarak; mansap bölgesi, evler, bitki örtüsü ve baraj gölü modelleri ayrı ayrı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modeller daha sonra Stl (stereolithography) formatına çevrilerek FLOW-3D yazılımına aktarılmıştır.

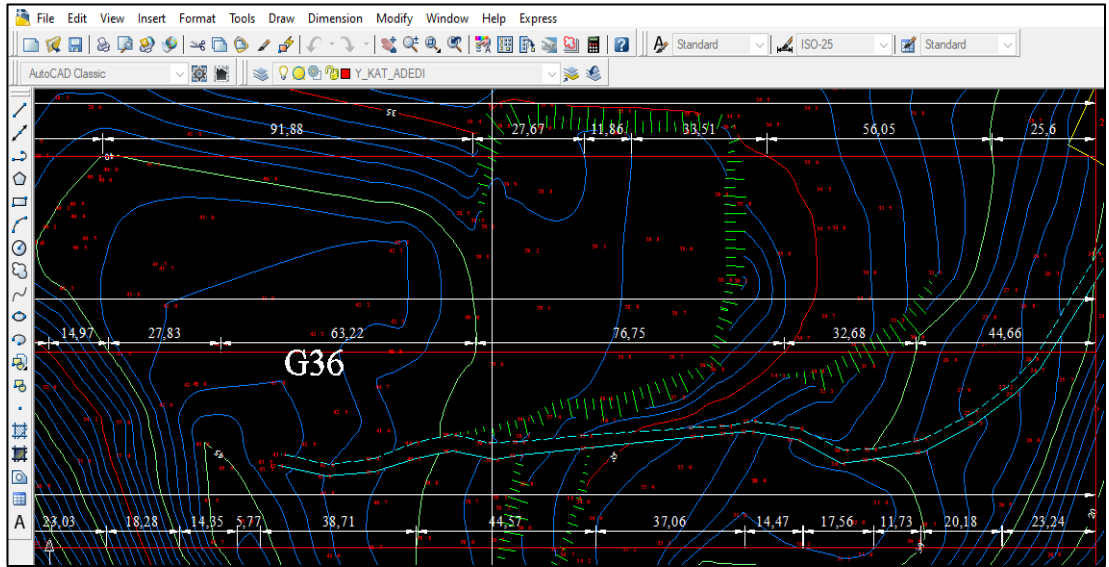
5.2.1 Barajın Mansap Bölgesine Ait Topografyanın ve Mansap Bölgesindeki Evlerin Modelinin Oluşturulması

Barajın mansap bölgesine ait topografyanın ve mansap bölgesindeki evlerin modeli İZSU Genel Müdürlüğü'nden temin edilen dijital harita kullanılarak elde edilmiştir. Topografyanın modeli oluşturulurken, ilk olarak Şekil 5.4'te gösterildiği gibi haritadan kesitler çıkarılmış ve kesitlerin modeldeki boyutları belirlenmiştir.

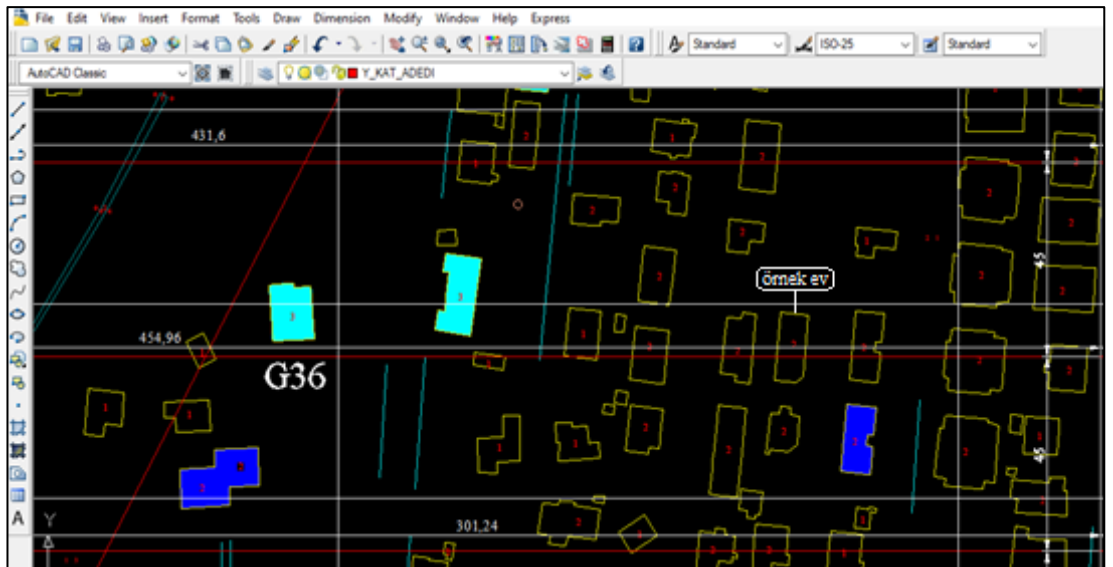
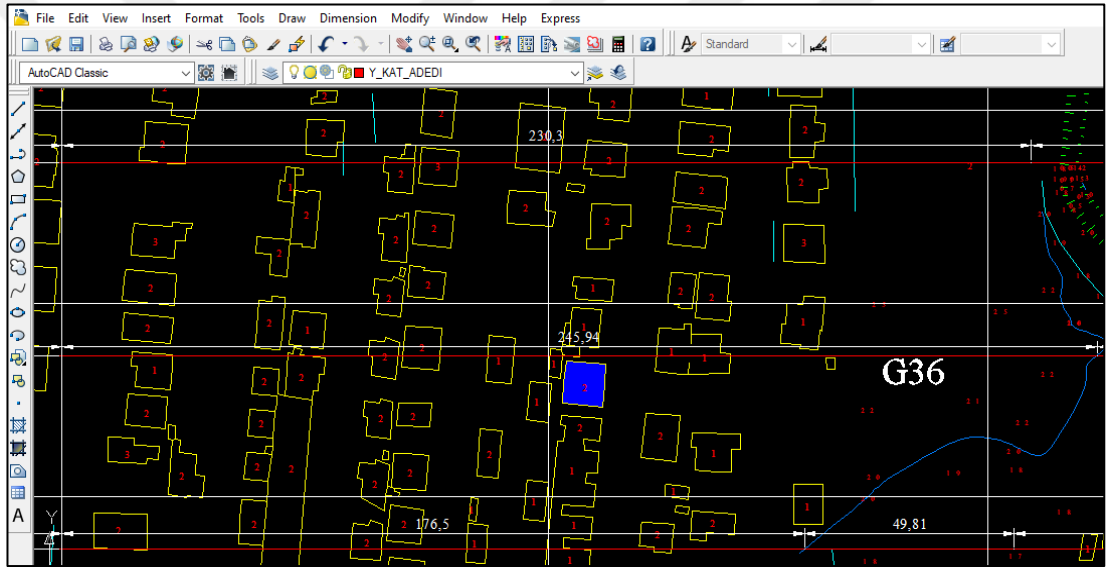
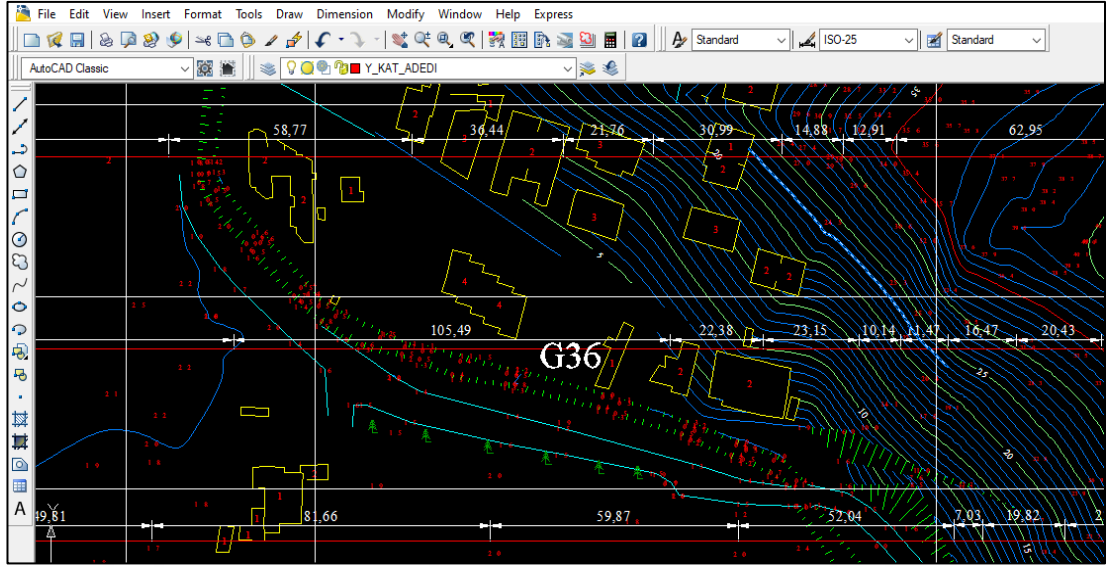


Şekil 5.4 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın modelinin oluşturulmasında kullanılan kesitler (TÜBİTAK 110M240, 2012)

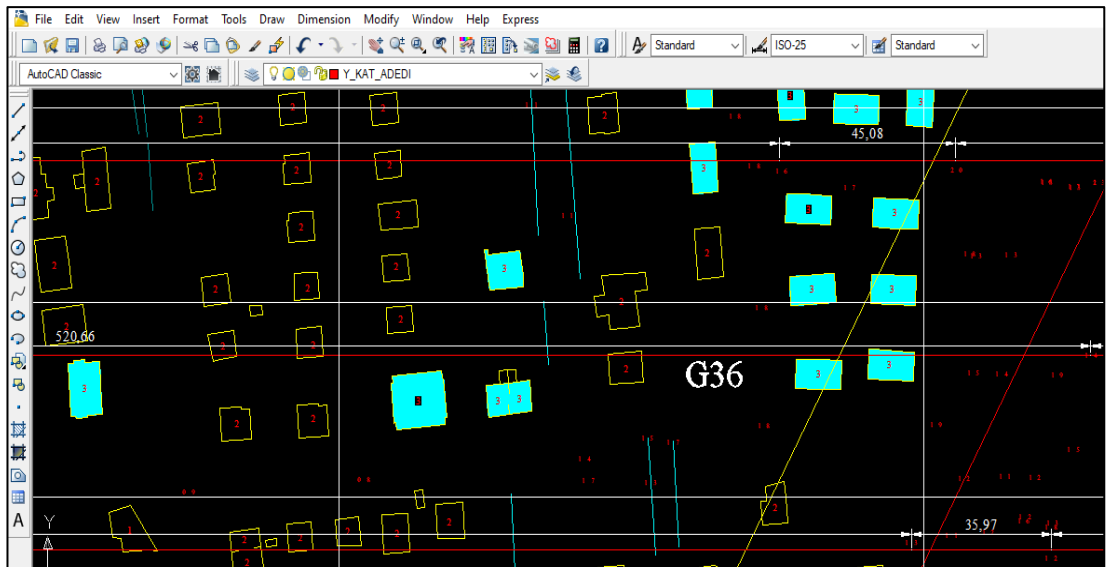
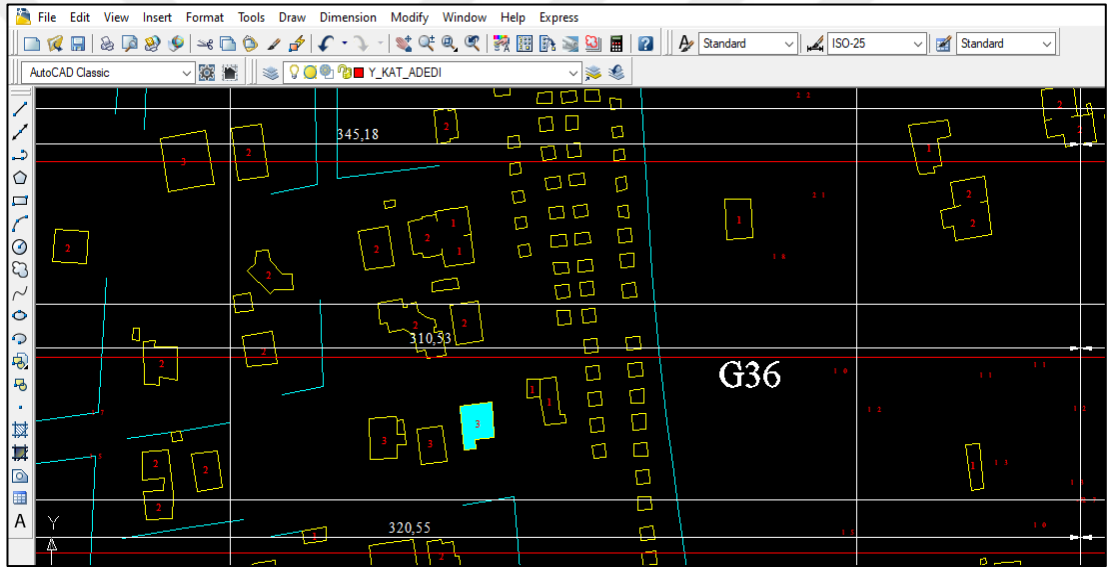
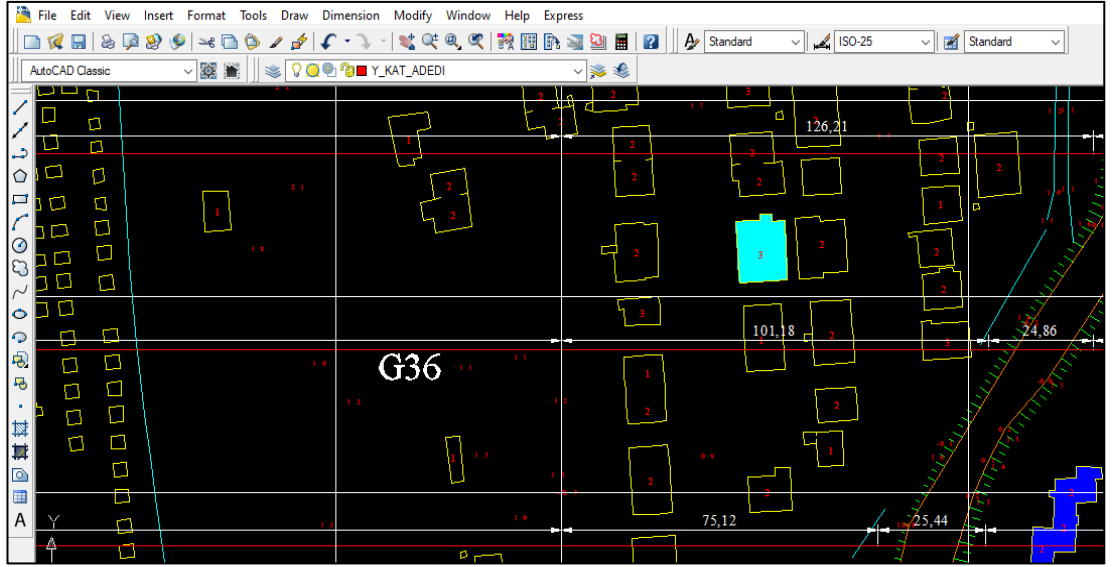
Konumu Şekil 5.4'te görülen G36 kesiti, çıkarılan kesitlere örnek olarak verilmiş ve G36 kesitinin haritadan ayrıntılı bir şekilde belirlenmesi Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



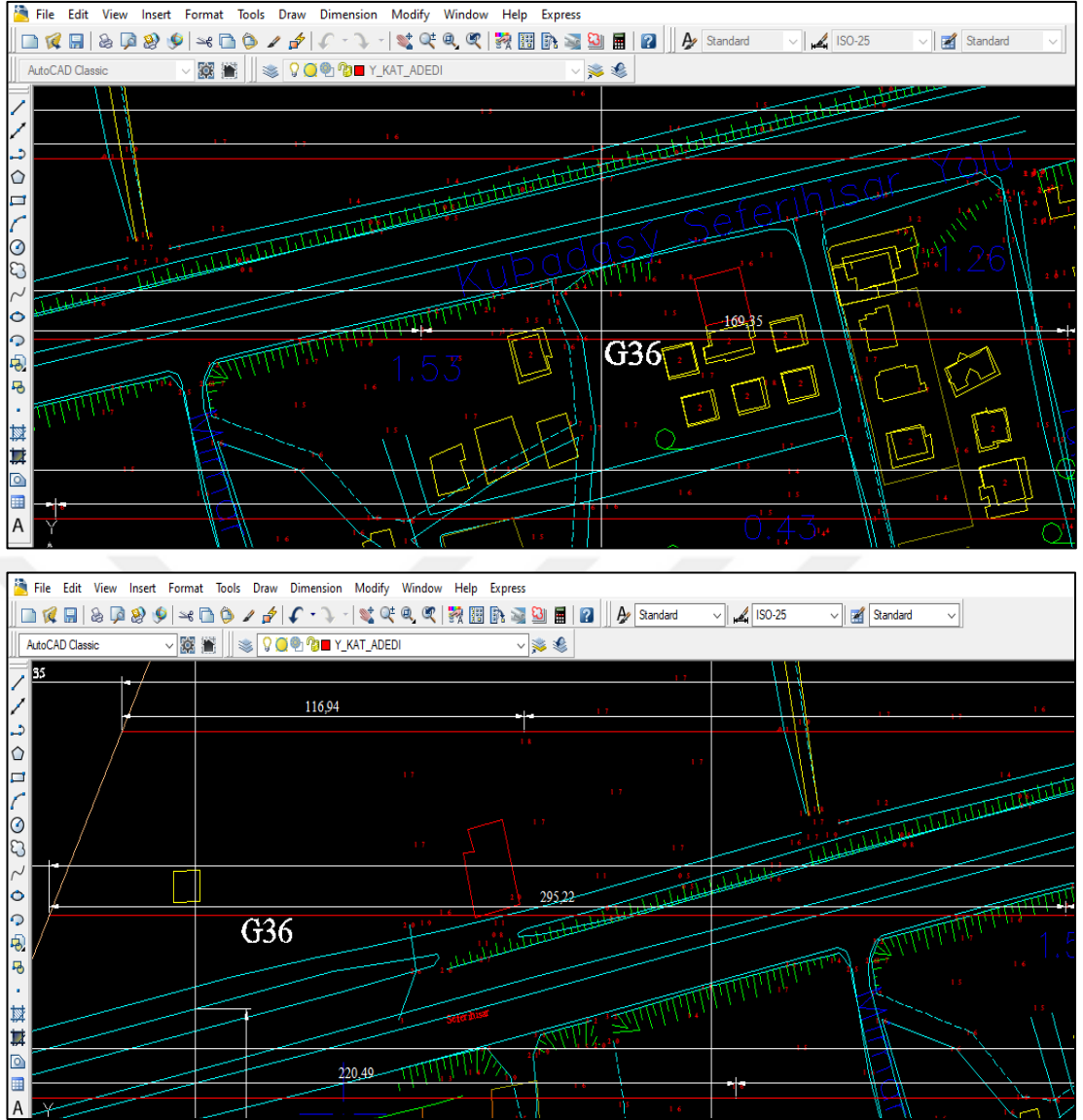
Şekil 5.5 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın modelinin oluşturulmasında kullanılan kesitlerden G36 kesitinin haritadan ayrıntılı bir şekilde belirlenmesi (TÜBİTAK 110M240, 2012)



Şekil 5.5 Devamı



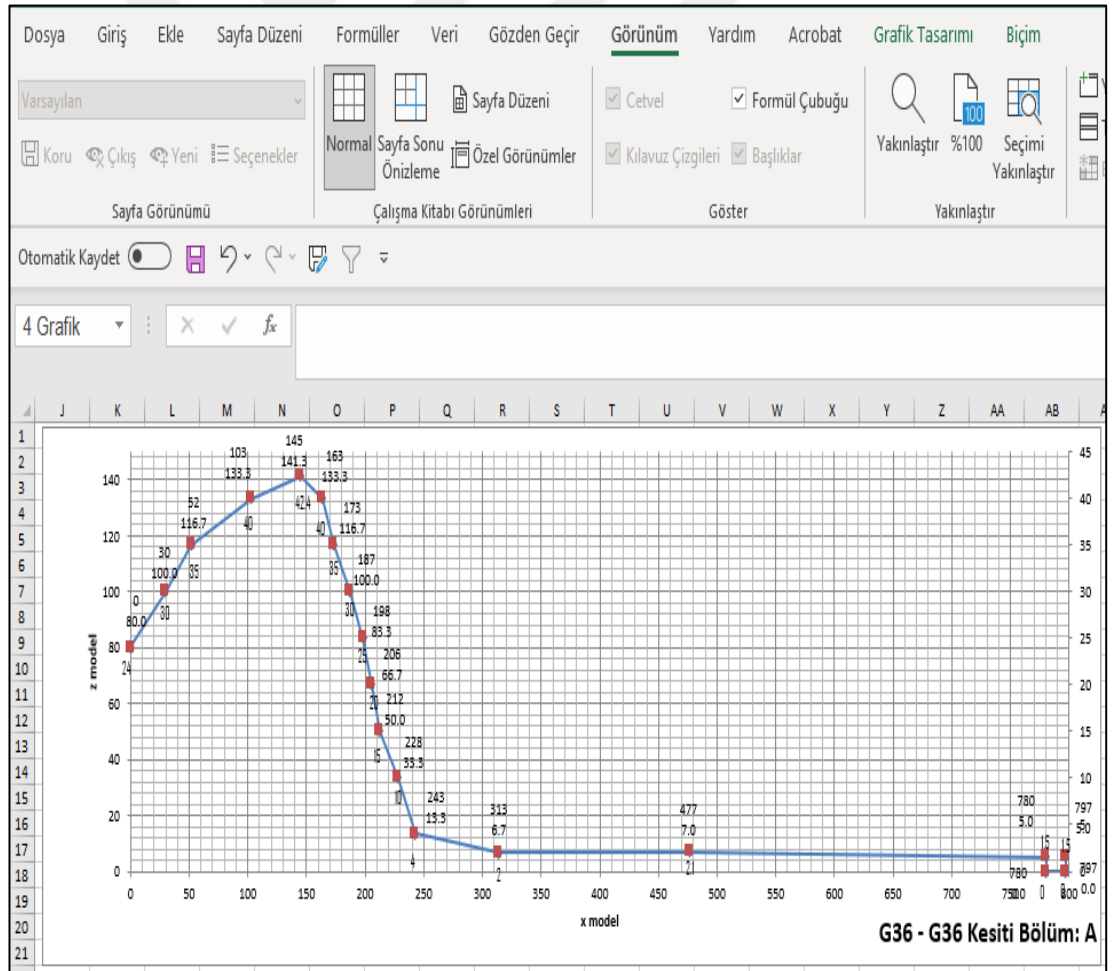
Şekil 5.5 Devamı



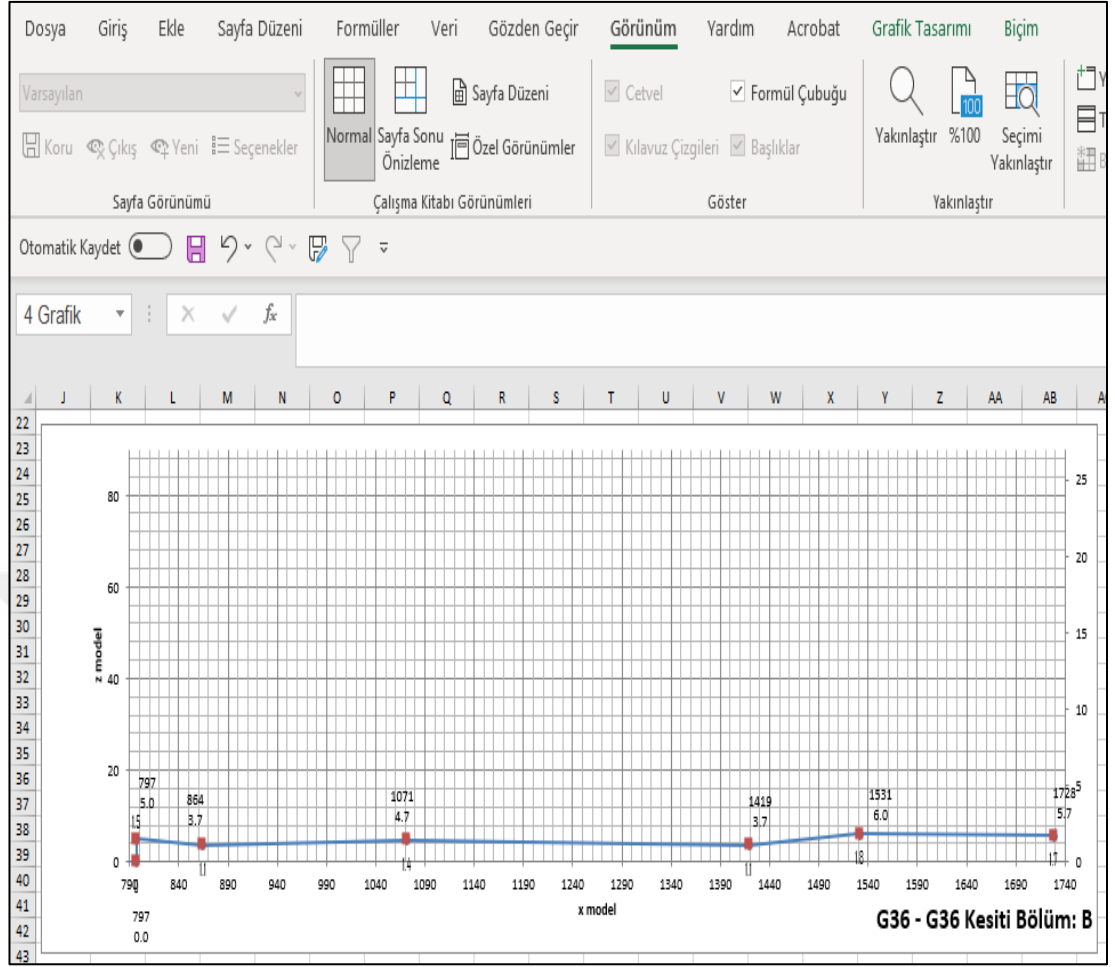
Şekil 5.5 Devamı

Haritadan çıkarılan G36 kesitini oluşturan noktalara ait X ve Z koordinatlarının prototip değerleri, Excel tablosu kullanılarak model değerlerine dönüştürülmüş ve modeldeki G36 kesiti elde edilmiştir. G36 kesitinin elde edildiği Excel tablosu Şekil 5.6'da verilmektedir.

Görünüm							
Varsayılan							
Koru Çıkış Yeni Seçenekler							
Sayfa Görünümü							
Otomatik Kaydet							
G26							
	C	D	E	F	G	H	I
1	xprototip (m)	Δx prototip (m)	xmodel (cm)	Δx model (cm)	zprototip (m)	zmodel (cm)	Δz model (cm)
2	0		0		24	80.0	
3	44.66	44.66	30	30	30	100.0	20.0
4	77.34	32.68	52	22	35	116.7	16.7
5	154.09	76.75	103	51	40	133.3	16.7
6	217.31	63.22	145	42	42.4	141.3	8.0
7	245.14	27.83	163	19	40	133.3	-8.0
8	260.11	14.97	173	10	35	116.7	-16.7
9	280.54	20.43	187	14	30	100.0	-16.7
10	297.01	16.47	198	11	25	83.3	-16.7
11	308.48	11.47	206	8	20	66.7	-16.7
12	318.62	10.14	212	7	15	50.0	-16.7
13	341.77	23.15	228	15	10	33.3	-16.7
14	364.15	22.38	243	15	4	13.3	-20.0
15	469.64	105.49	313	70	2	6.7	-6.7
16	715.58	245.94	477	164	2.1	7.0	0.3
17	1170.54	454.96	780	303	1.5	5.0	-2.0
18	1170.54	0	780	0	0	0.0	-5.0
19	1195.4	24.86	797	17	0	0.0	0.0
20	1195.4	0	797	0	1.5	5.0	5.0
21	1296.58	101.18	864	67	1.1	3.7	-1.3
22	1607.11	310.53	1071	207	1.4	4.7	1.0
23	2127.77	520.66	1419	347	1.1	3.7	-1.0
24	2297.12	169.35	1531	113	1.8	6.0	2.3
25	2592.34	295.22	1728	197	1.7	5.7	-0.3



Şekil 5.6 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın modelinin oluşturulmasında kullanılan G36 kesitinin elde edildiği Excel tablosu (TÜBİTAK 110M240, 2012)



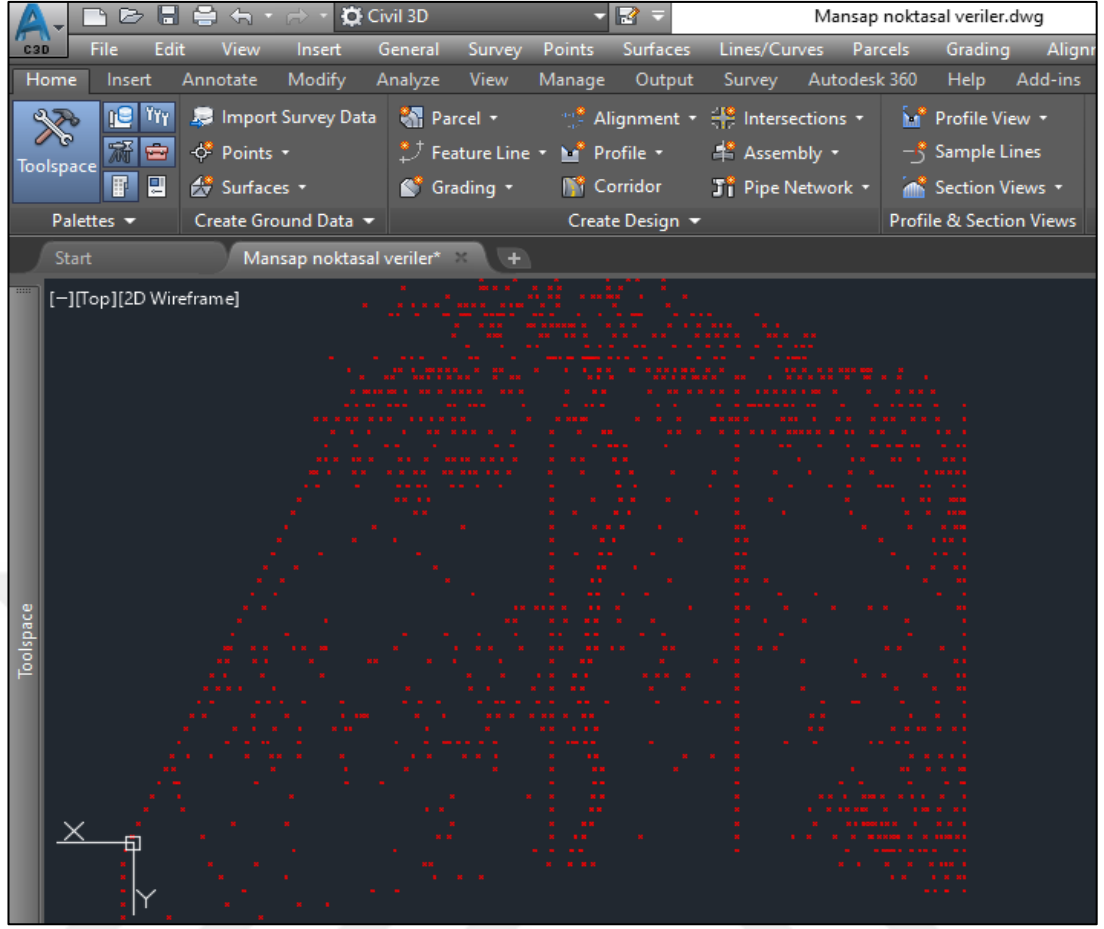
Şekil 5.6 Devamı

G36 kesitini oluşturan noktaların Şekil 5.6’da verilen X ve Z koordinatları ile Şekil 5.4’teki haritadan elde edilen Y koordinatı Excel tablosunda noktasal veri haline getirilmiştir (Şekil 5.7). Şekil 5.7’de B, C ve D sütunlarında bulunan değerler cm biriminde sırasıyla X, Y ve Z koordinatlarına karşılık gelmektedir.

Dosya Giriş Ekle Sayfa Düzeni					
Varsayılan					
Koru Çıkış Yeni Seçenekler					
Sayfa Görünümü					
Otomatik Kaydet					
K287					
	A	B	C	D	E
1084	G36	0	1244.3	80.0	
1085		30	1244.3	100.0	
1086		52	1244.3	116.7	
1087		103	1244.3	133.3	
1088		145	1244.3	141.3	
1089		163	1244.3	133.3	
1090		173	1244.3	116.7	
1091		187	1244.3	100.0	
1092		198	1244.3	83.3	
1093		206	1244.3	66.7	
1094		212	1244.3	50.0	
1095		228	1244.3	33.3	
1096		243	1244.3	13.3	
1097		313	1244.3	6.7	
1098		477	1244.3	7.0	
1099		780	1244.3	5.0	
1100		780	1244.3	0.0	
1101		797	1244.3	0.0	
1102		797	1244.3	5.0	
1103		864	1244.3	3.7	
1104		1071	1244.3	4.7	
1105		1419	1244.3	3.7	
1106		1531	1244.3	6.0	
1107		1728	1244.3	5.7	

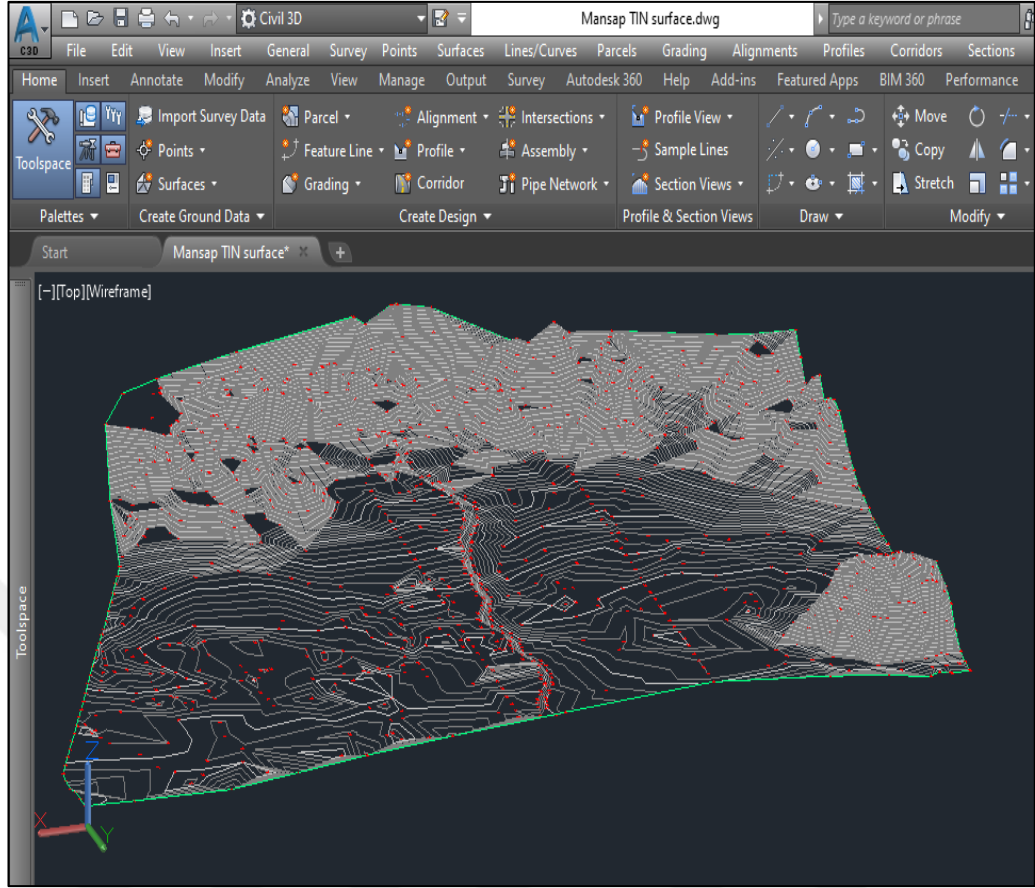
Şekil 5.7 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın modelinin oluşturulmasında kullanılan G36 kesiti üzerinde bulunan noktaların koordinatlarını gösteren Excel tablosu (TÜBİTAK 110M240, 2012)

Topografyanın modelinin oluşturulması için haritadan çıkarılan diğer tüm kesitler için de aynı işlemler gerçekleştirilmiş ve kesitleri oluşturan noktaların koordinatları belirlenmiştir. Elde edilen bu noktasal veriler, AutoCAD Civil 3D programına girilmiştir (Şekil 5.8).



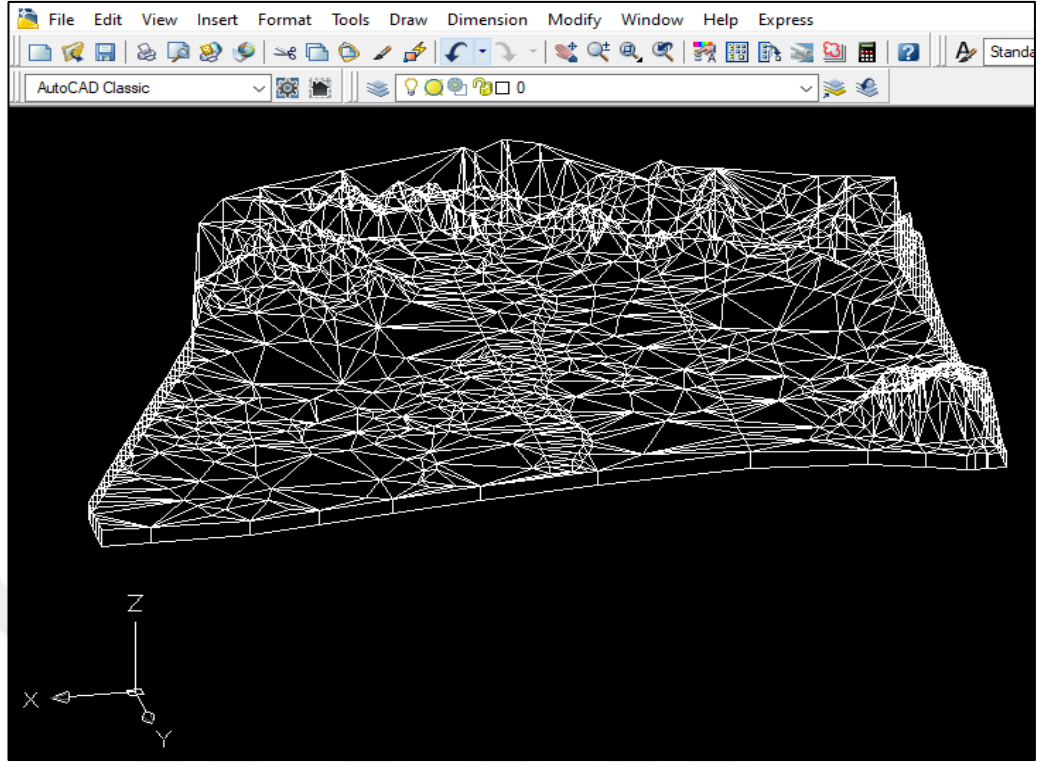
Şekil 5.8 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın modelinin oluşturulması için AutoCAD Civil 3D programına girilen noktasal veriler

AutoCAD Civil 3D programına girilen noktasal veriler, coğrafi bilgi sisteminde (CBS) kullanılan bir sayısal veri modeli olan TIN Surface (triangular irregular network surface-üçgenlenmiş düzensiz ağ yüzeyi) modeli ile 3 boyutlu arazi yüzeyine dönüştürülmüştür. Barajın mansap bölgesine ait topografyanın TIN Surface formatındaki 3 boyutlu modeli Şekil 5.9’da verilmektedir.

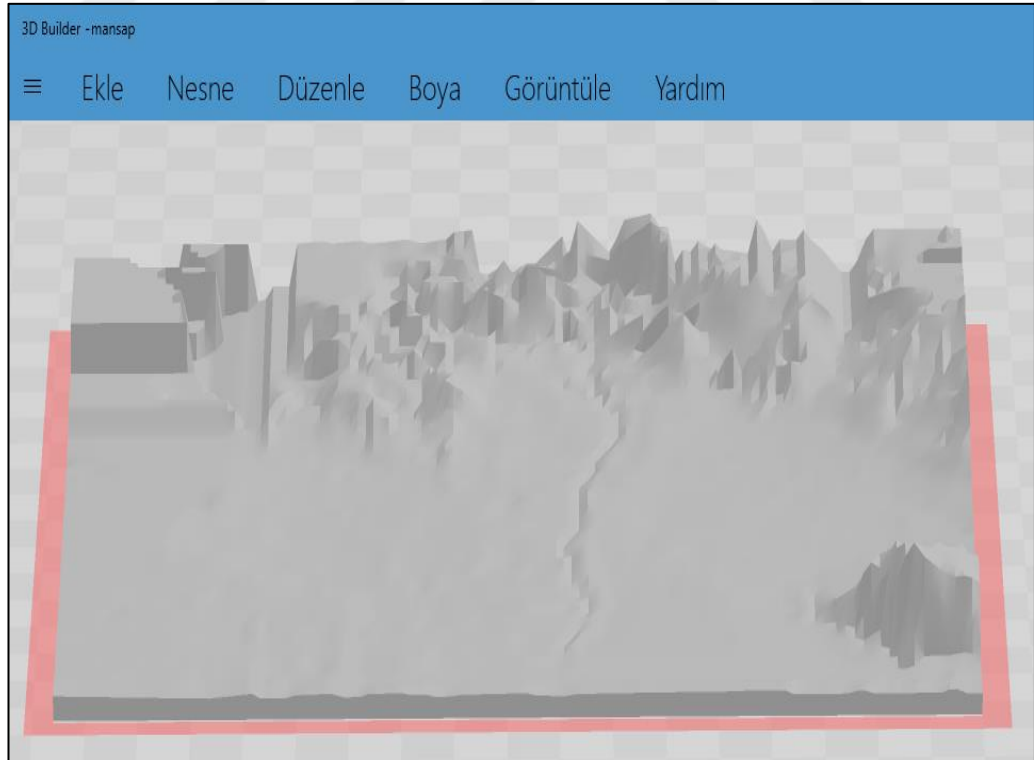


Şekil 5.9 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın TIN Surface formatındaki 3 boyutlu modeli

Barajın mansap bölgesine ait topografyanın TIN Surface formatındaki modeli, AutoCAD programında Solid (katı) formatına dönüştürülmüştür. Barajın mansap bölgesine ait topografyanın Solid formatındaki 3 boyutlu modeli Şekil 5.10'da verilmiştir. Modelin FLOW-3D programına aktarılabilmesi için Stl formatında olması gerekmektedir. Bu nedenle 3 boyutlu Solid formatındaki model, FLOW-3D programına girilebilecek Stl formatına çevrilmiştir. Barajın mansap bölgesine ait topografyanın Stl formatındaki 3 boyutlu modelinin 3D Builder programındaki görüntüsü Şekil 5.11'de verilmektedir.

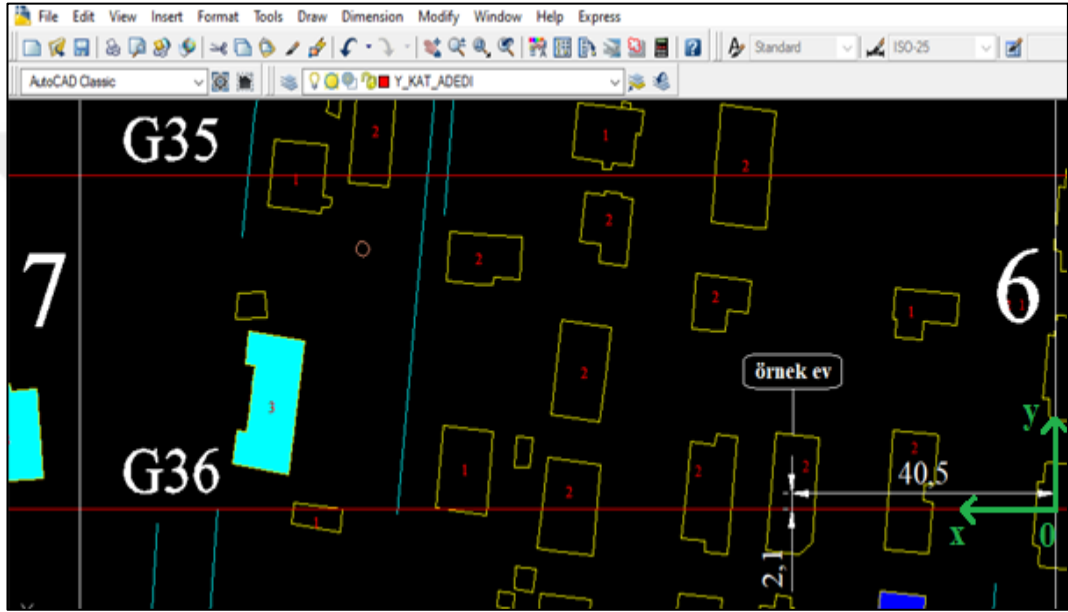


Şekil 5.10 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın Solid formatındaki 3 boyutlu modeli



Şekil 5.11 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın Stl formatındaki 3 boyutlu modeli

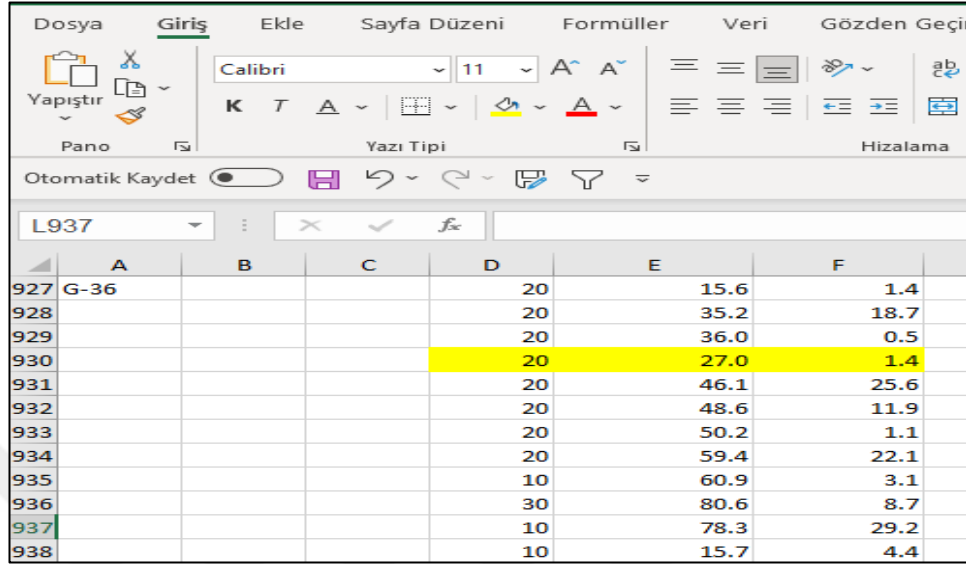
Mansap bölgesindeki yerleşim alanlarında bulunan evlerin modeli; evlerin boyutları, haritadaki konumlarına ait X ve Y koordinatları ile yükseklikleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Evlerin haritadaki konumlarının belirlenmesi için mansap bölgesi, orijinden itibaren X doğrultusunda 150 m aralıklarla çizilen 1, 2, 3, ... şeklinde numaralandırılmış ardışık çizgilerle ve Y doğrultusunda çizilen ardışık kesitlerle sınırlandırılmış gridlere ayrılmıştır. 6-7 çizgileri ve 45 m aralıkla çizilmiş G35-G36 kesitleri ile sınırlandırılmış grid örnek olarak Şekil 5.12’de gösterilmektedir.



Şekil 5.12 Evlerin konumlarının belirlenmesi için oluşturulan 6-7 çizgileri ve G35-G36 kesitleri ile sınırlandırılmış grid (TÜBİTAK 110M240, 2012)

Şekil 5.12’de verilen gridte; G36 kesiti x eksenini, 6 çizgisi y eksenini göstermek üzere, örnek olarak verilen evin merkezinin x ve y koordinatları sırasıyla 40,5 m ve 2,1 m olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu koordinat değerleri model değerlerine dönüştürülerek Şekil 5.13’te gösterilen Excel tablosu haline getirilmiştir. Örnek olarak verilen 2 kat yüksekliğindeki evin modeldeki x ve y koordinatları, Şekil 5.13’te sarı renkle gösterilen satırda yer almaktadır. Şekil 5.12’de verilen grid içerisinde koordinatları belirlenecek olan diğer tüm evler için de aynı şekilde model koordinatları belirlenmiş ve yükseklik değerleriyle birlikte Şekil 5.13’teki Excel tablosuna girilmiştir. Şekil 5.13’te D sütunundaki değerler cm biriminde evlerin modeldeki

yükseklik değerlerine, E ve F sütunlarındaki değerler sırasıyla evlerin modeldeki x ve y koordinatlarına karşılık gelmektedir.



	A	B	C	D	E	F
927	G-36			20	15.6	1.4
928				20	35.2	18.7
929				20	36.0	0.5
930				20	27.0	1.4
931				20	46.1	25.6
932				20	48.6	11.9
933				20	50.2	1.1
934				20	59.4	22.1
935				10	60.9	3.1
936				30	80.6	8.7
937				10	78.3	29.2
938				10	15.7	4.4

Şekil 5.13 Evlerin konumlarının belirlenmesi için oluşturulan 6-7 çizgileri ve G35-G36 kesitleri ile sınırlandırılmış gride yer alan evlerin modeldeki yükseklik değerleri ile x ve y koordinatları (cm) (TÜBİTAK 110M240, 2012)

Şekil 5.12’de örnek olarak verilen gridin ve sayısal modelin eksen takımları birbirinden farklıdır. Bu nedenle, evlerin koordinatları sayısal modelin X-Y eksen takımına göre yeniden belirlenmiştir. 6 çizgisinin sayısal modelin Y eksenine olan mesafesi 500 cm ve G36 kesitinin sayısal modelin X eksenine olan mesafesi 1244,3 cm olduğu için; Şekil 5.13’te E sütununda verilen koordinatlara 500 cm eklenerek X koordinatları, F sütununda verilen koordinatlar 1244,3 cm’den çıkarılarak Y koordinatları belirlenmiştir (Şekil 5.14).

Dosya	Giriş	Ekle	Sayfa Düzeni	Formüller	Veri	Gözden Geçir
Yapıştır	Calibri 11	K T A	Yazı Tipi	Formüller	Veri	Gözden Geçir
Pano	Otomatik Kaydet	Yazı Tipi	Hizalama	Formüller	Veri	Gözden Geçir
H936						
	A	B	C	D	E	F
927	G-36			20	515.6	1242.9
928				20	535.2	1225.6
929				20	536.0	1243.8
930				20	527.0	1242.9
931				20	546.1	1218.7
932				20	548.6	1232.4
933				20	550.2	1243.2
934				20	559.4	1222.2
935				10	560.9	1241.2
936				30	580.6	1235.6
937				10	578.3	1215.1
938				10	515.7	1239.9

Şekil 5.14 Evlerin konumlarının belirlenmesi için oluşturulan 6-7 çizgileri ve G35-G36 kesitleri ile sınırlandırılmış gride yer alan evlerin modeldeki yükseklik değerleri ile X ve Y koordinatları (cm)

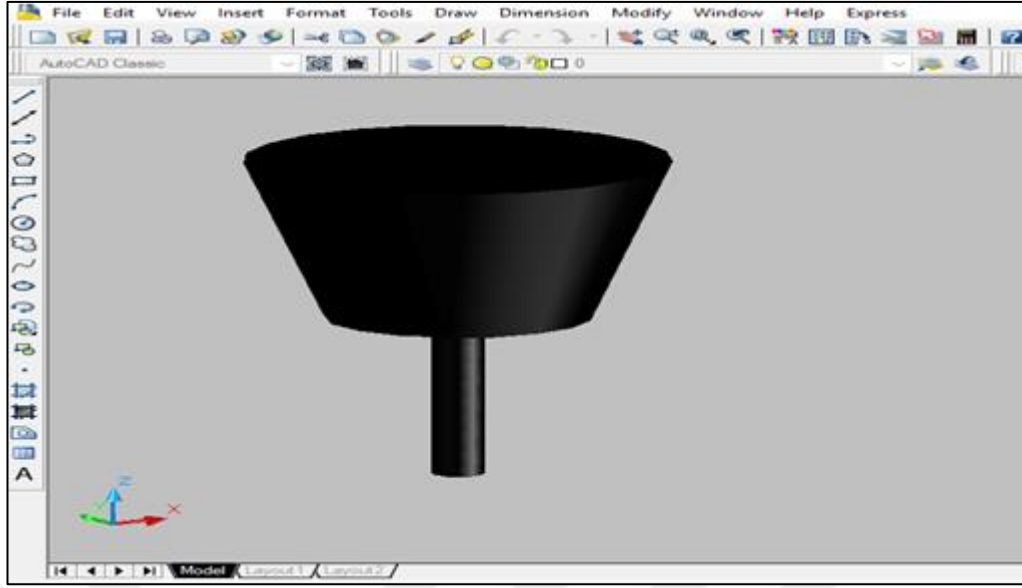
Evlerin haritadaki konumlarının belirlenmesi için oluşturulan diğer tüm gridlerde yer alan evler için de aynı işlemler gerçekleştirilmiştir. Modeldeki yükseklik, en ve boy değerleri dikkate alınarak AutoCAD Civil 3D programında üç boyutlu olarak çizilen tüm evler, merkezi koordinatlarına göre modeldeki konumlarına yerleştirilmiştir. FLOW-3D programına aktarılabilmesi için Stl formatına çevrilen mansap bölgesindeki yerleşim alanlarında bulunan evlerin Stl formatındaki 3 boyutlu modelinin 3D Builder programındaki görüntüsü Şekil 5.15'te verilmiştir.



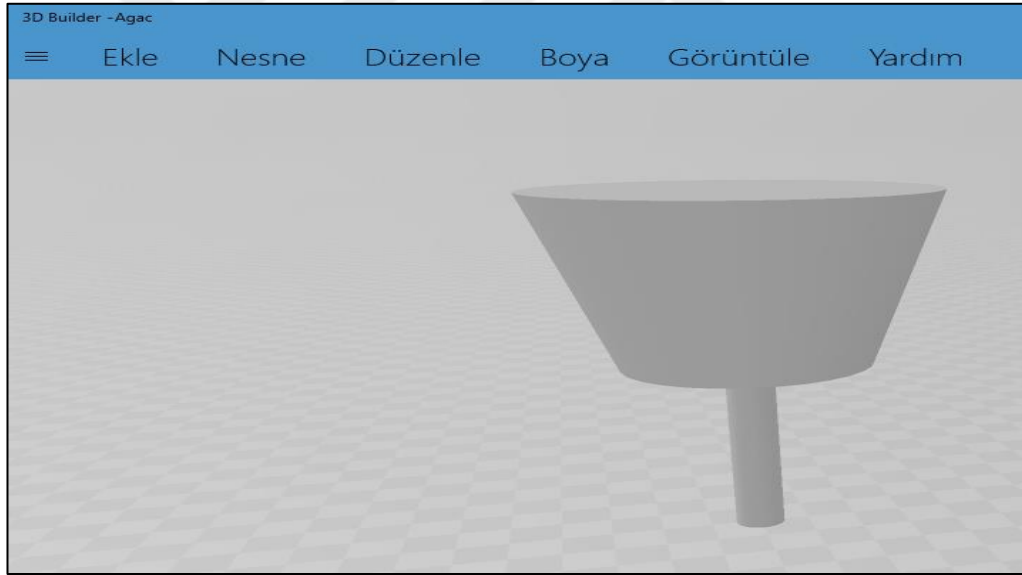
Şekil 5.15 Barajın mansap bölgesindeki yerleşim alanında bulunan evlerin Stl formatındaki 3 boyutlu modeli

5.2.2 Mansap Bölgesindeki Kısmi Bitki Örtüsü Yapısının Modelinin Oluşturulması

Barajın mansap bölgesindeki kısmi bitki örtüsü yapısının sayısal modeli oluşturulurken, ilk olarak AutoCAD programında Şekil 3.3’te verilen fiziksel modeldeki ağaç modelinin boyutları dikkate alınarak 3 boyutlu ağaç modeli elde edilmiştir (Şekil 5.16). Solid formatında oluşturulan ağaç modeli, FLOW-3D programına aktarılabilecek Stl formatına çevrilmiştir. Stl formatındaki 3 boyutlu ağaç modelinin 3D Builder programındaki görüntüsü Şekil 5.17’de gösterilmektedir.



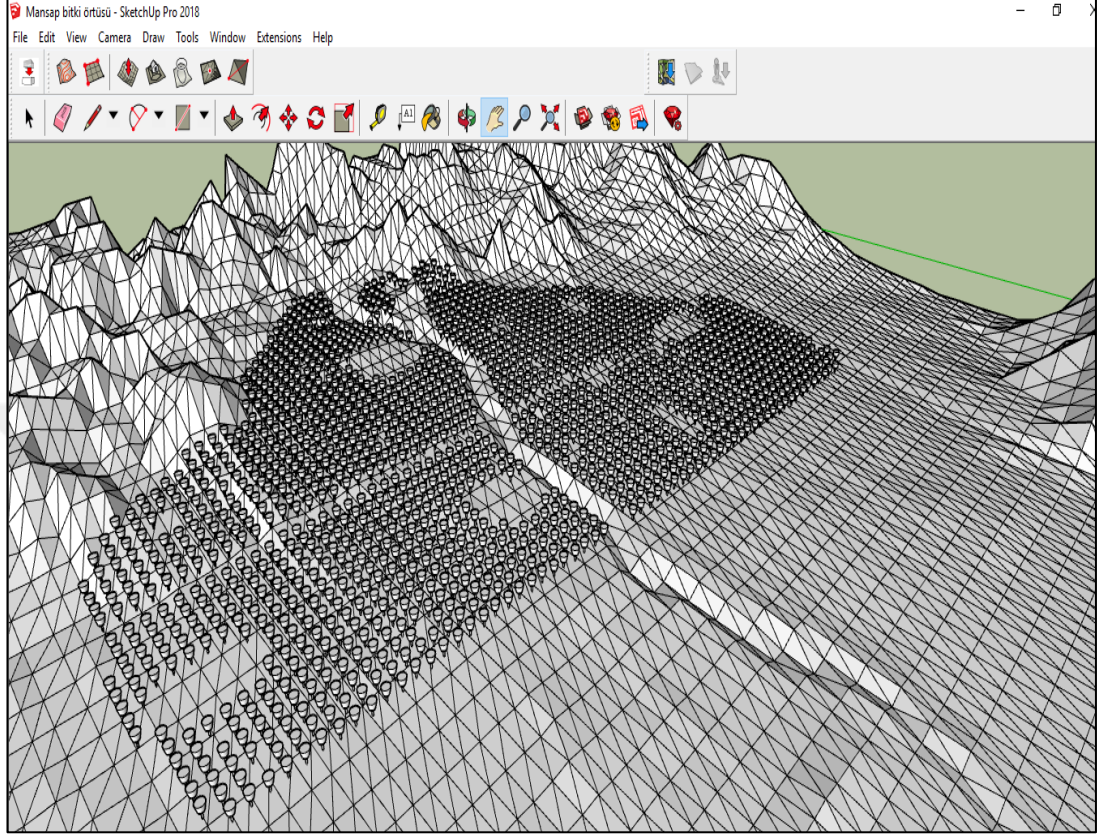
Şekil 5.16 Bitki örtüsü yapısının modelinin oluşturulması için kullanılan Solid formatında 3 boyutlu ağaç modeli



Şekil 5.17 Bitki örtüsü yapısının modelinin oluşturulması için kullanılan Stl formatında 3 boyutlu ağaç modeli

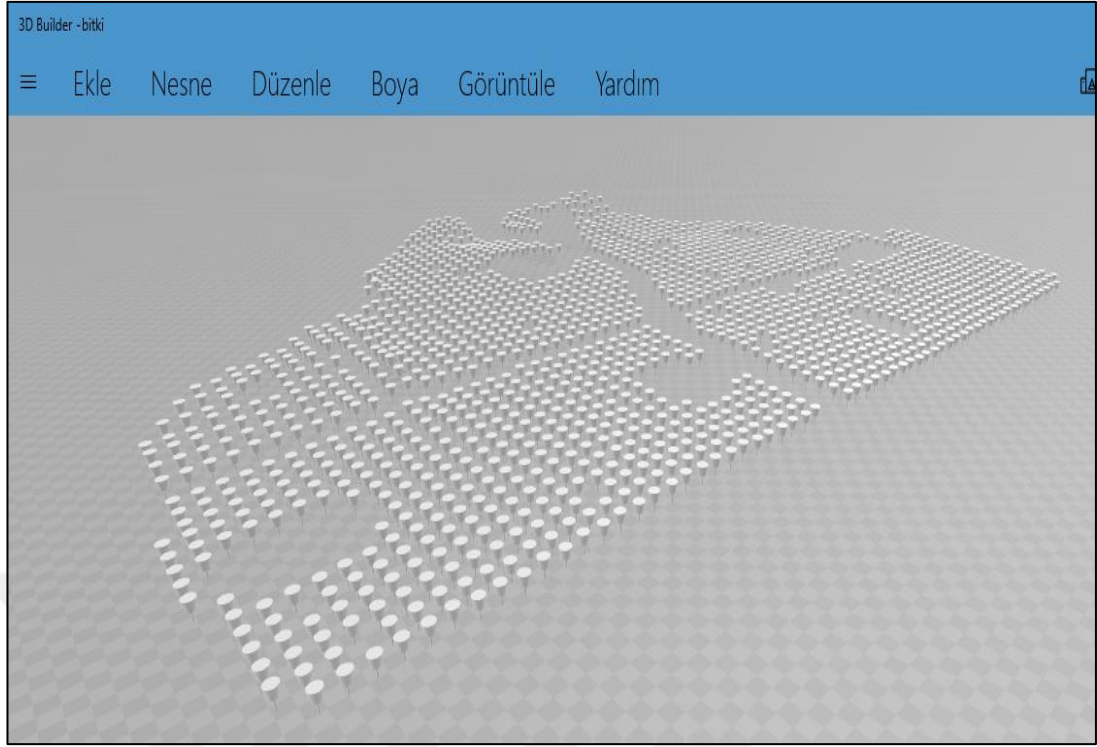
Şekil 5.11’de verilen barajın mansap bölgesine ait topografyanın Stl formatındaki modeli ile Şekil 5.17’de verilen ağacın Stl formatındaki modeli SketchUp programına aktarılmıştır. Ağaç modeli, barajın mansap bölgesine ait topografyanın modelinin üzerine, fiziksel modeldeki bitki örtüsü yapısının sınırları içerisindeki bitki örtüsü

konfigürasyonu dikkate alınarak tek tek yerleştirilmiş ve bitki örtüsü yapısının 3 boyutlu modeli elde edilmiştir (Şekil 5.18).



Şekil 5.18 Barajın mansap bölgesine ait topografyanın modelinin üzerine yerleştirilmiş bitki örtüsü yapısının 3 boyutlu modeli

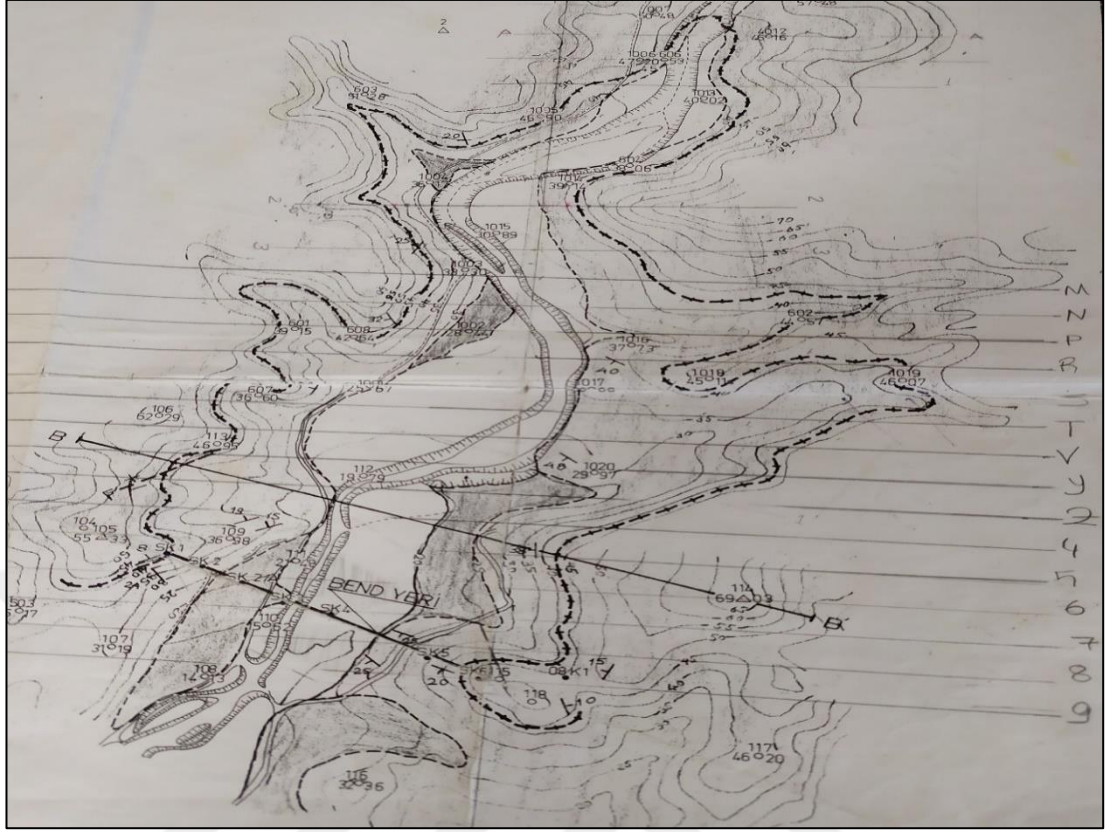
SketchUp programında oluşturulan bitki örtüsü yapısının modeli, FLOW-3D programına aktarılabilmesi için Stl formatına çevrilmiştir. Bitki örtüsü yapısının Stl formatındaki 3 boyutlu modelinin 3D Builder programındaki görüntüsü Şekil 5.19’da verilmektedir.



Şekil 5.19 Barajın mansap bölgesindeki bitki örtüsü yapısının Stl formatındaki 3 boyutlu modeli

5.2.3 Barajın Menba Bölgesine Ait Göl Topografyasının Modelinin Oluşturulması

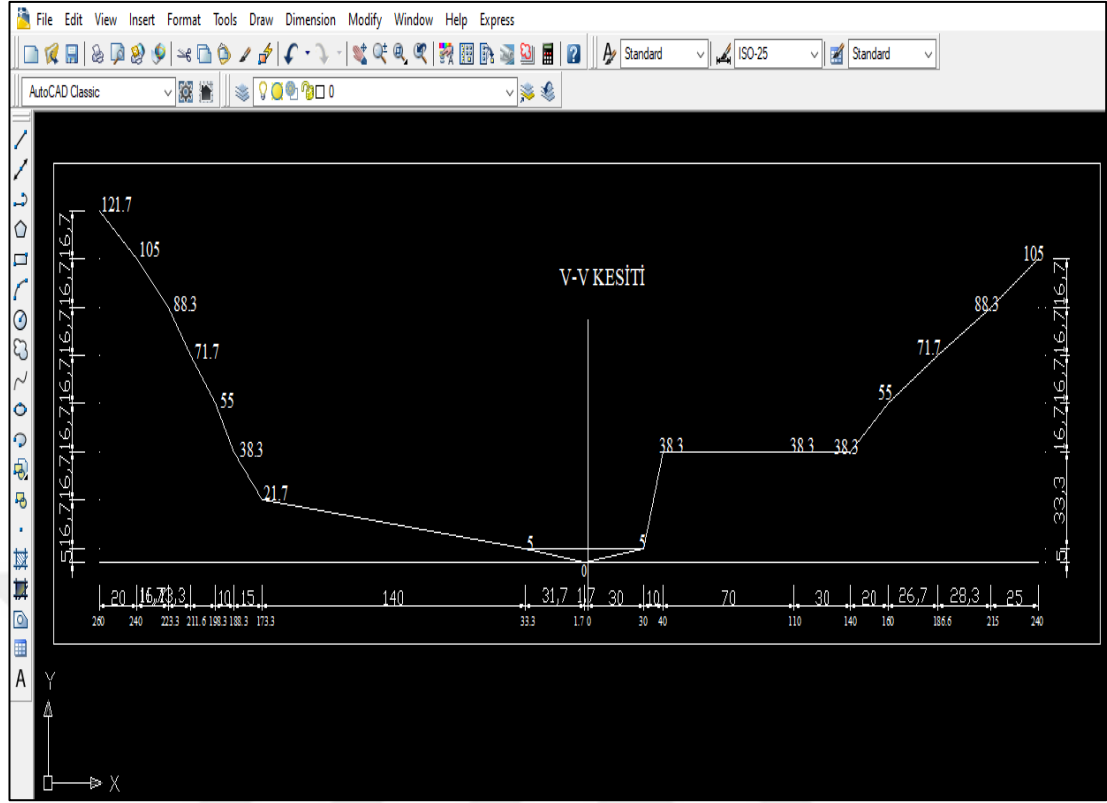
Barajın menba bölgesine ait göl topografyasının modeli oluşturulurken, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen baraj gölünü içeren bölgenin 1/5000 ölçekli haritası kullanılmıştır (Şekil 5.20). Şekil 5.20'de gösterilen 9-9 kesiti başlangıç kesiti olarak alınmış ve diğer kesitler bu kesite paralel olarak çizilmiştir. Kesitlerin başlangıç kesitine olan modeldeki mesafeleri Tablo 5.1'de verilmektedir. Haritadan elde edilen kesitler AutoCAD programı kullanılarak çizilmiştir. Göl topografyasının modelinin oluşturulması için AutoCAD programı kullanılarak çizilen kesitlerden V-V kesiti Şekil 5.21 (a)'da örnek olarak verilmektedir. Bu şekildeki mesafeler cm birimindedir. Tüm kesitlerin başlangıç ve bitiş eksenlerinin aynı olmasını sağlamak amacıyla Şekil 5.21 (a)'da verilen V-V kesiti iki yönde uzatılmıştır (Şekil 5.21 (b)).



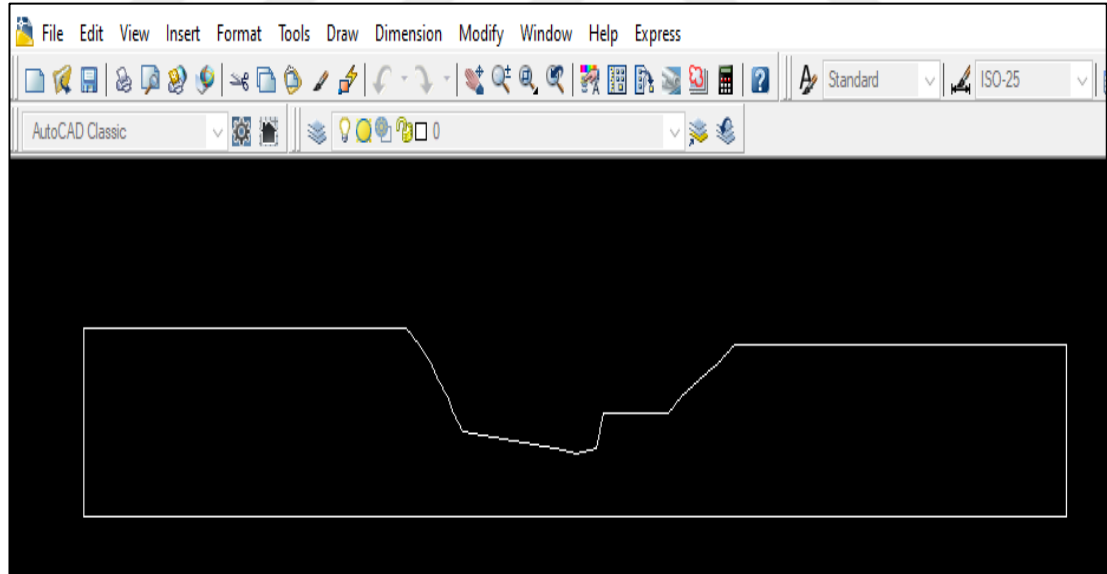
Şekil 5.20 Baraj gölünü içeren bölgenin 1/5000 ölçekli haritası (TÜBİTAK 110M240, 2012)

Tablo 5.1 Barajın menba bölgesine ait göl topografyasının modelinin oluşturulmasında kullanılan kesitlerin başlangıç kesitine olan modeldeki mesafeleri (TÜBİTAK 110M240, 2012)

Kesit	Mesafe (m)	Kesit	Mesafe (m)	Kesit	Mesafe (m)
9-9	0,00	T-T	3,40	K-K	6,72
8-8	0,30	S-S	3,77	G-G	7,10
7-7	0,70	R-R	4,15	F-F	7,47
6-6	1,08	P-P	4,53	E-E	7,83
5-5	1,47	N-N	4,90	1-1	8,23
4-4	1,83	M-M	5,28	B-B	8,63
Z-Z	2,23	3-3	5,67	A-A	9,07
Y-Y	2,62	L-L	6,05	C-C	9,47
V-V	3,00	2-2	6,30	D-D	9,88



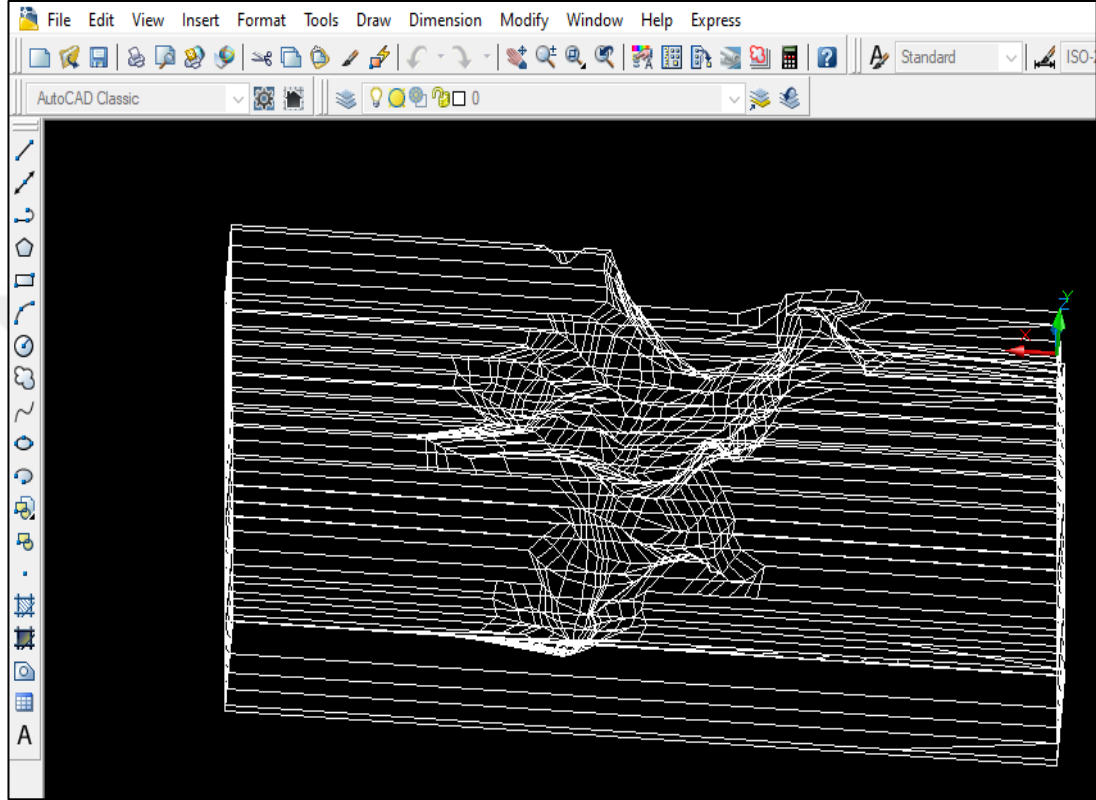
(a)



(b)

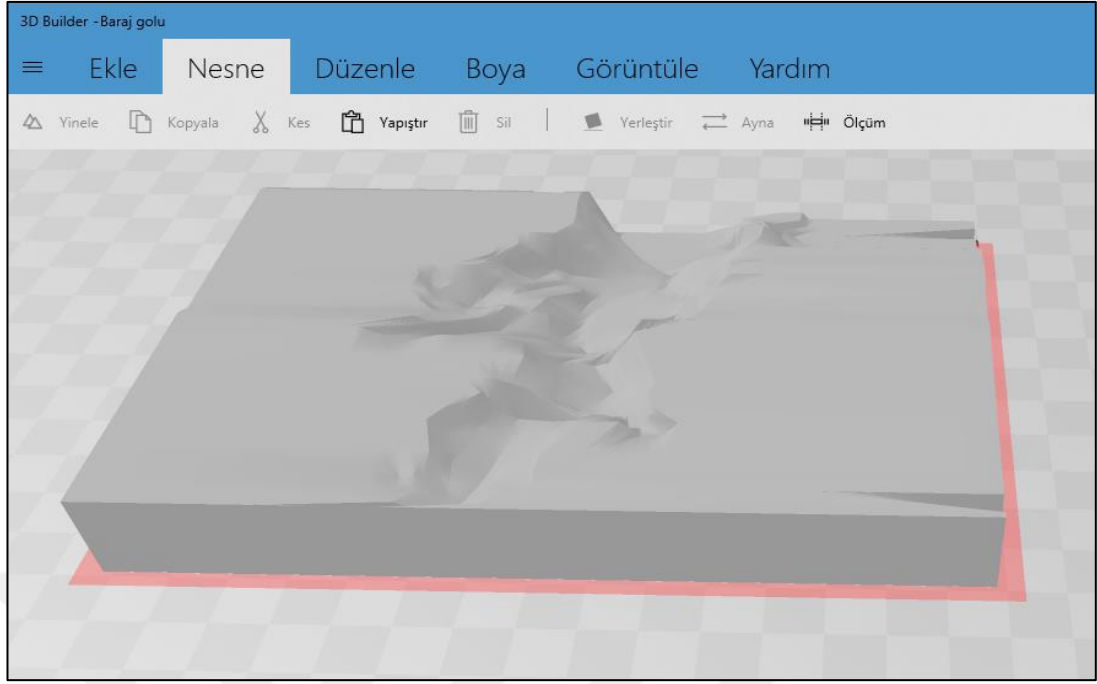
Şekil 5.21 (a) Göl topografyasının modelinin oluşturulması için AutoCAD programı kullanılarak çizilen kesitlerden V-V kesiti (TÜBİTAK 110M240, 2012), (b) iki yönde uzatılmış V-V kesiti

Şekil 5.21 (b)'de verilen V-V kesiti gibi diğer kesitler de AutoCAD programında çizildikten sonra, çizilen tüm kesitler Tablo 5.1'deki ara mesafeleri dikkate alınarak birleştirilmiş ve göl topografyasının Solid formatındaki 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur (Şekil 5.22).



Şekil 5.22 Barajın menba bölgesine ait göl topografyasının Solid formatındaki 3 boyutlu modeli

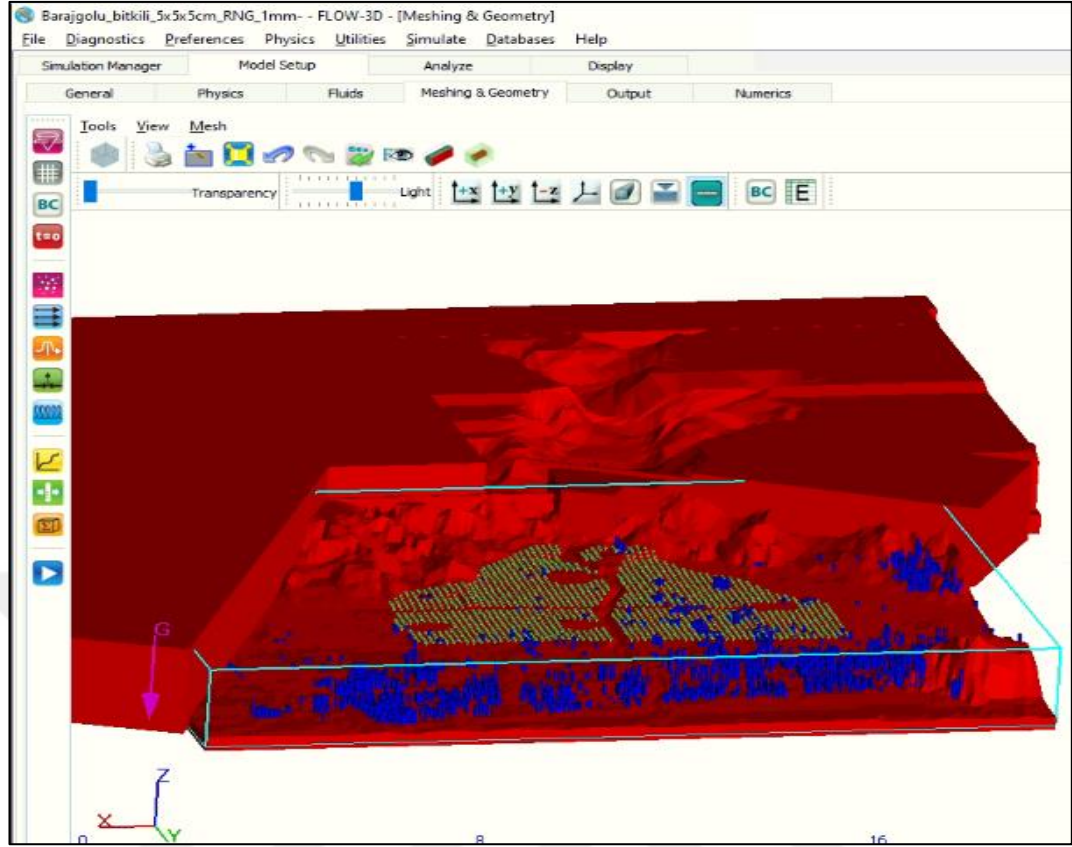
Daha sonra, göl topografyasının 3 boyutlu Solid formatındaki modeli FLOW-3D programına girilebilecek Stl formatına çevrilmiştir. Barajın menba bölgesine ait göl topografyasının Stl formatındaki 3 boyutlu modelinin 3D Builder programındaki görüntüsü Şekil 5.23'te verilmektedir.



Şekil 5.23 Barajın menba bölgesine ait göl topografyasının Stl formatındaki 3 boyutlu modeli

5.2.4 Barajın Mansap Topografyasına, Evlere, Bitki Örtüsüne ve Göl Topografyasına Ait Modellerin FLOW-3D Programına Aktarılması

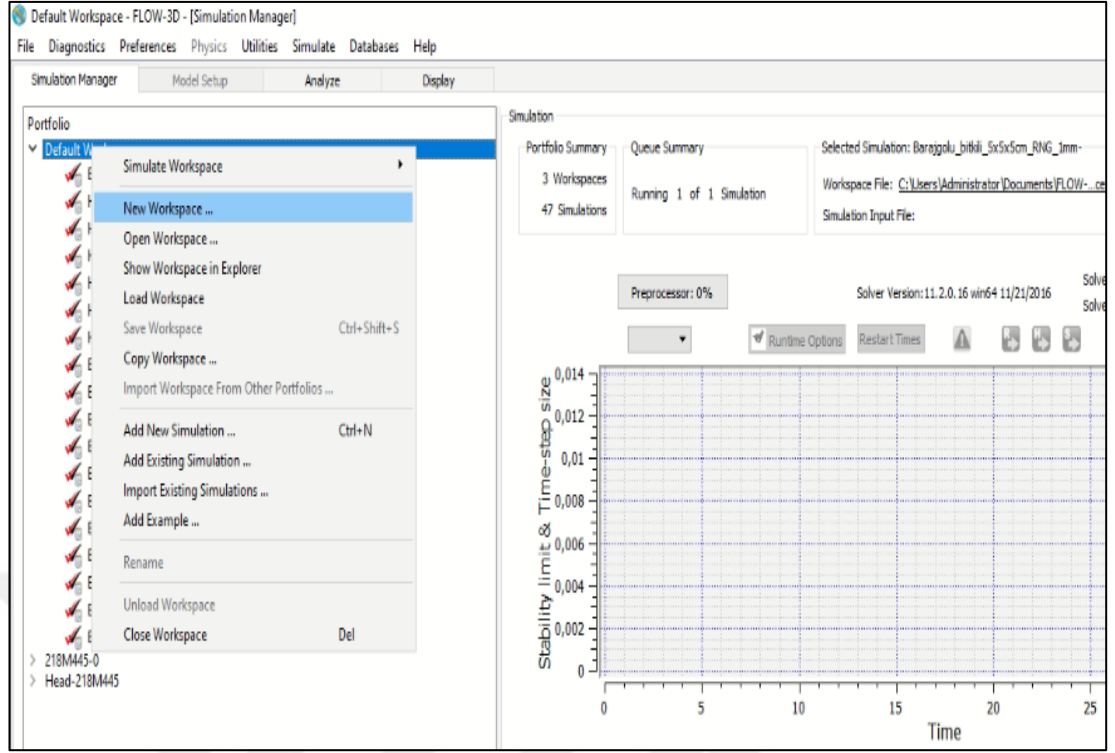
5.2.1, 5.2.2 ve 5.2.3 bölümlerinde anlatıldığı gibi ayrı ayrı oluşturulan mansap topografyasına, evlere, bitki örtüsüne ve göl topografyasına ait Stl formatındaki modeller, FLOW-3D programına aktarılarak birleştirilmiştir. Baraj gövdesi Solid (katı) özelliği atanan komponent kullanılarak, baraj kapağı ise Hole (boşluk) özelliği atanan komponent kullanılarak oluşturulmuştur. Fiziksel modelde baraj gölünün yanında bulunan platform ve mansap bölgesinin sağ tarafında bulunan duvar Solid (katı) özelliği atanan komponentler kullanılarak oluşturulmuştur. Sayısal modelin FLOW-3D programındaki görüntüsü Şekil 5.24'te gösterilmektedir.



Şekil 5.24 Sayısal modelin FLOW-3D programındaki görüntüsü

5.3 FLOW-3D Yazılımına Girilen Parametreler ve Analiz Sonuçlarının Elde Edilmesi

Yazılımın Simulation Manager menüsünde, yeni bir çalışma alanı açılarak yeni bir simülasyon eklenebildiği gibi, daha önceden oluşturulmuş ve çalıştırılmış bir simülasyon da eklenebilmektedir. Ayrıca bu menüde, önceden çalıştırılmış ve sonuçlandırılmış tüm simülasyonlar ile halen çalışmaya devam eden simülasyon ve bu simülasyonun ilerleme durumuna ait bilgiler de yer almaktadır (Şekil 5.25).



Şekil 5.25 FLOW-3D yazılımının Simulation Manager menüsü

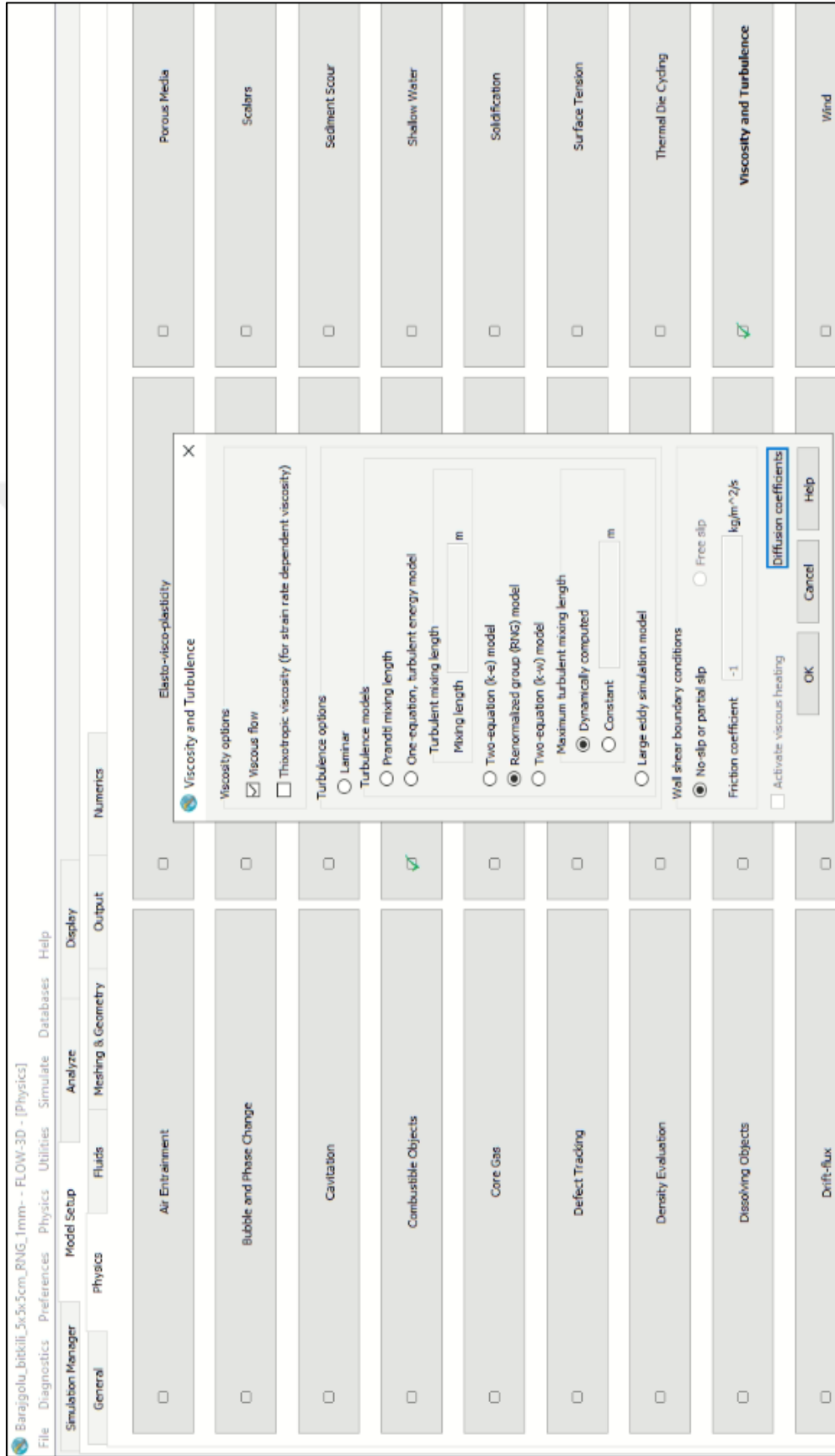
Model Setup menüsünün General alt menüsünde, simülasyonun bitiş süresi, akışkan sayısı, akışkanın sıkıştırılabilir olup olmadığı ve kullanılan birim sistemleriyle ilgili bilgiler girilmektedir. Simülasyonun bitiş süresi 100 s girilerek 1 s aralıklarla çıktıların elde edilmesi sağlanmıştır. Akışkanın sıkıştırılmaz olduğu ve akışkan sayısının 1 olduğu seçilmiştir. Birim sistemi olarak SI ve sıcaklık birimi olarak Kelvin seçilmiştir (Şekil 5.26). Model Setup-Physics menüsünün Gravity and Non-inertial Reference Frame alt menüsünde, yerçekimi ivmesi değeri $Z = -9,81 \text{ m/s}^2$ olarak girilmiştir (Şekil 5.27). Model Setup-Physics menüsünün Viscosity and Turbulence alt menüsünde, akışın viskoz olduğu ve türbülans modelinin türü seçilmiştir (Şekil 5.28).



Şekil 5.26 FLOW-3D yazılımının Model Setup-General menüsü

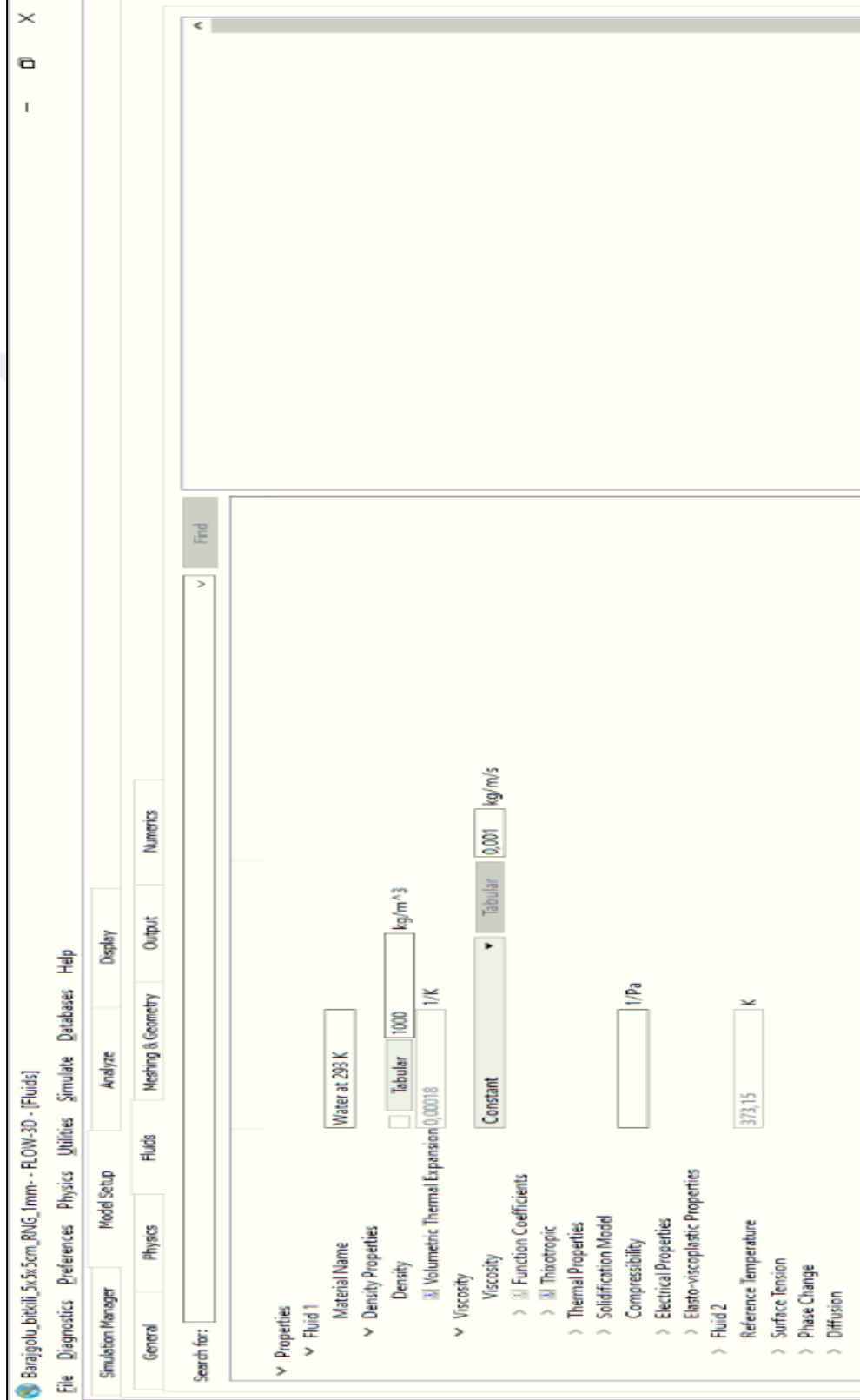


Şekil 5.27 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Physics-Gravity and Non-inertial Reference Frame menüsü



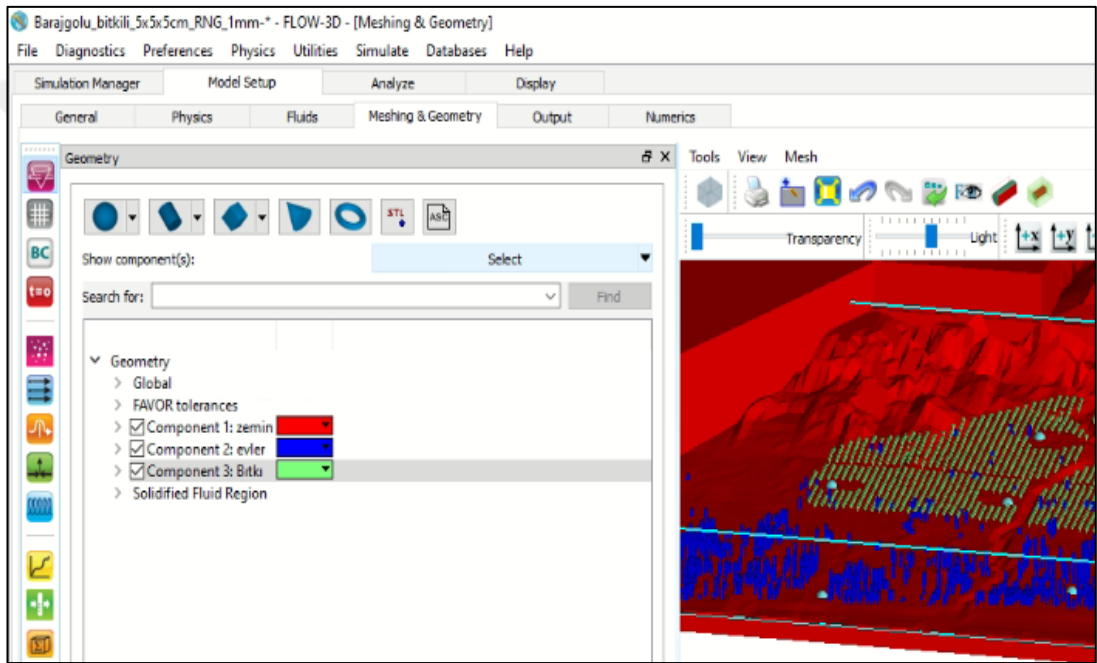
Şekil 5.28 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Physics-Viscosity and Turbulence menüsü

Model Setup-Fluids menüsünde 293 Kelvin'deki su için, yoğunluk değeri 1000 kg/m³ ve viskozite değeri 0,001 kg/m/s olarak girilmiştir (Şekil 5.29).



Şekil 5.29 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Fluids menüsü

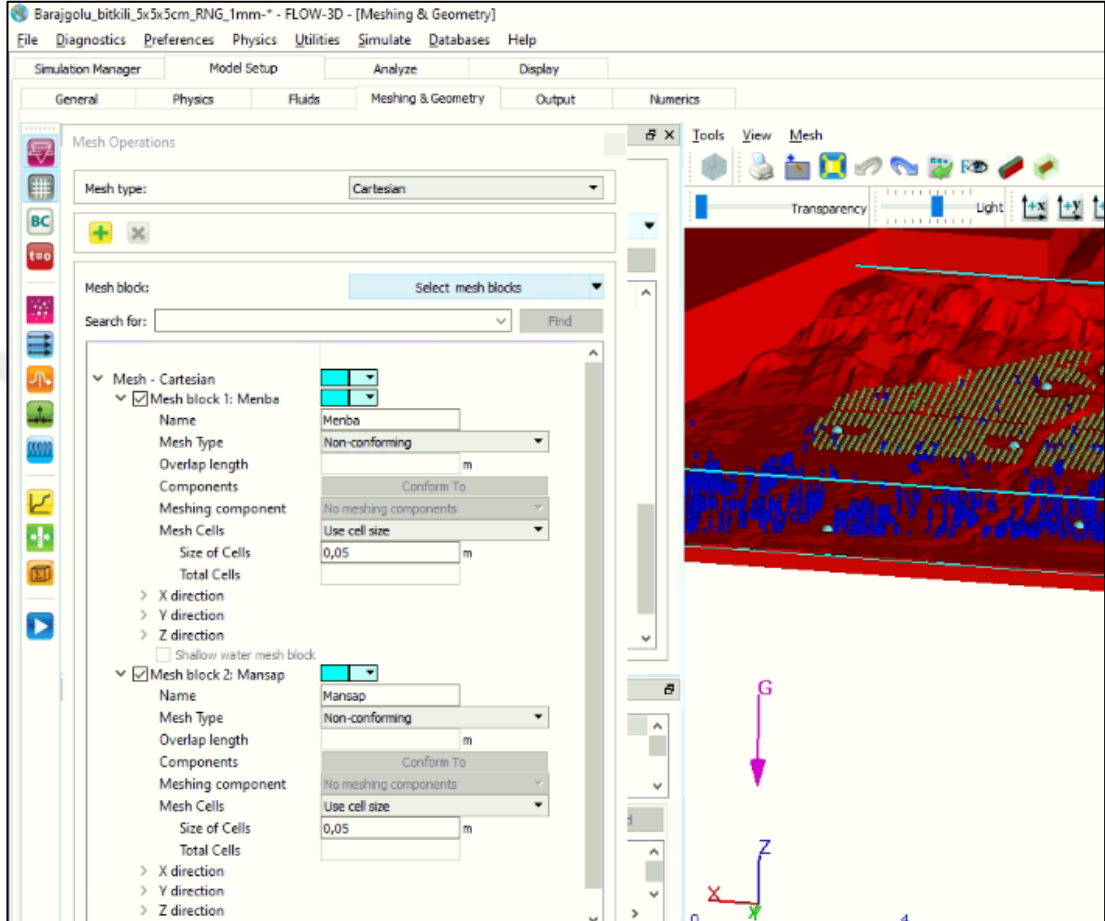
Model Setup-Meshing & Geometry menüsü sayısal modelin oluşturulması aşamasında kullanılan menüdür. Bu menünün en sol tarafında bulunan hızlı menü araç çubuğu kullanılarak alt menülere girilmektedir. Geometry alt menüsünde, simülasyonu gerçekleştirilecek sayısal model oluşturulur. 5.2.1, 5.2.2 ve 5.2.3 bölümlerinde anlatılan Stl formatında oluşturulmuş model geometrileri, yazılıma bu menüden aktarılmaktadır. Ayrıca bu menüde; küre, silindir, küp, koni ve halka şeklindeki çeşitli geometrilere sahip model komponentleri kullanarak model oluşturabilme imkanı da bulunmaktadır. (Şekil 5.30).



Şekil 5.30 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Meshing & Geometry-Geometry menüsü

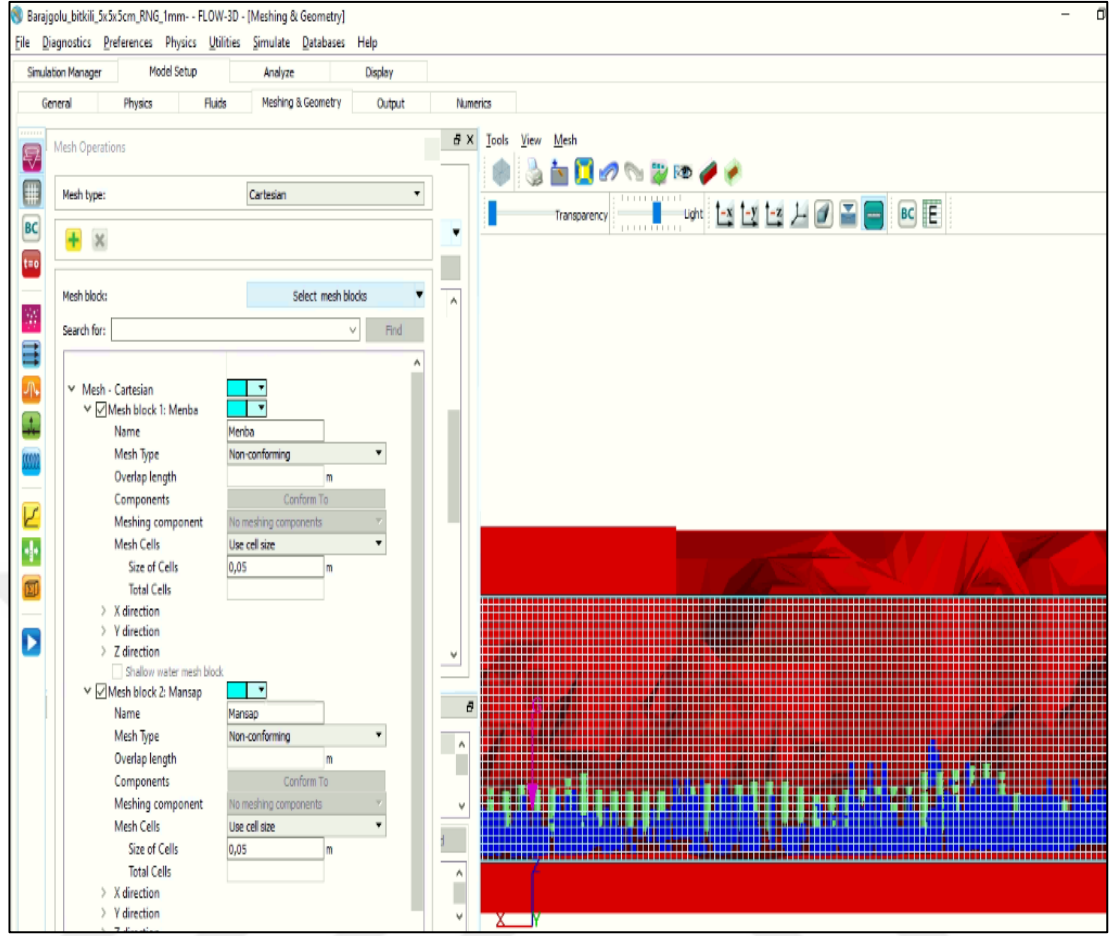
Model Setup-Meshing & Geometry menüsünün Mesh Operations alt menüsünde, model birden fazla ağ bloğuna (mesh block) bölünerek her ağ bloğunda farklı boyutlara sahip hesaplama hücreleri oluşturulabilmektedir. Ağ bloğu oluşturulurken, öncelikle bloğun x, y ve z doğrultularındaki başlangıç (mesh plane 1) ve bitiş (mesh plane 2) koordinatları girilmektedir. Daha sonra x, y ve z doğrultularında, hücre boyutları (size of cells) veya toplam hücre sayıları (total cells) girilerek, ağ bloğu istenilen boyutta veya sayıda hesaplama hücrelerine bölünmektedir. Hücre boyutları ne kadar küçülürse diğer bir deyişle toplam hücre sayısı ne kadar artarsa, çözüm süresi artar ve programdan elde edilen analiz sonuçları için daha büyük bir depolama alanı

gerekir. Sayısal modelin menba (baraj gölü) bölgesi mesh block 1, mansap bölgesi mesh block 2 olacak şekilde 2 adet ağ bloğu oluşturulmuş ve hücre boyutları girilmiştir (Şekil 5.31).



Şekil 5.31 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Meshing & Geometry-Mesh Operations menüsü

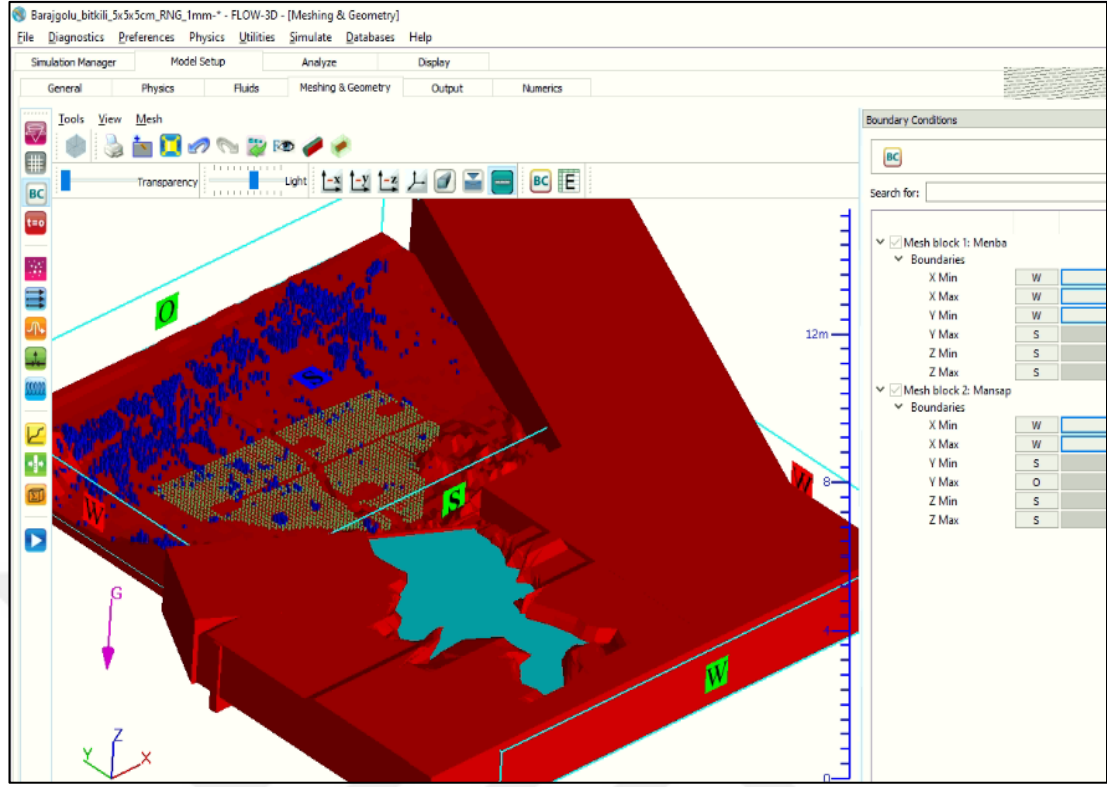
Sayısal modelin hesaplama hücrelerine bölündükten sonraki görüntüsü Şekil 5.32’de verilmiştir.



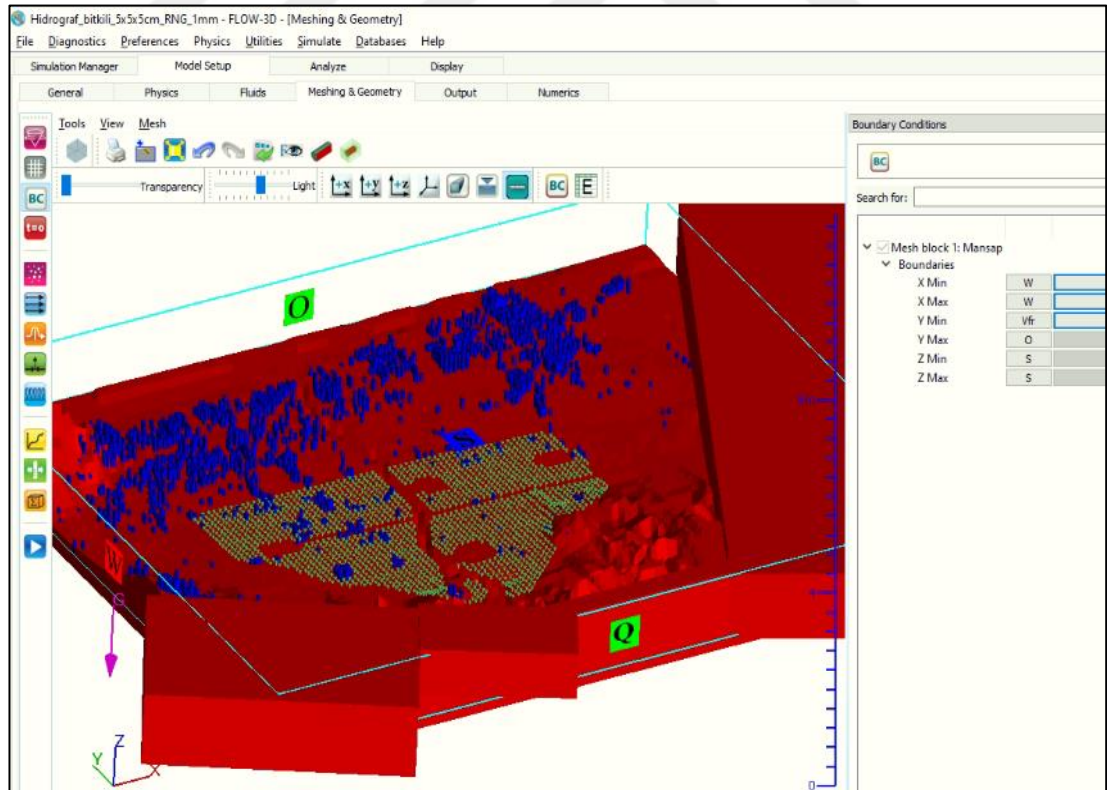
Şekil 5.32 Sayısal modelin hesaplama hücrelerine bölündükten sonraki görüntüsü

Sayısal çalışmada, menba başlangıç sınır şartının baraj gölü olarak tanımlandığı ve hidrograf (su derinliği ile beraber) olarak tanımlandığı iki farklı çalışma gerçekleştirilmiştir.

Başlangıç sınır şartının baraj gölü olarak tanımlandığı çalışmada, Model Setup-Meshing & Geometry menüsünün Initials alt menüsünde 4 adet akışkan bölgesi (fluid region) tanımlanarak, baraj gölü başlangıç su derinliği 96 cm olacak şekilde su ile kapatılmıştır (Şekil 5.33).



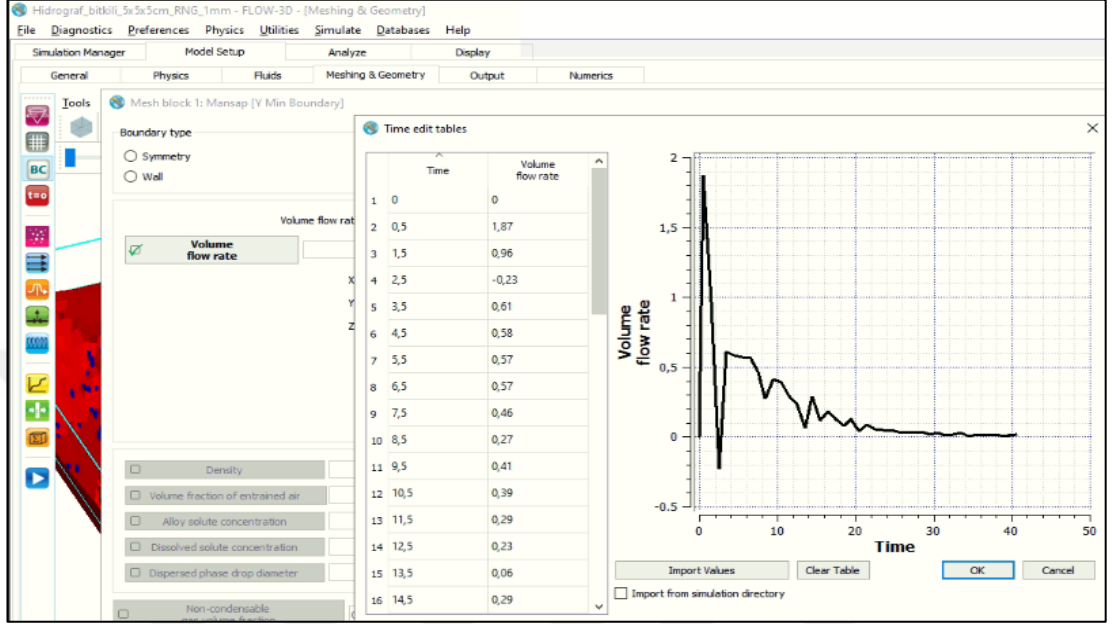
(a)



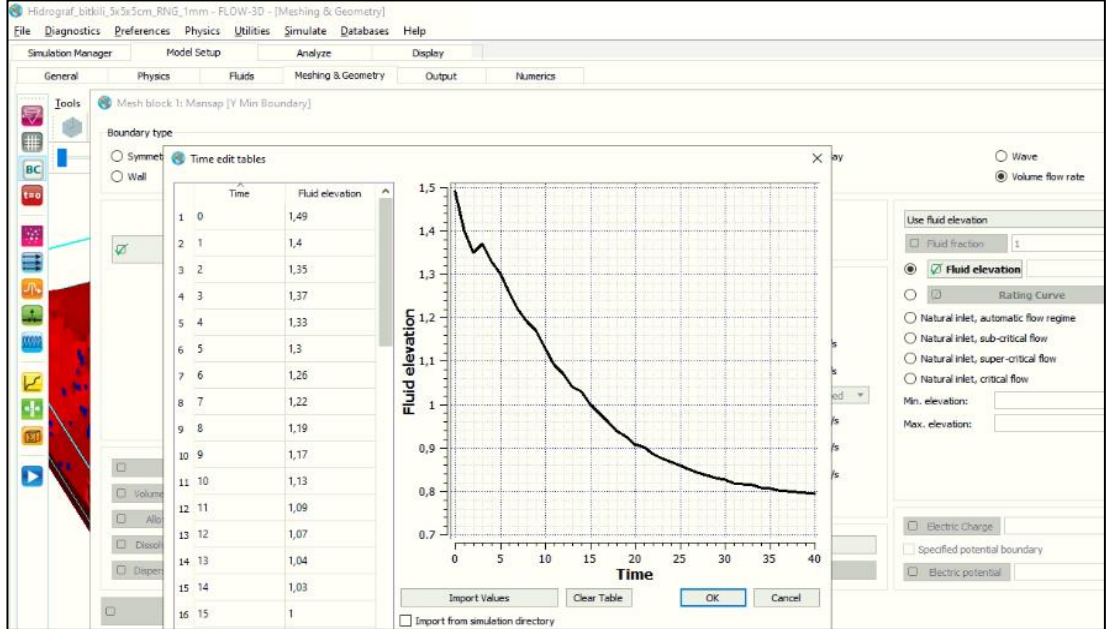
(b)

Şekil 5.34 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Meshing & Geometry-Boundary Conditions menüsü, (a) baraj gölü, (b) hidrograf

Başlangıç sınır şartının hidrograf olarak tanımlandığı çalışmada, Model Setup-Meshing & Geometry menüsünün Boundary Conditions alt menüsünde y minimum (Vfr) sekmesinde debi değerleri ve su derinliği değerleri girilmektedir (Şekil 5.35).



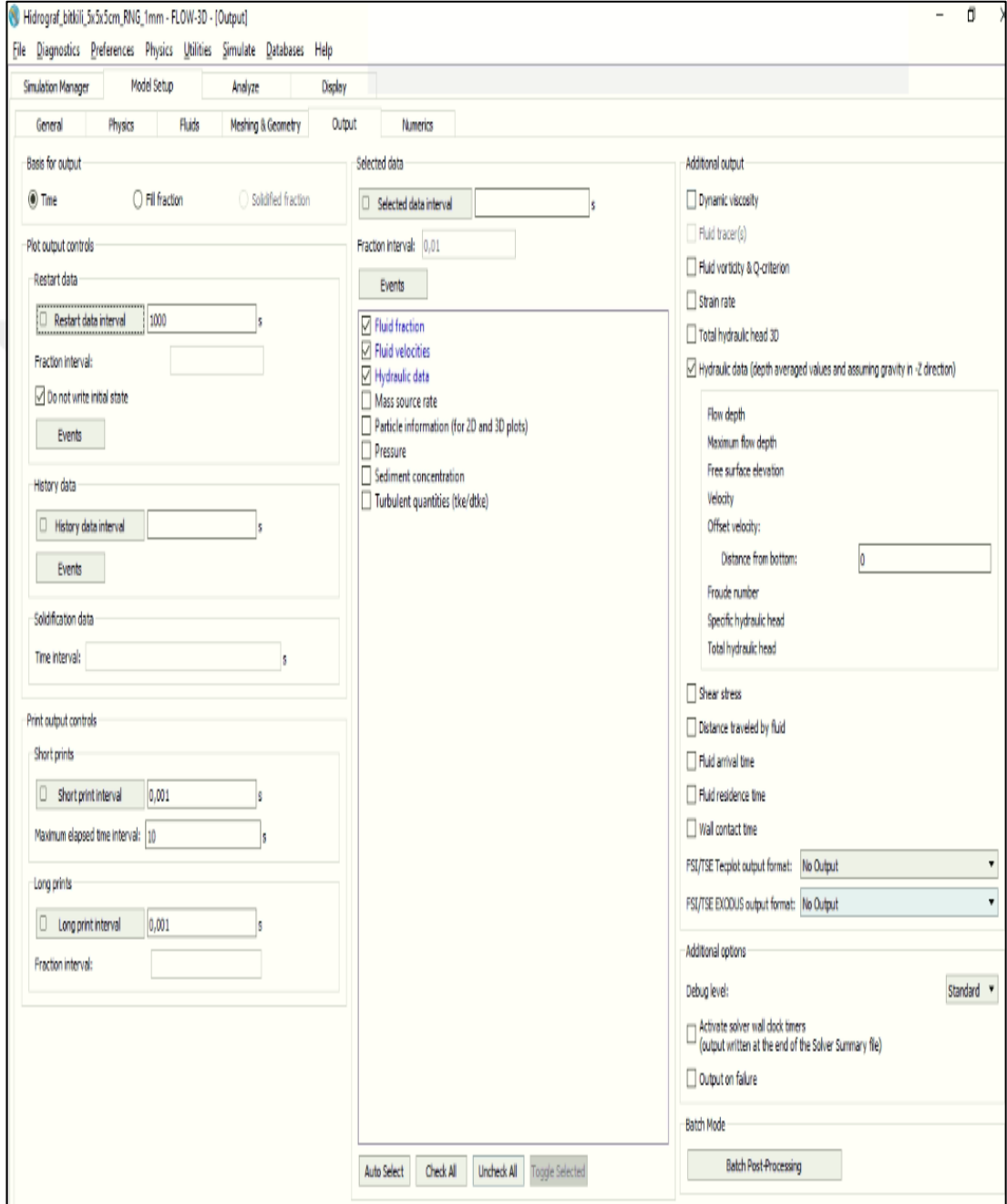
(a)



(b)

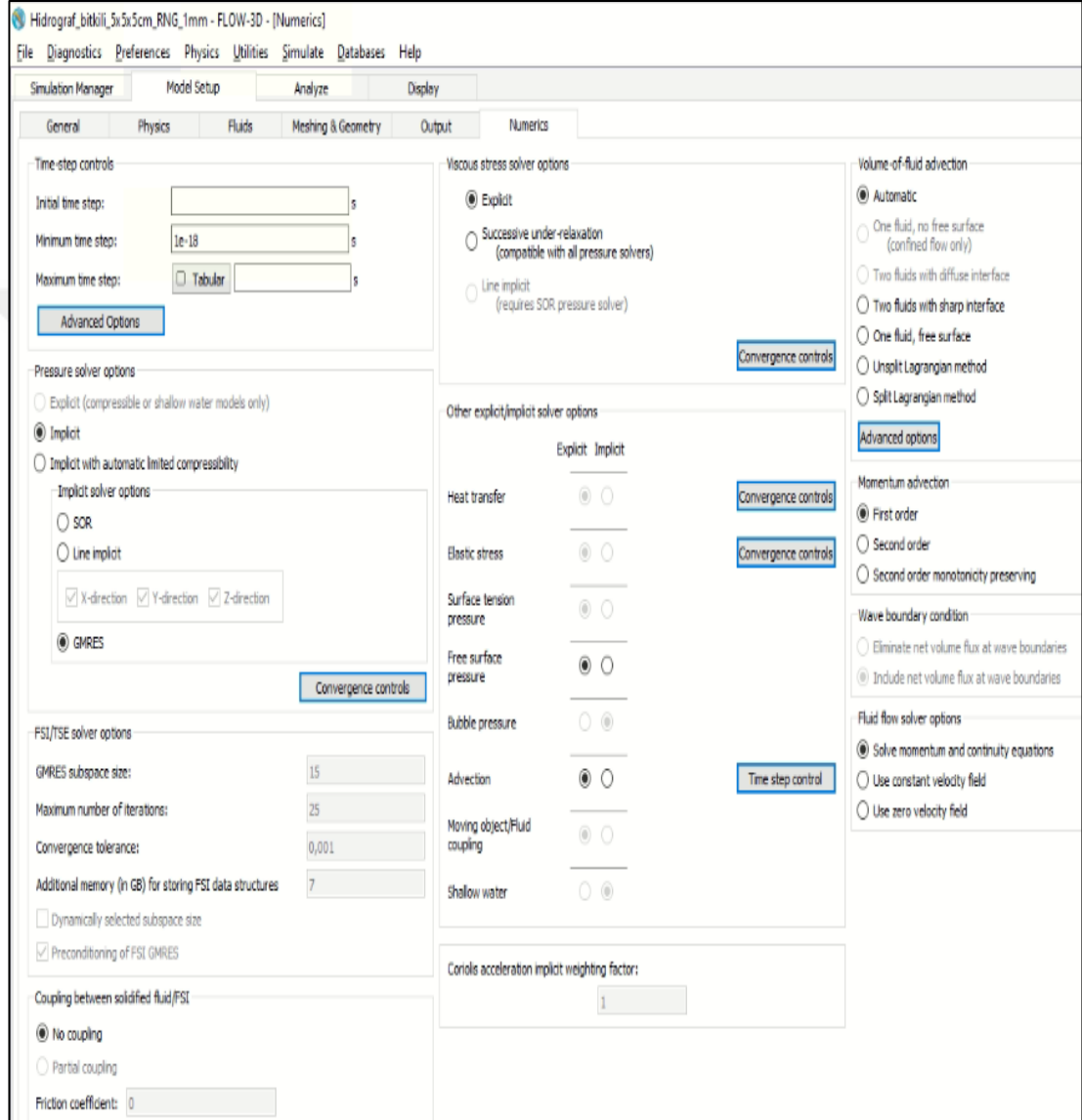
Şekil 5.35 Başlangıç sınır şartı olarak hidrografın tanımlandığı çalışmada FLOW-3D yazılımının Model Setup-Meshing & Geometry-Boundary Conditions menüsünde girilen değerler, (a) hidrograf, (b) su derinliği

Model Setup menüsünün Output alt menüsünde, simülasyon tamamlandıktan sonra analiz ile çıktı olarak alınmak istenen akış hızları ve hidrolik veriler ile verilerin alınma sıklığı seçilmektedir (Şekil 5.36).



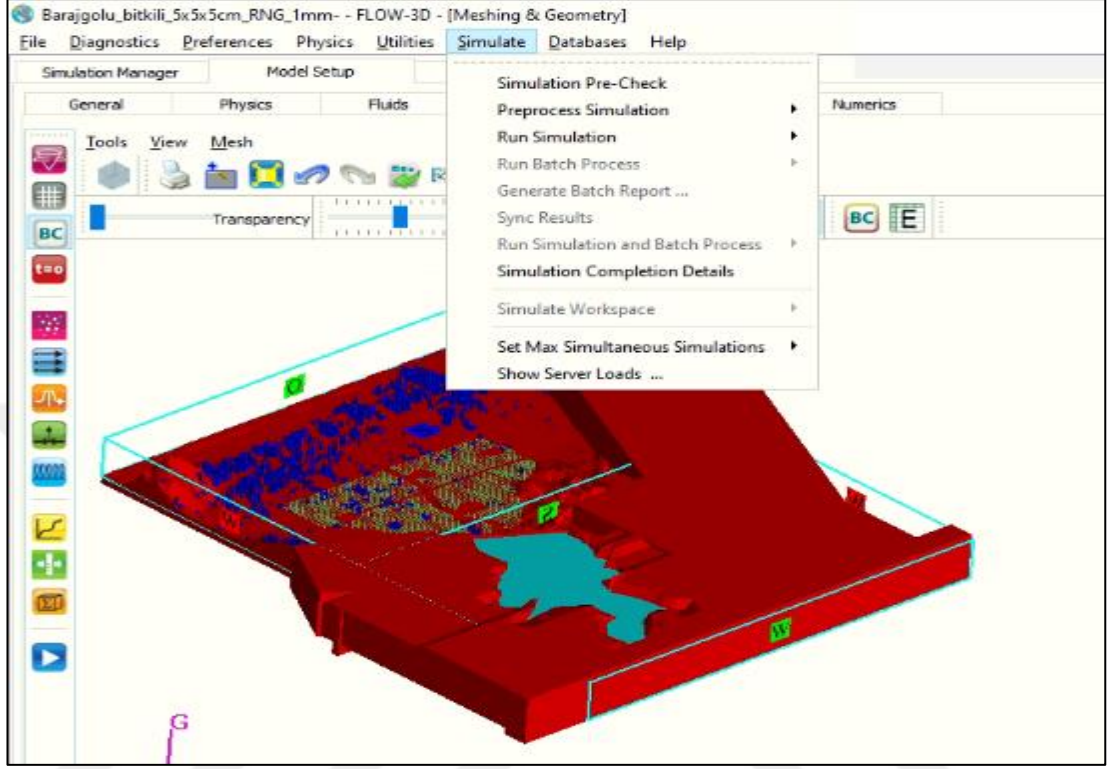
Şekil 5.36 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Output menüsü

Model Setup menüsünün Numerics alt menüsünde, nümerik çözümleme ve iterasyon yöntemlerinde kullanılacak minimum zaman adımı (minimum time step) ile kütle ve momentum denklemlerinin çözümünde kullanılacak yaklaşım (explicit veya implicit) seçimleri yapılmaktadır (Şekil 5.37).



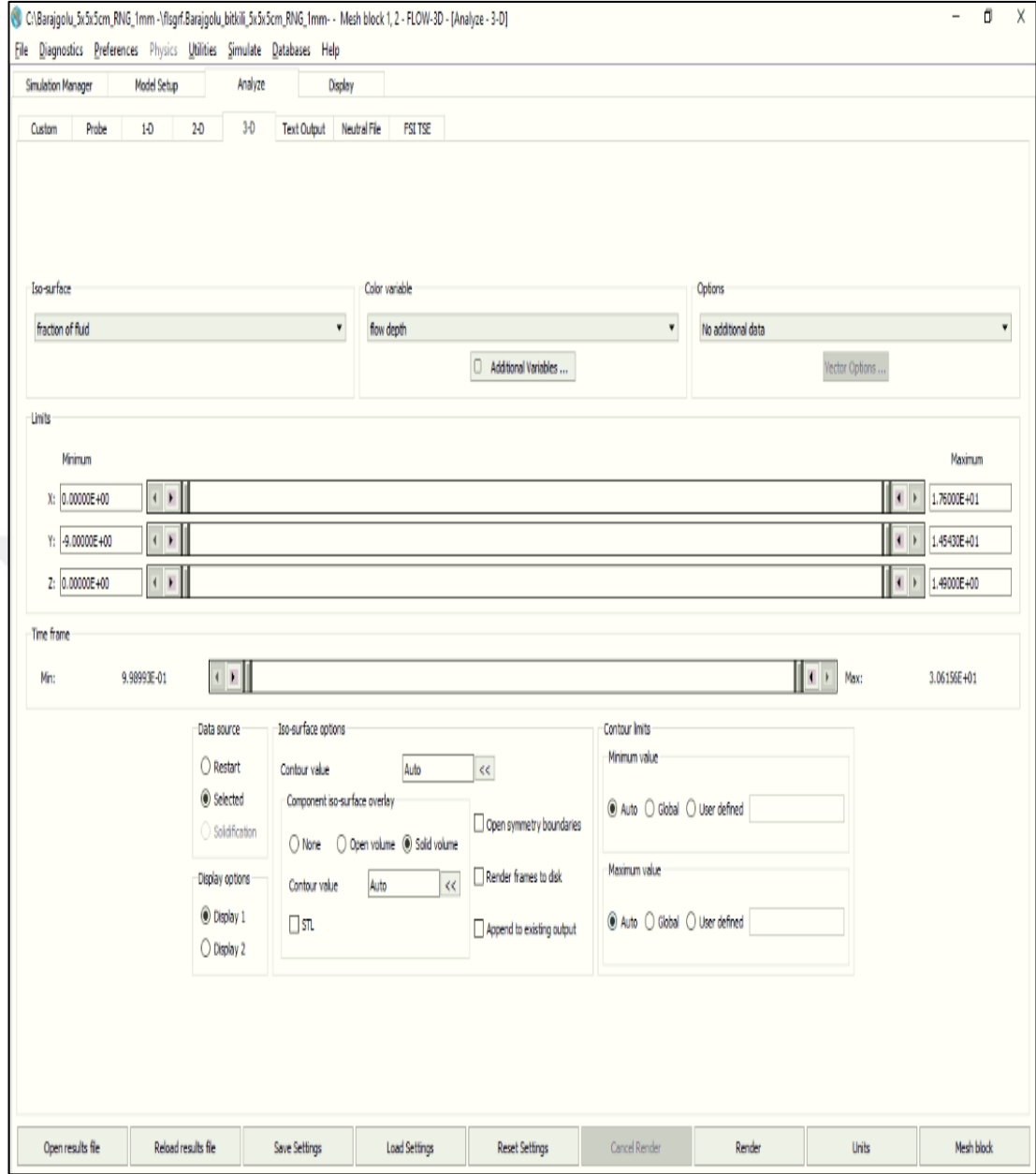
Şekil 5.37 FLOW-3D yazılımının Model Setup-Numerics menüsü

Model oluşturulup gerekli parametreler girildikten sonra, Simulate menüsünden Run Simulation komutu ile simülasyon çalıştırılır (Şekil 5.38).



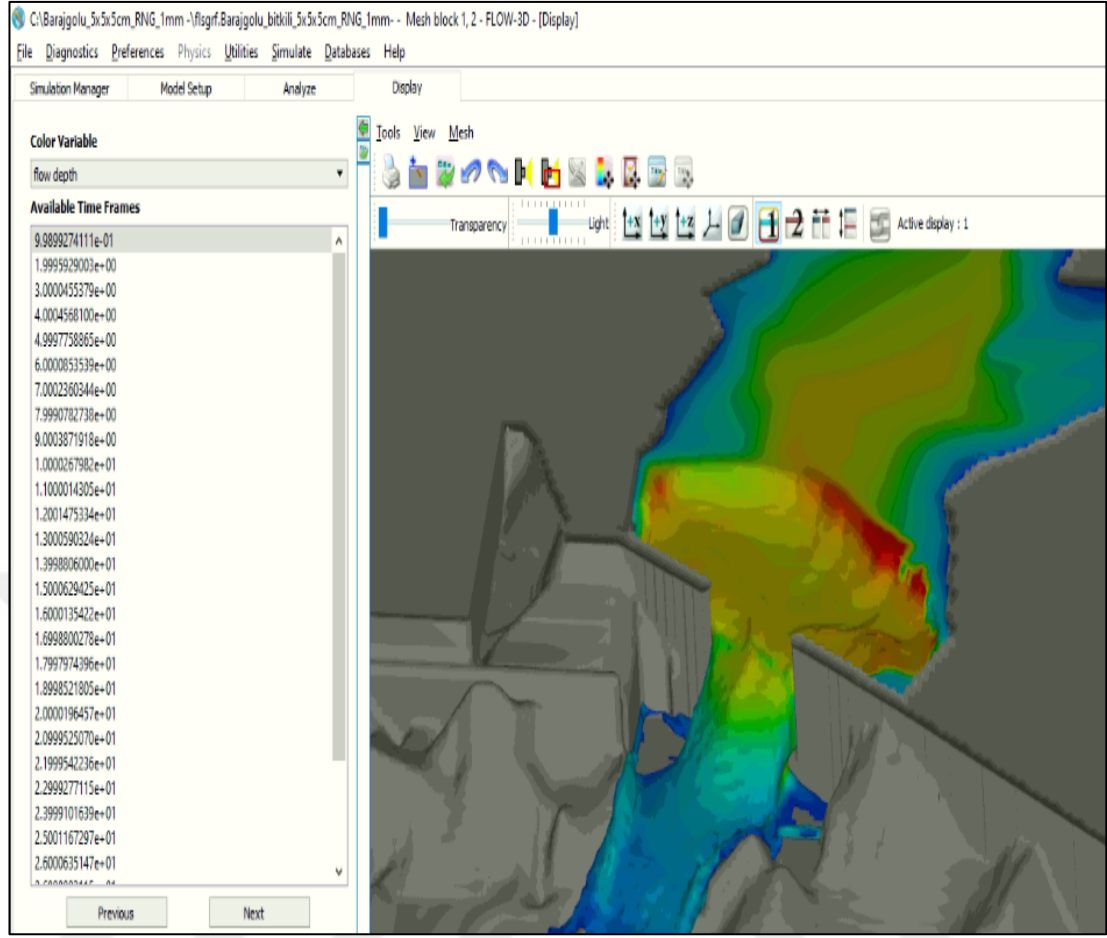
Şekil 5.38 FLOW-3D yazılımında simülasyonun çalıştırılması

Modele ait simülasyonun tamamlanmasından sonra, Analyze menüsünün 3-D alt menüsünde, akışkan kesri (fraction of fluid), analizi yapılacak su derinliği (flow depth), koordinat aralığı, zaman aralığı ve topografya (solid volume) seçimi yapıldıktan sonra, sayfanın altında bulunan Render sekmesinden otomatik olarak Display menüsüne geçilir (Şekil 5.39).



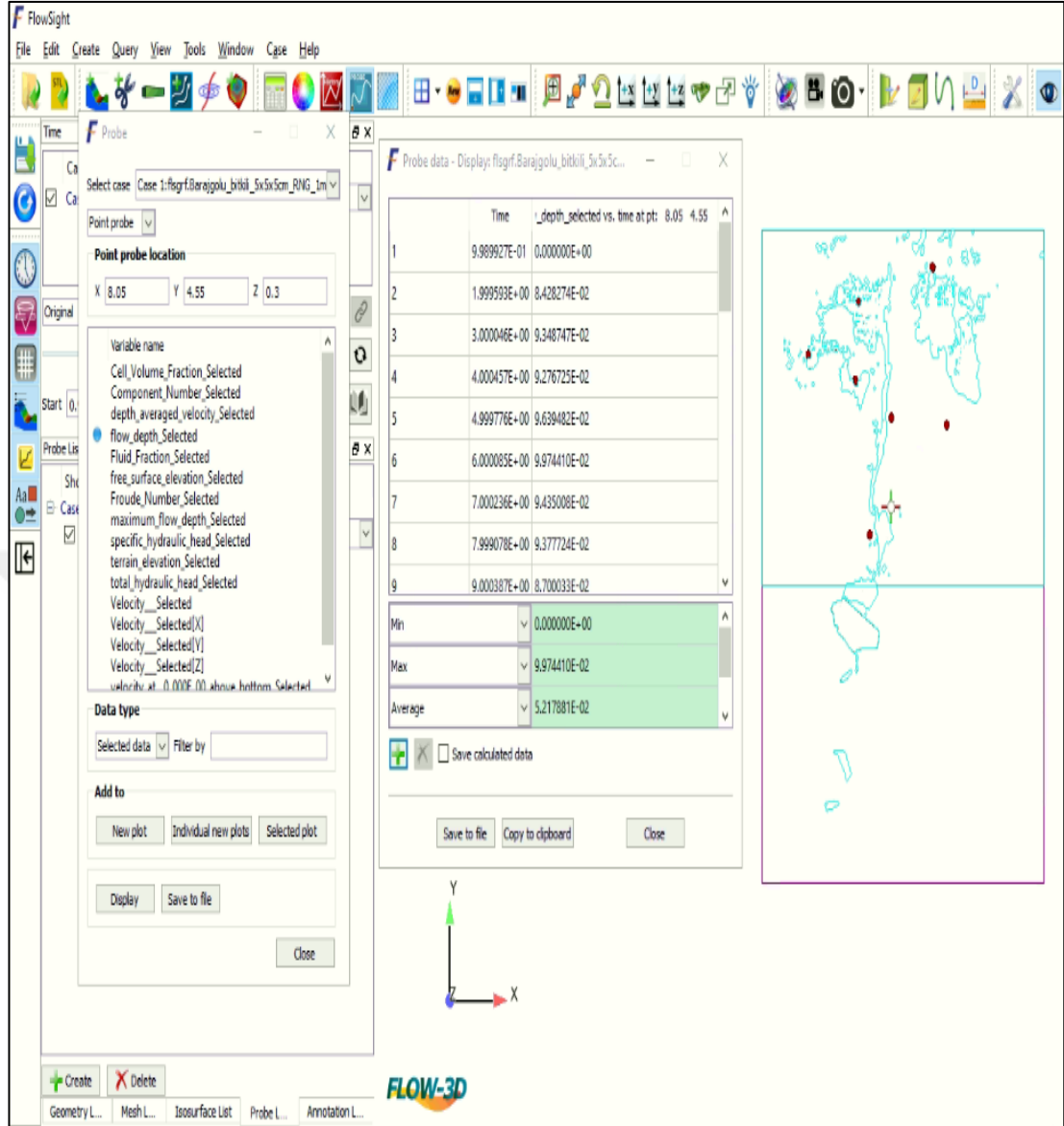
Şekil 5.39 FLOW-3D yazılımının Analyze-3-D menüsü

Display menüsünde, baraj yıkılması sonucu meydana gelen taşkın dalgası simülasyonunun zamana bağlı 3 boyutlu yayılması gözlenebildiği gibi, bu yayılma animasyon olarak AVI dosyası olarak da kaydedilebilmektedir (Şekil 5.40).



Şekil 5.40 FLOW-3D yazılımının Display menüsü

Simülasyona ait ham çıktılar FLOW-3D'nin FlowSight yardımcı programından elde edilmiştir. Ana menüde sayfanın üstünde hızlı menü araç çubuğunda bulunan Probe sekmesinden, istenilen x, y ve z koordinatlarındaki bir noktaya ait x, y ve z doğrultularındaki hızlar, akış derinliği, maksimum akış derinliği, serbest su yüzeyi kotu, derinlik ortalamalı hız, Froude sayısı, özgül enerji yüksekliği, toplam enerji yüksekliği ve zemin kotu gibi veriler alınabilmektedir. Çıktılar Text dosyası ve Excel dosyası olarak kaydedilebilmektedir (Şekil 5.41). FlowSight programından elde edilen S2 noktasındaki su derinliklerine ait ham çıktı örneği ile T03 noktasında 1 cm su derinliğindeki noktasal hızlara ait ham çıktı örneği EK 6'da verilmektedir.



Şekil 5.41 FlowSight programının Probe menüsü

BÖLÜM ALTI

SAYISAL VE DENEYSEL BULGULARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Sayısal çalışmalarda mansap bölgesinin bitki örtüsüz ve kısmi bitki örtülü durumları için; farklı zemin pürüzlülükleri, hücre boyutları, türbülans modelleri ve menba başlangıç sınır şartları kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışmalardan elde edilen taşkın dalgasına ait farklı noktalardaki su derinlikleri ile deneysel bulgular karşılaştırılarak sayısal ve deneysel bulguların uyumlulukları değerlendirilmiştir.

Sayısal ve deneysel bulguların uyumluluklarının değerlendirilmesinde; sırasıyla (6.1), (6.2) ve (6.3) denklemlerinde verilen hata kareler ortalamasının karekökü (Root Mean Square Error, RMSE), ortalama mutlak hata (Mean Absolute Error, MAE) ve determinasyon katsayısı (Determination Coefficient, R^2) istatistiksel performans ölçütleri kullanılmıştır. Sayısal bulguların deneysel bulgulara yaklaşması durumunda; RMSE ve MAE ölçütleri küçülürken, R^2 ölçütü de büyümektedir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (\hat{y}_n - y_n)^2}{N}} \quad (6.1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{n=1}^N |\hat{y}_n - y_n|}{N} \quad (6.2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{n=1}^N (y_n - \hat{y}_n)^2}{\sum_{n=1}^N (y_n - \bar{y})^2} \quad (6.3)$$

(6.1), (6.2) ve (6.3) denklemlerinde; $\hat{y}_n$ sayısal bulguları, y_n deneysel bulguları, N veri sayısını ve $\bar{y}$ deneysel bulguların ortalamasını göstermektedir.

Yapılan performans değerlendirmeleri sonucunda; en uyumlu zemin pürüzlülüğü, hücre boyutu, türbülans modeli ve menba başlangıç sınır şartına sahip bitki örtüsüz ve bitki örtülü sayısal modeller belirlenmiştir. Daha sonra, en uyumlu sayısal

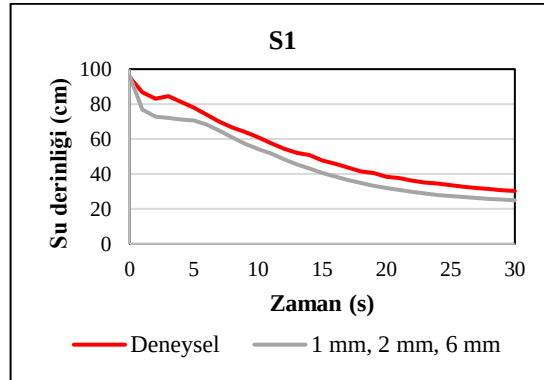
modellerden elde edilen taşkın dalgasına ait farklı noktalardaki su derinlikleri ve hızlar ile taşkın dalgasının yayılması deneysel bulgularla karşılaştırılıp değerlendirilmiştir.

6.1 Farklı Zemin Pürüzlülüklerinin Kullanılması

1 mm, 2 mm ve 6 mm zemin pürüzlülükleri kullanılarak farklı simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda; menba başlangıç sınır şartı olarak baraj gölü ve türbülans modeli olarak yeniden normalleştirilmiş grup modeli (renormalized group model - RNG) kullanılmıştır. Modelin menba ve mansap bölgesi $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 5$ cm hücre boyutuna sahip hücrelere bölünmüştür.

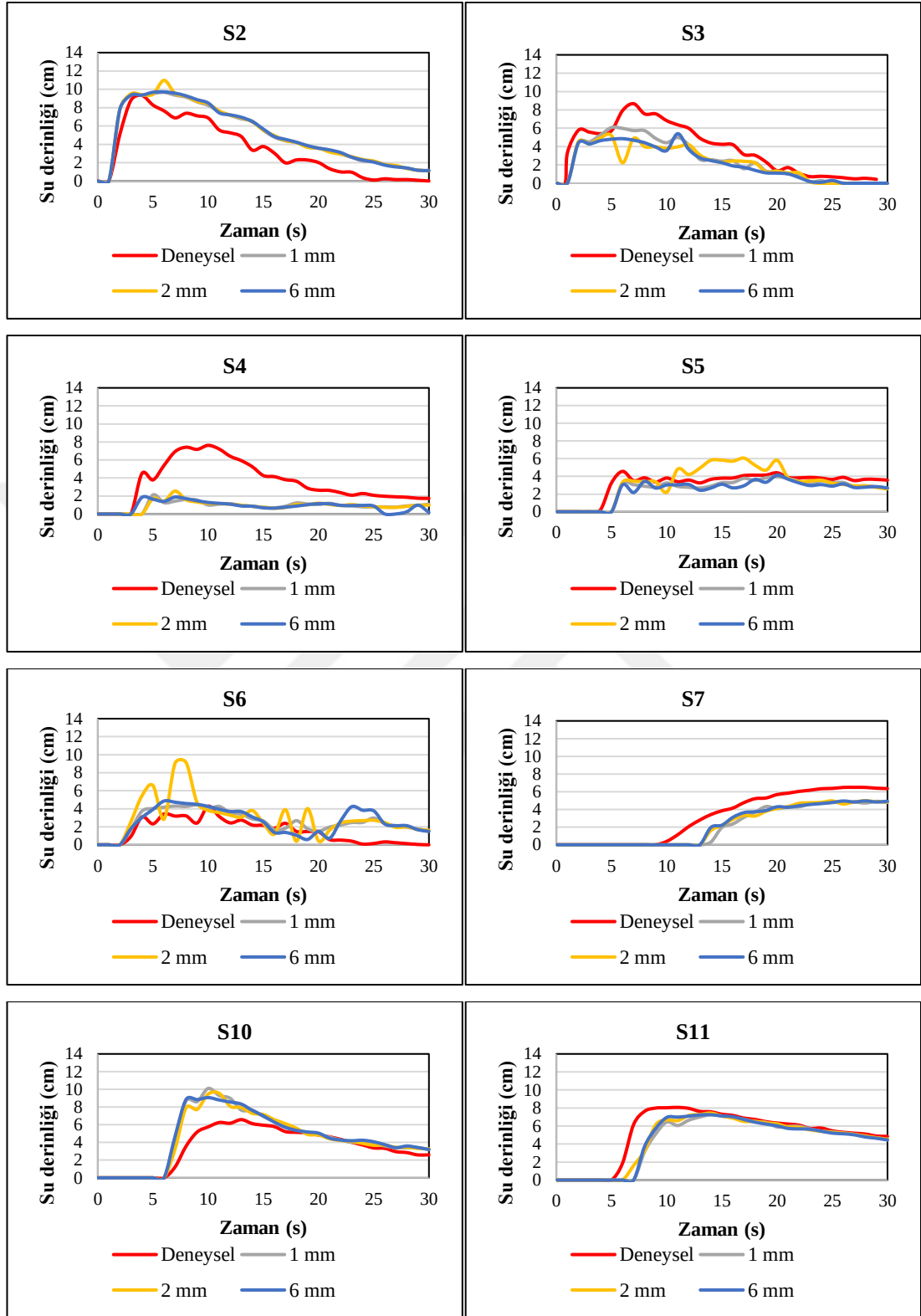
6.1.1 Bitki Örtüsüz Durumda Farklı Zemin Pürüzlülüklerinin Kullanılması

Bitki örtüsüz durumda farklı zemin pürüzlülükleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması Şekil 6.1’de verilmektedir. Şekilden de görüleceği gibi farklı pürüzlülük değerleri sayısal su derinliği değerlerini etkilememiştir.



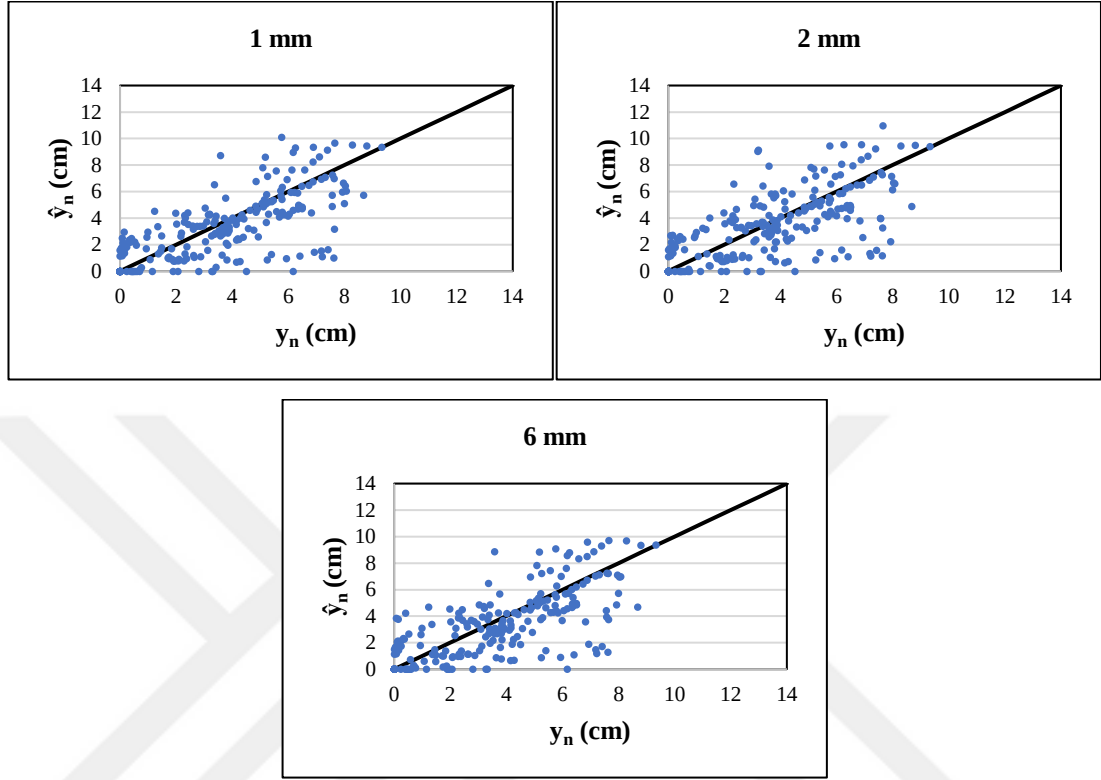
Şekil 6.1 Bitki örtüsüz durumda farklı zemin pürüzlülükleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması

Bitki örtüsüz durumda farklı zemin pürüzlülükleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması Şekil 6.2’de verilmektedir.



Şekil 6.2 Bitki örtüsüz durumda farklı zemin pürüzlülükleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneySEL bulguların karşılaştırılması

Şekil 6.2’de verilen farklı zemin pürüzlülükleri için hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n) Şekil 6.3’te verilmektedir.



Şekil 6.3 Bitki örtüsüz durumda farklı zemin pürüzlülükleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)

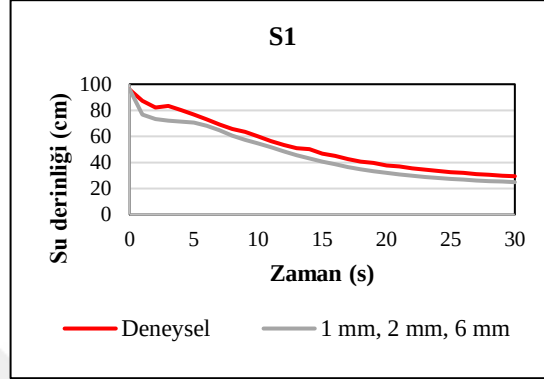
Şekil 6.3’te farklı zemin pürüzlülükleri için ayrı ayrı verilen $N=248$ ’er adet veri kullanılarak RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri hesaplanmıştır (Tablo 6.1).

Tablo 6.1 Bitki örtüsüz durumda farklı zemin pürüzlülükleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri

Zemin Pürüzlülüğü	RMSE (cm)	MAE (cm)	R^2
1 mm	1,8	1,3	0,49
2 mm	2,0	1,4	0,42
6 mm	1,9	1,3	0,47

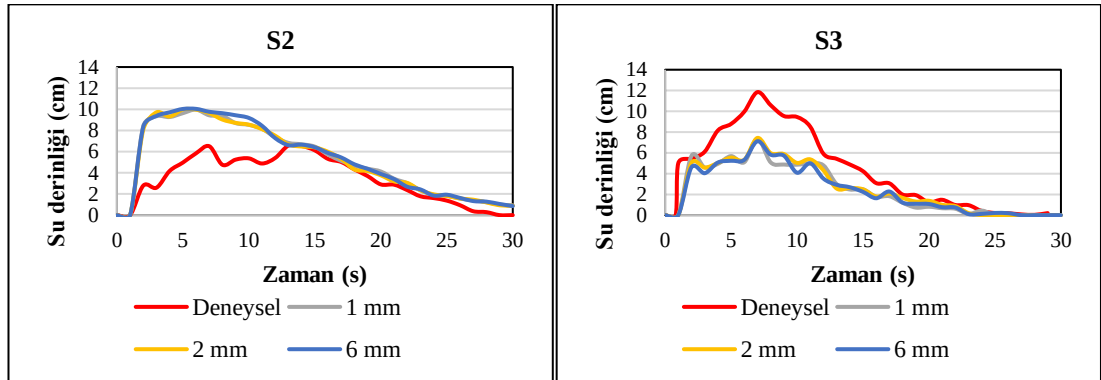
6.1.2 Bitki Örtülü Durumda Farklı Zemin Pürüzlülüklerinin Kullanılması

Bitki örtülü durumda farklı zemin pürüzlülükleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması Şekil 6.4'te verilmektedir.

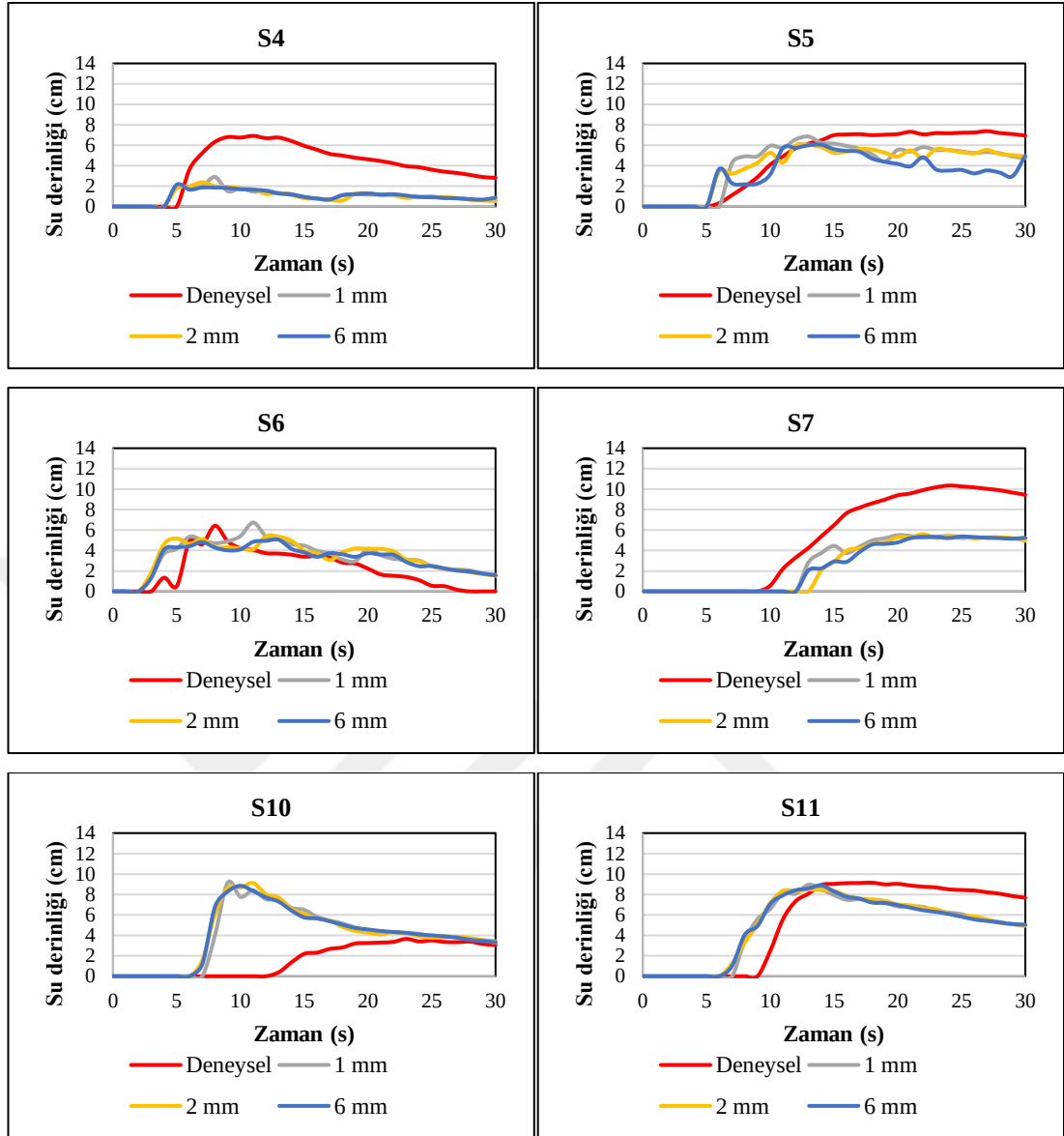


Şekil 6.4 Bitki örtülü durumda farklı zemin pürüzlülükleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması

Bitki örtülü durumda farklı zemin pürüzlülükleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması Şekil 6.5'te verilmektedir.

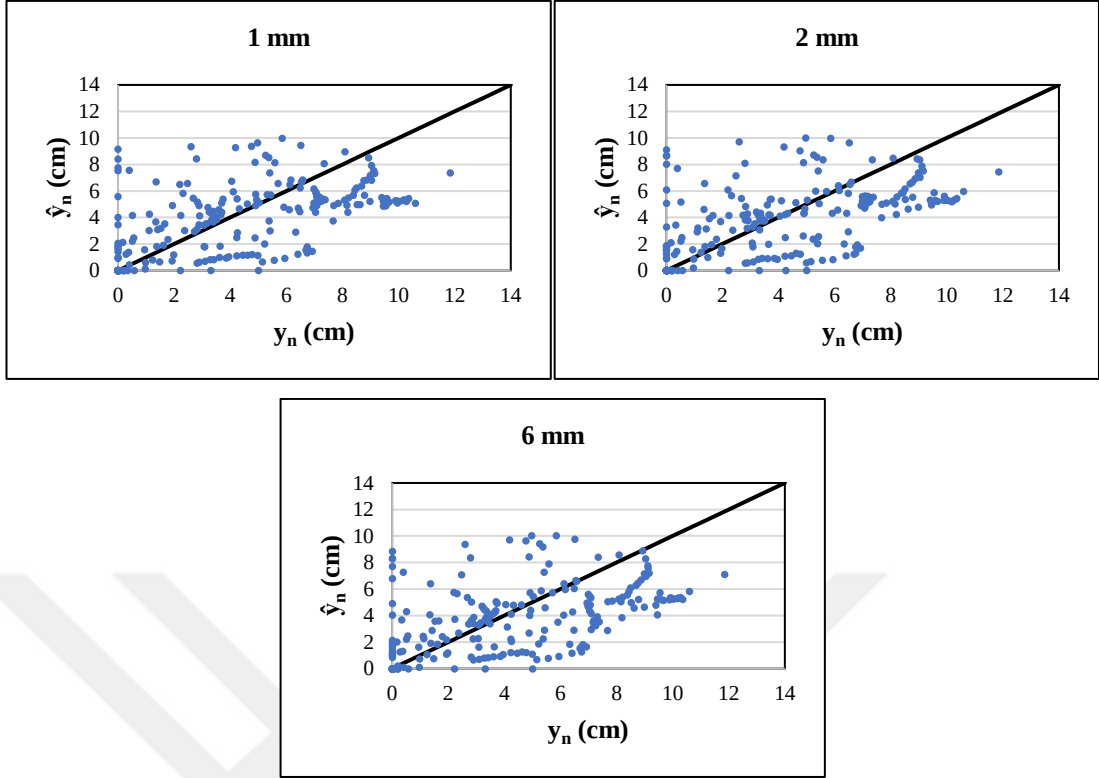


Şekil 6.5 Bitki örtülü durumda farklı zemin pürüzlülükleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması



Şekil 6.5 Devamı

Şekil 6.5'te verilen farklı zemin pürüzlülükleri için hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n) Şekil 6.6'da verilmektedir.



Şekil 6.6 Bitki örtülü durumda farklı zemin pürüzlülükleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)

Şekil 6.6’da farklı zemin pürüzlülükleri için ayrı ayrı verilen $N=248$ ’er adet veri kullanılarak RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri hesaplanmıştır (Tablo 6.2).

Tablo 6.2 Bitki örtülü durumda farklı zemin pürüzlülükleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri

Zemin Pürüzlülüğü	RMSE (cm)	MAE (cm)	R^2
1 mm	2,7	2,0	0,33
2 mm	2,8	2,0	0,30
6 mm	2,9	2,1	0,26

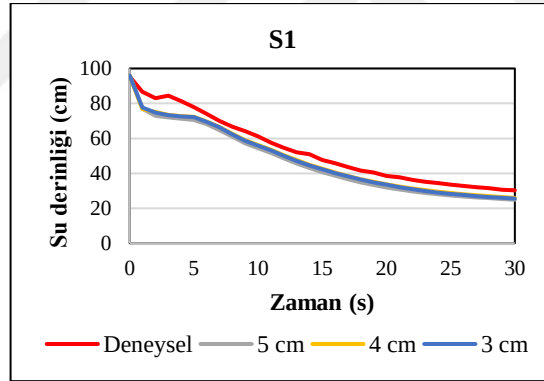
Yapılan istatistiksel çalışma sonucunda 1 mm’lik zemin pürüzlülüğünün en uyumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

6.2 Farklı Hücre Boyutlarının Kullanılması

Modelin menba ve mansap bölgesinin her ikisinin de $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 5$ cm, 4 cm ve 3 cm hücre boyutlarına sahip hücrelere bölündüğü simülasyonlar ile menba bölgesinin $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 4$ cm ve mansap bölgesinin $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 5$ cm hücre boyutlarına sahip hücrelere bölündüğü simülasyon gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda; menba başlangıç sınır şartı olarak baraj gölü, zemin pürüzlülüğü olarak 1 mm ve türbülans modeli olarak RNG kullanılmıştır.

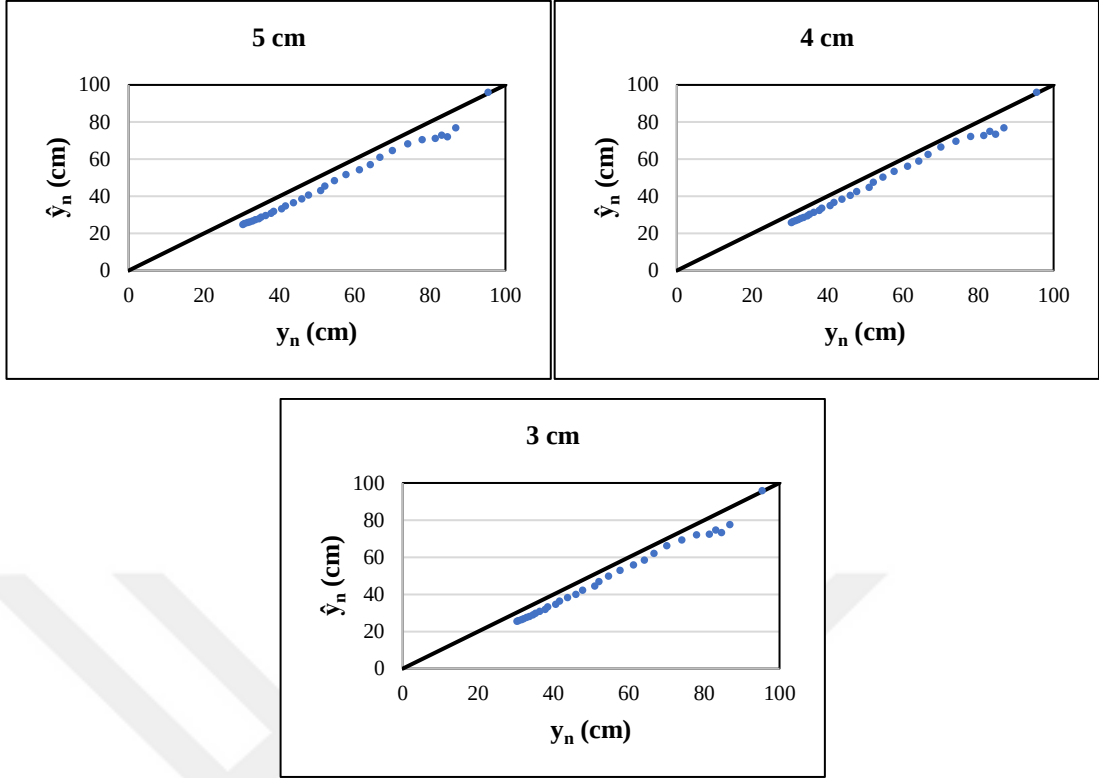
6.2.1 Bitki Örtüsüz Durumda Farklı Hücre Boyutlarının Kullanılması

Bitki örtüsüz durumda farklı hücre boyutları için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması Şekil 6.7’de verilmektedir.



Şekil 6.7 Bitki örtüsüz durumda farklı hücre boyutları için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması

Şekil 6.7’de verilen farklı hücre boyutları için S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n) Şekil 6.8’de verilmektedir.



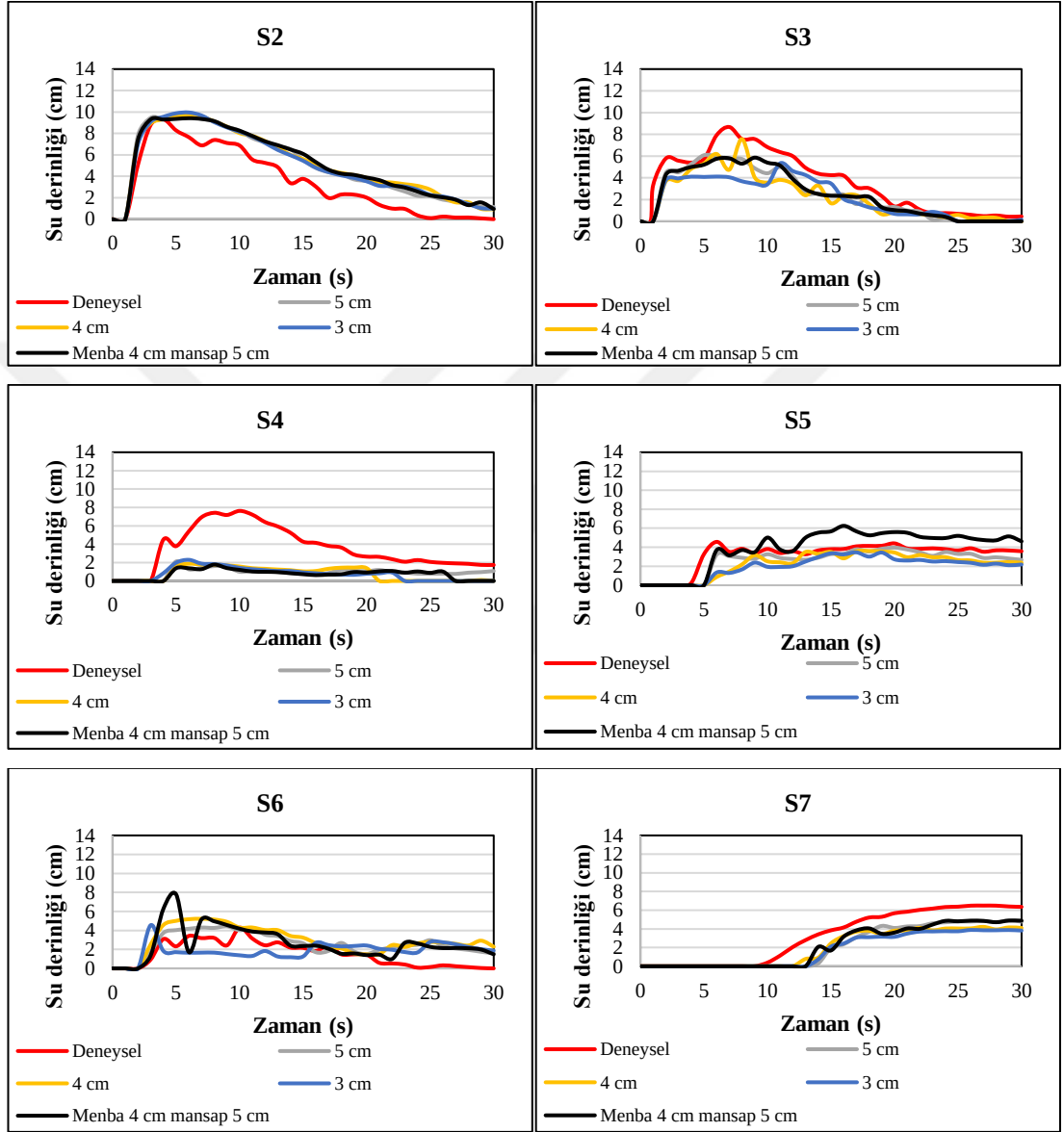
Şekil 6.8 Bitki örtüsüz durumda farklı hücre boyutları için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)

Şekil 6.8’de farklı hücre boyutları için ayrı ayrı verilen $N=31$ ’er adet veri kullanılarak RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri hesaplanmıştır (Tablo 6.3).

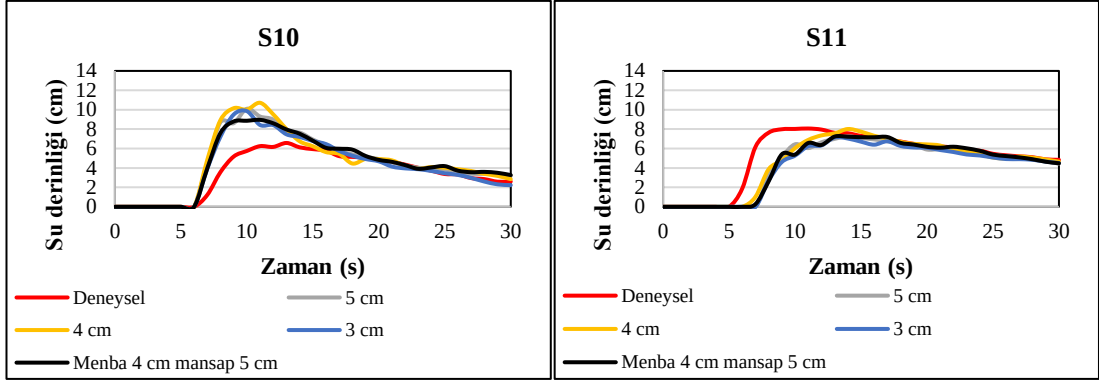
Tablo 6.3 Bitki örtüsüz durumda farklı hücre boyutları için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri

Hücre Boyutu	RMSE (cm)	MAE (cm)	R^2
5 cm	7,0	6,8	0,87
4 cm	5,6	5,2	0,92
3 cm	5,8	5,5	0,91

Bitki örtüsüz durumda farklı hücre boyutları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması Şekil 6.9'da verilmektedir.

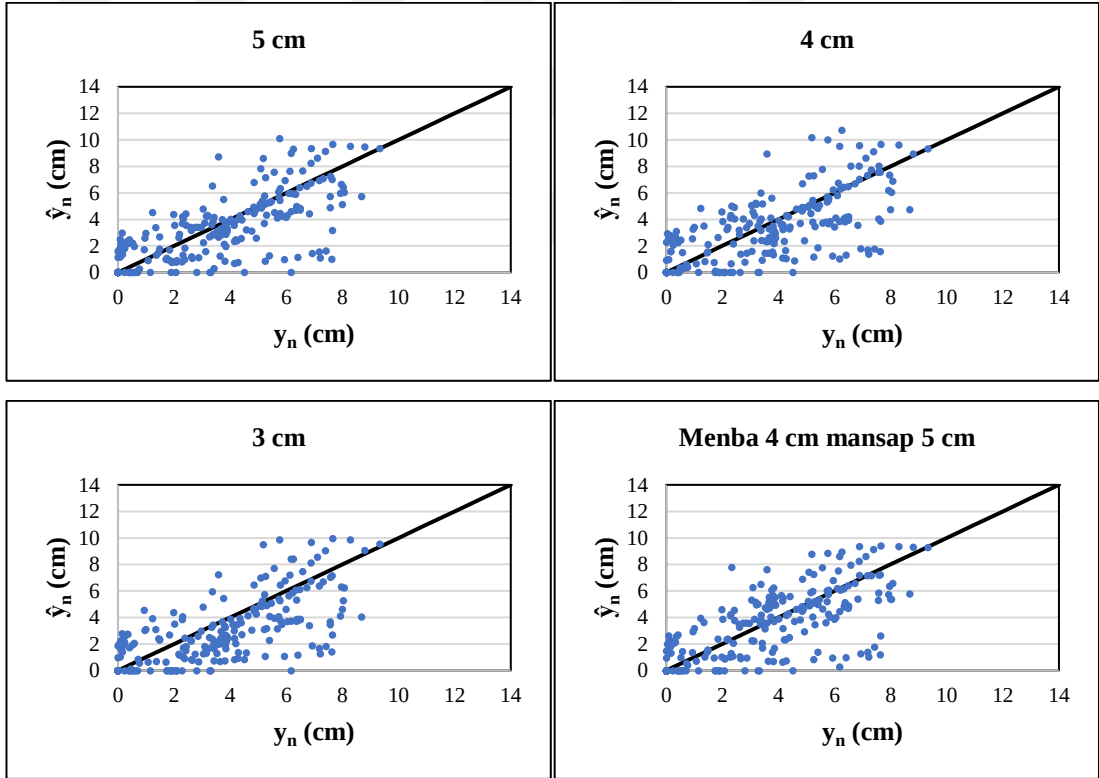


Şekil 6.9 Bitki örtüsüz durumda farklı hücre boyutları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması



Şekil 6.9 Devamı

Şekil 6.9’da verilen farklı hücre boyutları için hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n) Şekil 6.10’da verilmektedir.



Şekil 6.10 Bitki örtüsüz durumda farklı hücre boyutları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)

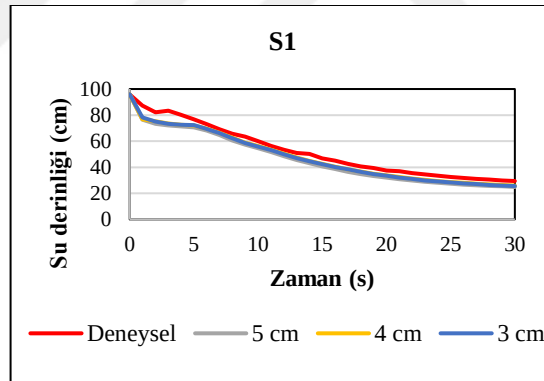
Şekil 6.10’da farklı hücre boyutları için ayrı ayrı verilen $N=248$ ’er adet veri kullanılarak RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri hesaplanmıştır (Tablo 6.4).

Tablo 6.4 Bitki örtüsüz durumda farklı hücre boyutları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri

Hücre Boyutu	RMSE (cm)	MAE (cm)	R^2
5 cm	1,8	1,3	0,49
4 cm	2,0	1,4	0,42
3 cm	2,0	1,5	0,40
Menba 4 cm mansap 5 cm	1,9	1,3	0,45

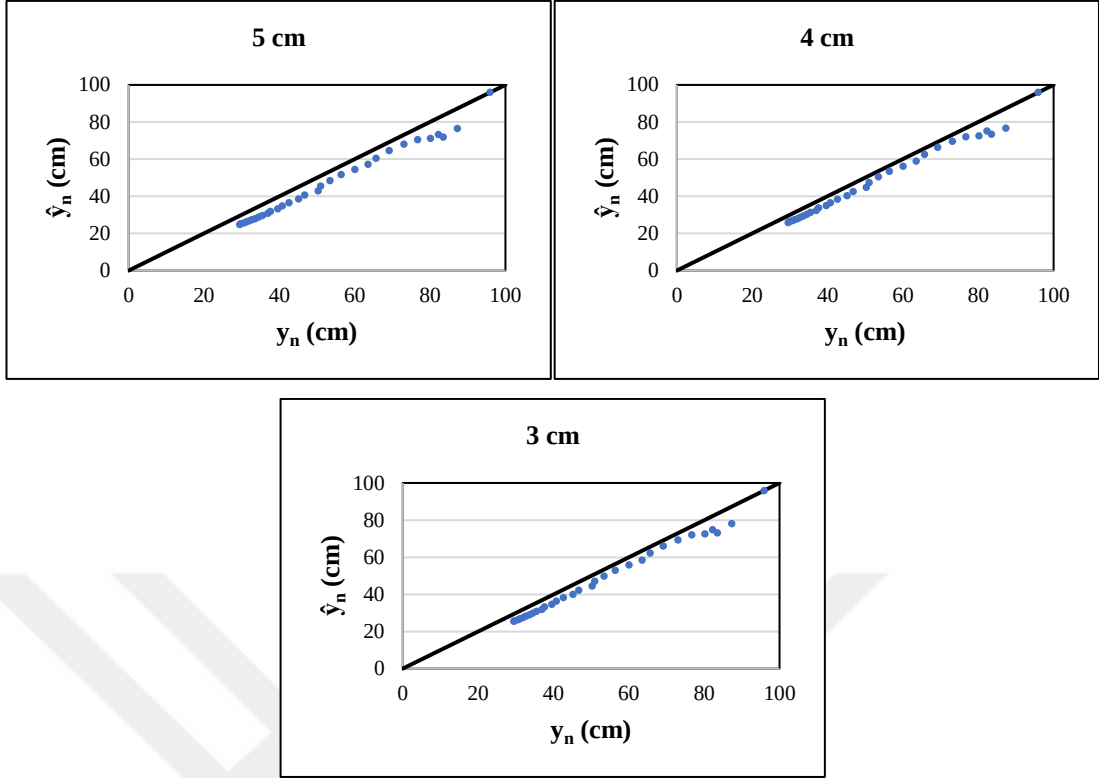
6.2.2 Bitki Örtülü Durumda Farklı Hücre Boyutlarının Kullanılması

Bitki örtülü durumda farklı hücre boyutları için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması Şekil 6.11’de verilmektedir.



Şekil 6.11 Bitki örtülü durumda farklı hücre boyutları için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması

Şekil 6.11’de verilen farklı hücre boyutları için S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n) Şekil 6.12’de verilmektedir.



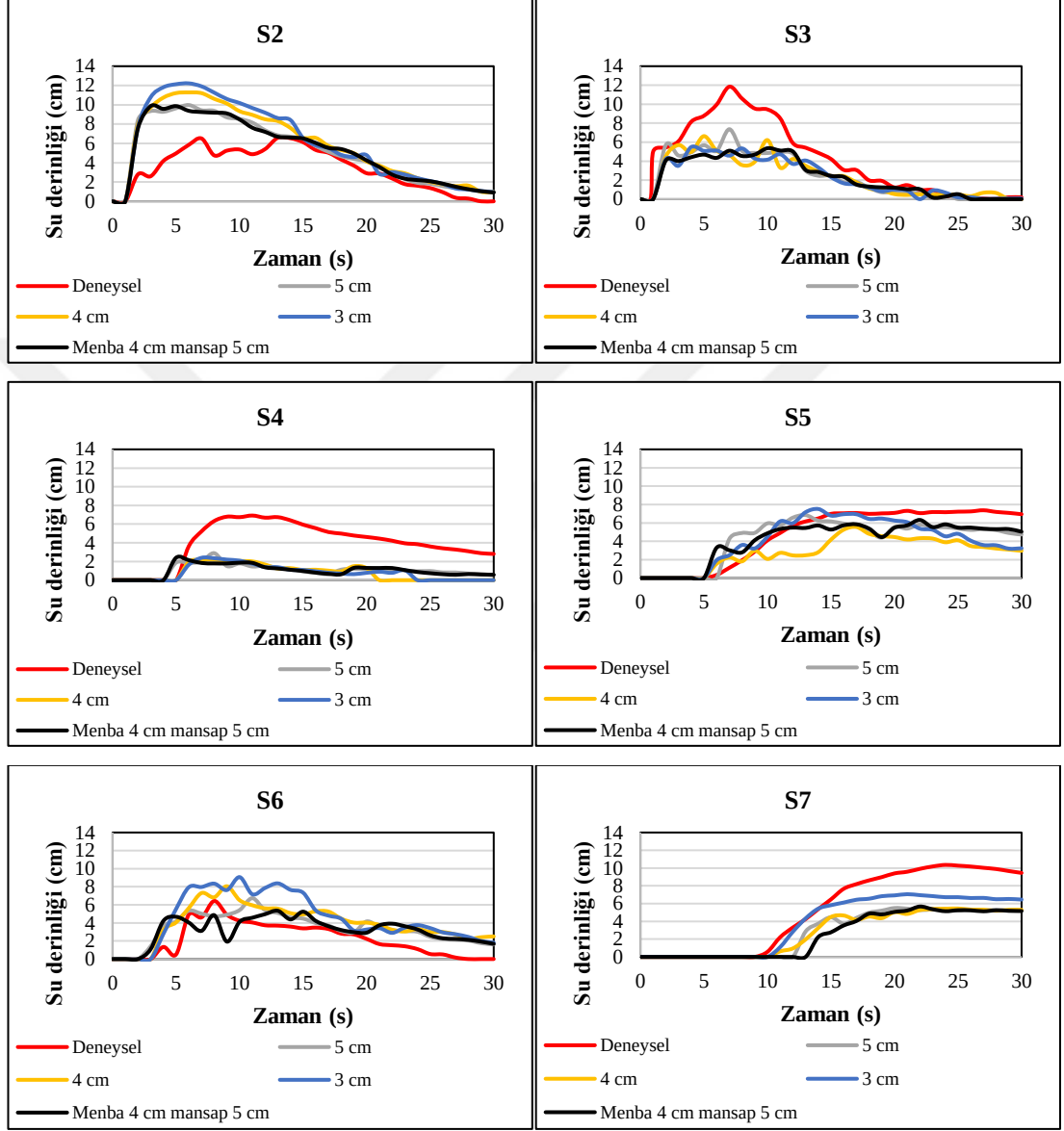
Şekil 6.12 Bitki örtülü durumda farklı hücre boyutları için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)

Şekil 6.12’de farklı hücre boyutları için ayrı ayrı verilen $N=31$ ’er adet veri kullanılarak RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri hesaplanmıştır (Tablo 6.5).

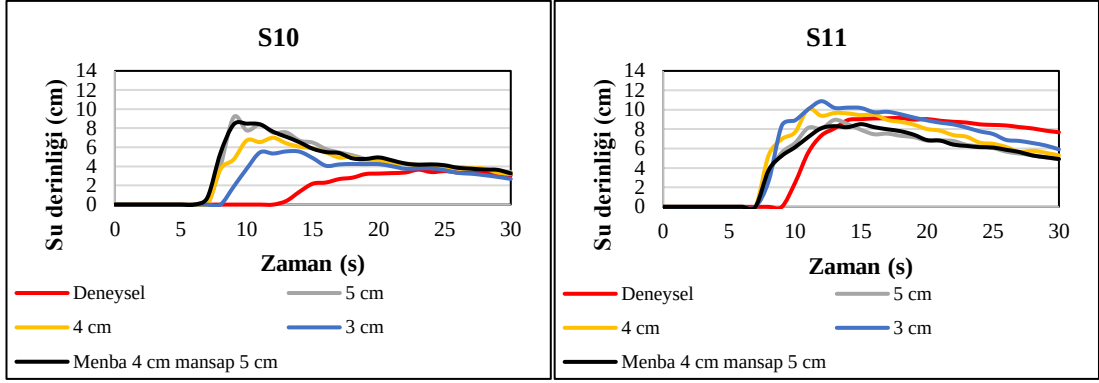
Tablo 6.5 Bitki örtülü durumda farklı hücre boyutları için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri

Hücre Boyutu	RMSE (cm)	MAE (cm)	R^2
5 cm	6,2	5,9	0,90
4 cm	4,8	4,4	0,94
3 cm	4,9	4,6	0,94

Bitki örtülü durumda farklı hücre boyutları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması Şekil 6.13'te verilmektedir.

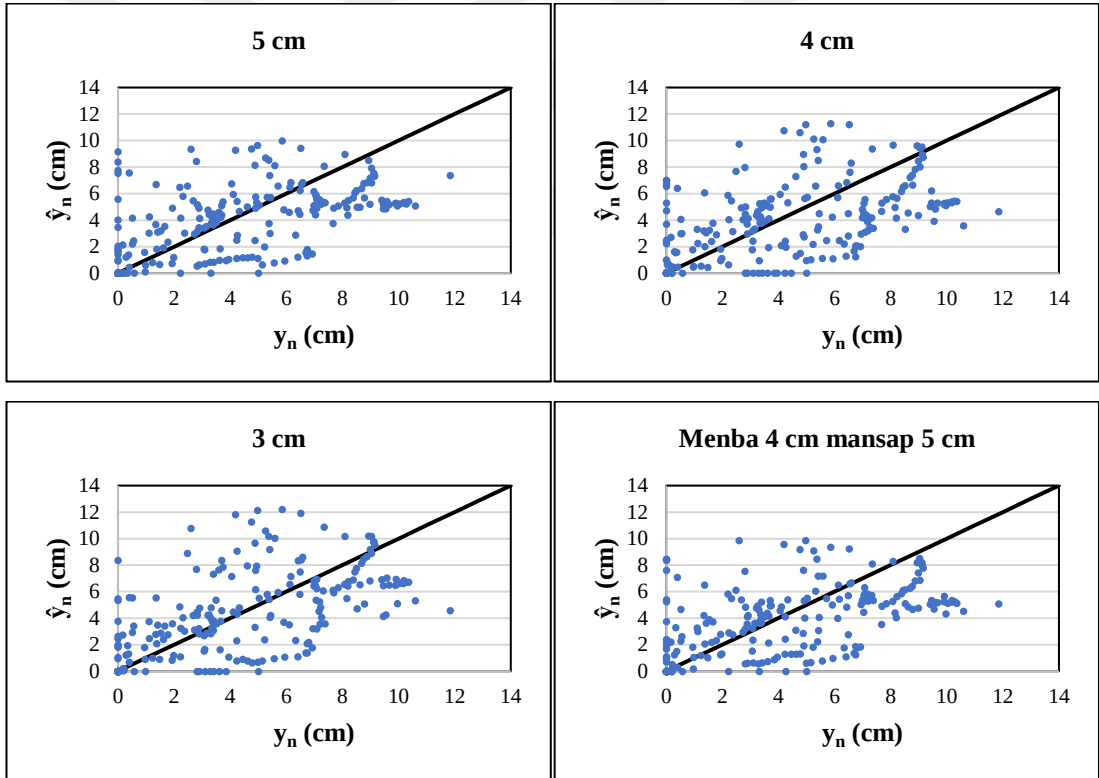


Şekil 6.13 Bitki örtülü durumda farklı hücre boyutları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması



Şekil 6.13 Devamı

Şekil 6.13'te verilen farklı hücre boyutları için hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n) Şekil 6.14'te verilmektedir.



Şekil 6.14 Bitki örtülü durumda farklı hücre boyutları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)

Şekil 6.14'te farklı hücre boyutları için ayrı ayrı verilen $N=248$ 'er adet veri kullanılarak RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri hesaplanmıştır (Tablo 6.6).

Tablo 6.6 Bitki örtülü durumda farklı hücre boyutları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri

Hücre Boyutu	RMSE (cm)	MAE (cm)	R^2
5 cm	2,7	1,9	0,33
4 cm	2,9	2,2	0,23
3 cm	2,7	1,9	0,32
Menba 4 cm mansap 5 cm	2,8	2,0	0,29

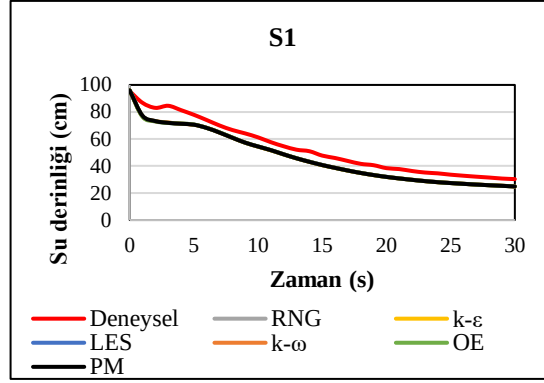
Yapılan istatistiksel çalışma sonucunda $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 5$ cm'lik hücre boyutunun en uyumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

6.3 Farklı Türbülans Modellerinin Kullanılması

Yeniden normalleştirilmiş grup modeli (renormalized group model - RNG), iki denklemlili $k-\varepsilon$ modeli (two-equation $k-\varepsilon$ model), büyük çevrinti simülasyon modeli (large eddy simulation model - LES), iki denklemlili $k-\omega$ modeli (two-equation $k-\omega$ model), bir denklemlili model (one-equation model - OE) ve Prandtl karışım uzunluğu modeli (Prandtl mixing length model - PM) türbülans modelleri kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda; menba başlangıç sınır şartı olarak baraj gölü ve zemin pürüzlülüğü olarak 1 mm kullanılmıştır. Modelin menba ve mansap bölgesi $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 5$ cm hücre boyutuna sahip hücrelere bölünmüştür.

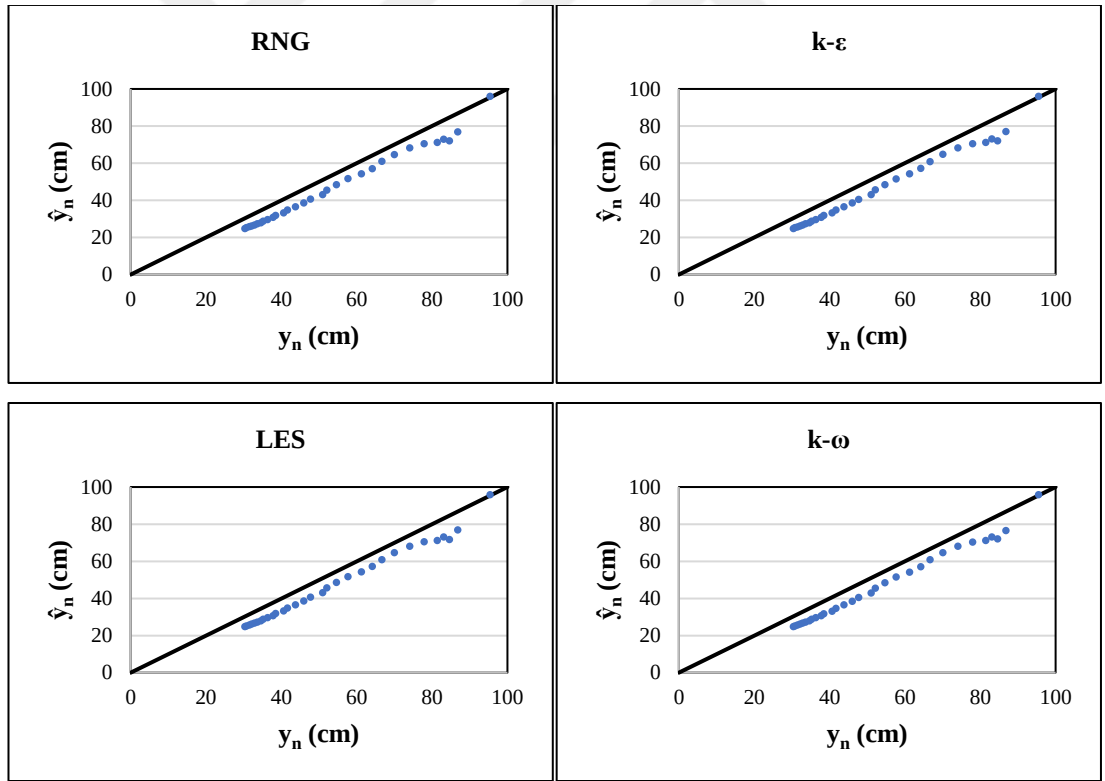
6.3.1 Bitki Örtüsüz Durumda Farklı Türbülans Modellerinin Kullanılması

Bitki örtüsüz durumda farklı türbülans modelleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması Şekil 6.15'te verilmektedir.

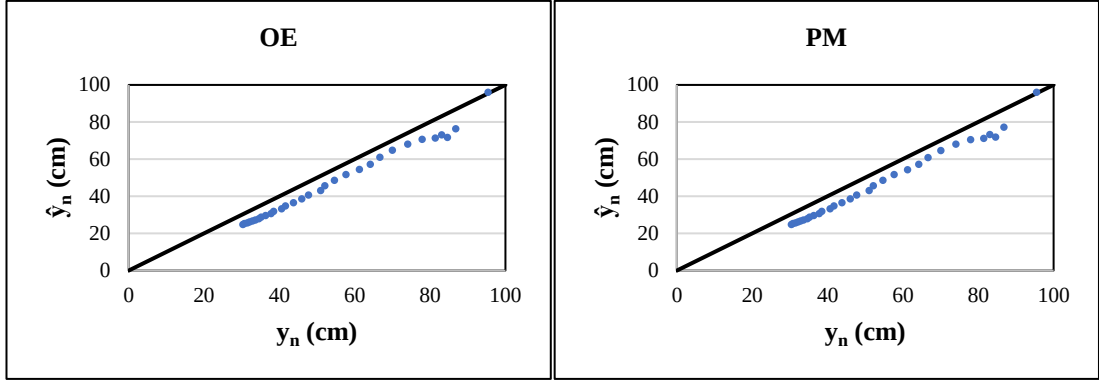


Şekil 6.15 Bitki örtüsüz durumda farklı türbülans modelleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneySEL bulguların karşılaştırılması

Şekil 6.15'te verilen farklı türbülans modelleri için S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n) Şekil 6.16'da verilmektedir.



Şekil 6.16 Bitki örtüsüz durumda farklı türbülans modelleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)



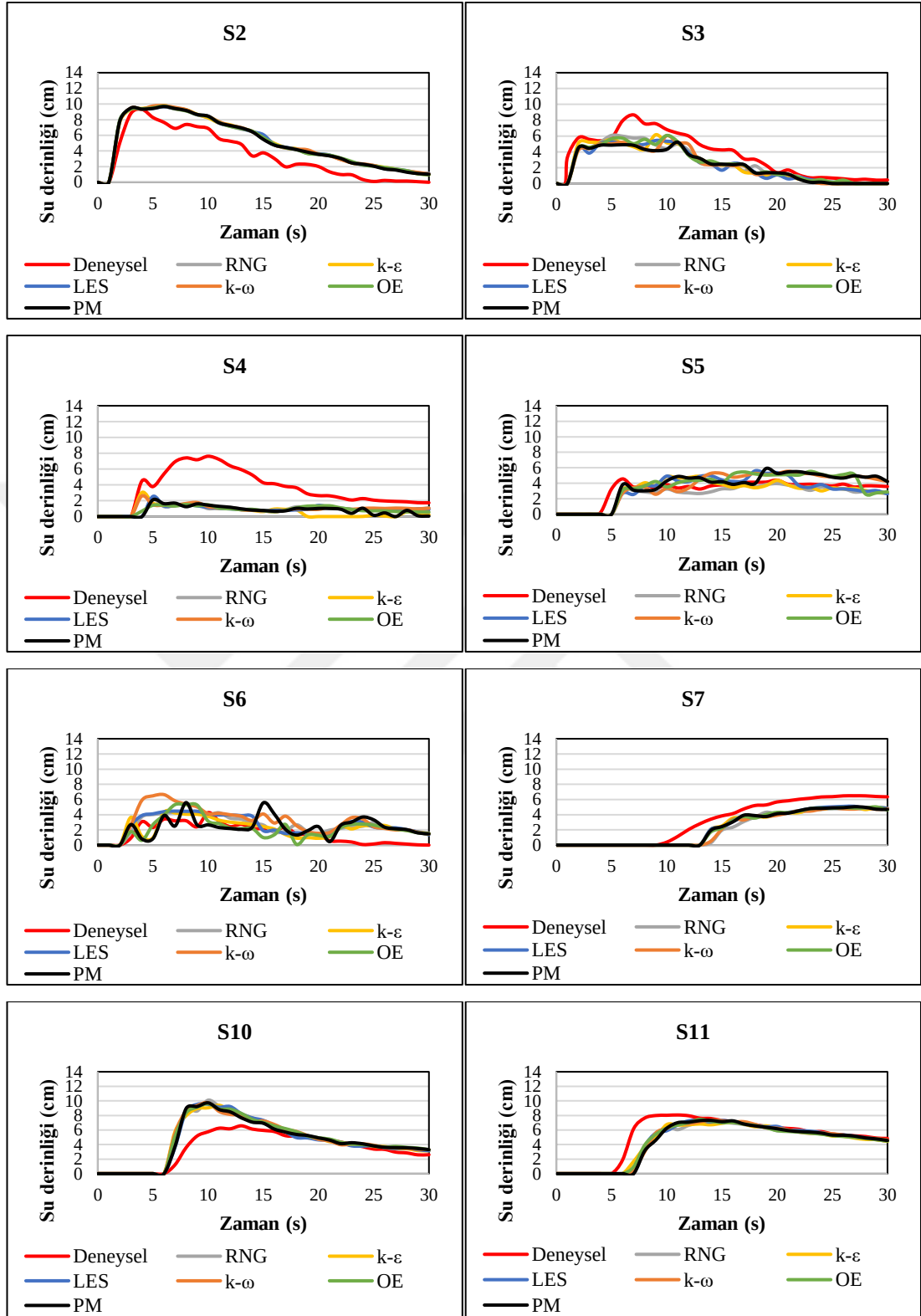
Şekil 6.16 Devamı

Şekil 6.16’da farklı türbülans modelleri için ayrı ayrı verilen $N=31$ ’er adet veri kullanılarak RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri hesaplanmıştır (Tablo 6.7).

Tablo 6.7 Bitki örtüsüz durumda farklı türbülans modelleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri

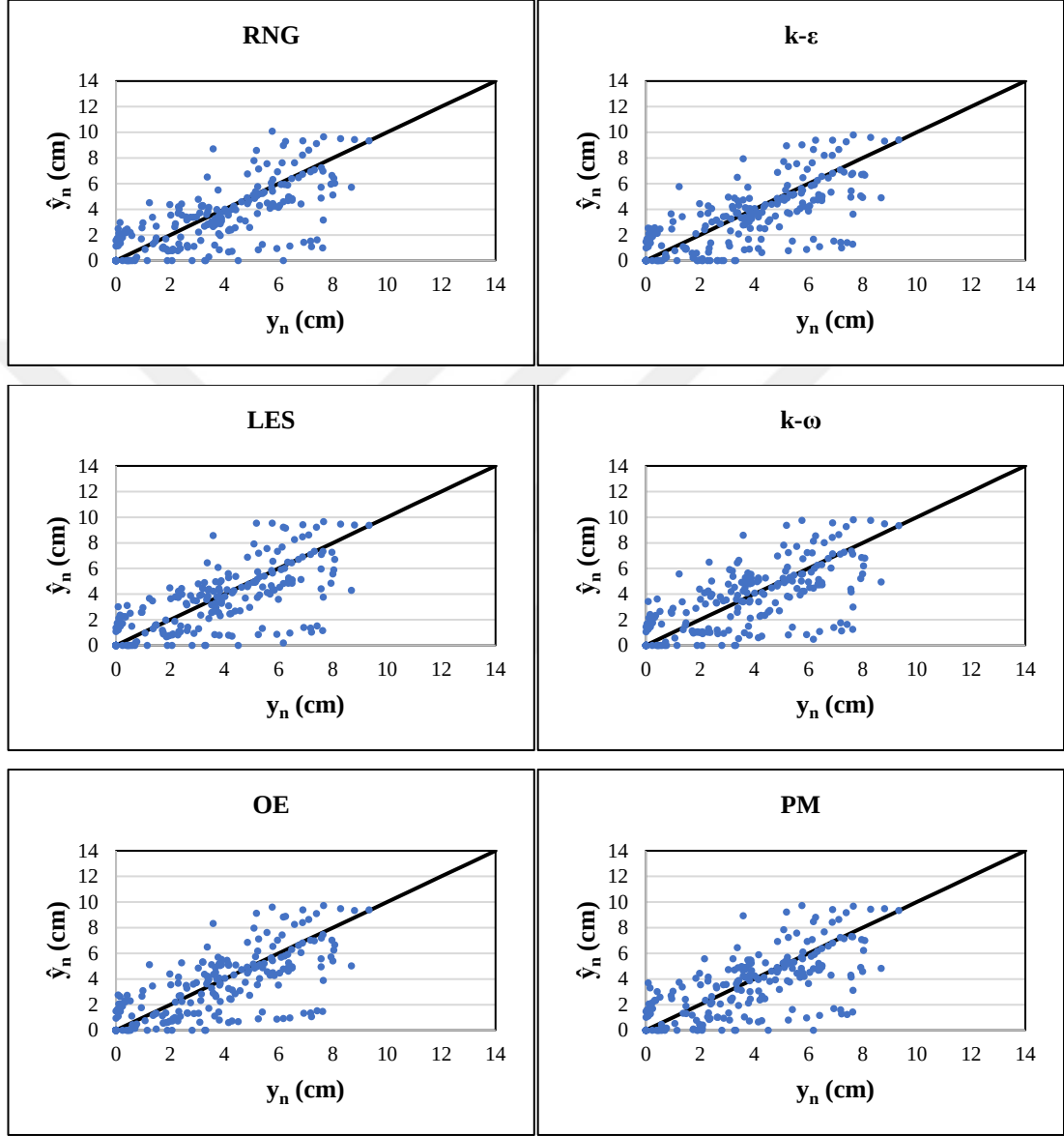
Türbülans Modeli	RMSE (cm)	MAE (cm)	R^2
RNG	7,0	6,8	0,87
k- ϵ	7,0	6,8	0,87
LES	7,0	6,7	0,87
k- ω	7,0	6,8	0,87
OE	7,1	6,8	0,87
PM	7,0	6,8	0,87

Bitki örtüsüz durumda farklı türbülans modelleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması Şekil 6.17’de verilmektedir.



Şekil 6.17 Bitki örtüsüz durumda farklı türbülans modelleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deney bulguların karşılaştırılması

Şekil 6.17’de verilen farklı türbülans modelleri için farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n) Şekil 6.18’de verilmektedir.



Şekil 6.18 Bitki örtüsüz durumda farklı türbülans modelleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)

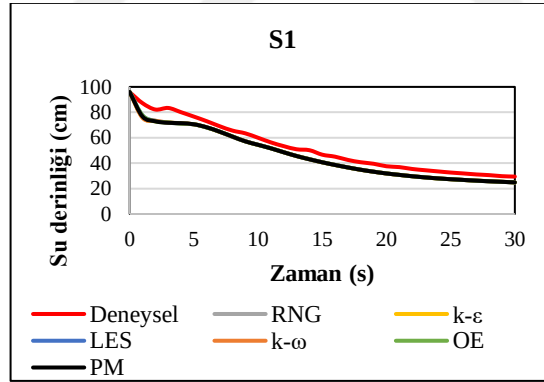
Şekil 6.18’de farklı türbülans modelleri için ayrı ayrı verilen $N=248$ ’er adet veri kullanılarak RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri hesaplanmıştır (Tablo 6.8).

Tablo 6.8 Bitki örtüsüz durumda farklı türbülans modelleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri

Türbülans Modeli	RMSE (cm)	MAE (cm)	R^2
RNG	1,8	1,3	0,49
k- ϵ	1,8	1,3	0,49
LES	1,8	1,3	0,48
k- ω	1,9	1,4	0,45
OE	1,8	1,3	0,49
PM	1,9	1,3	0,46

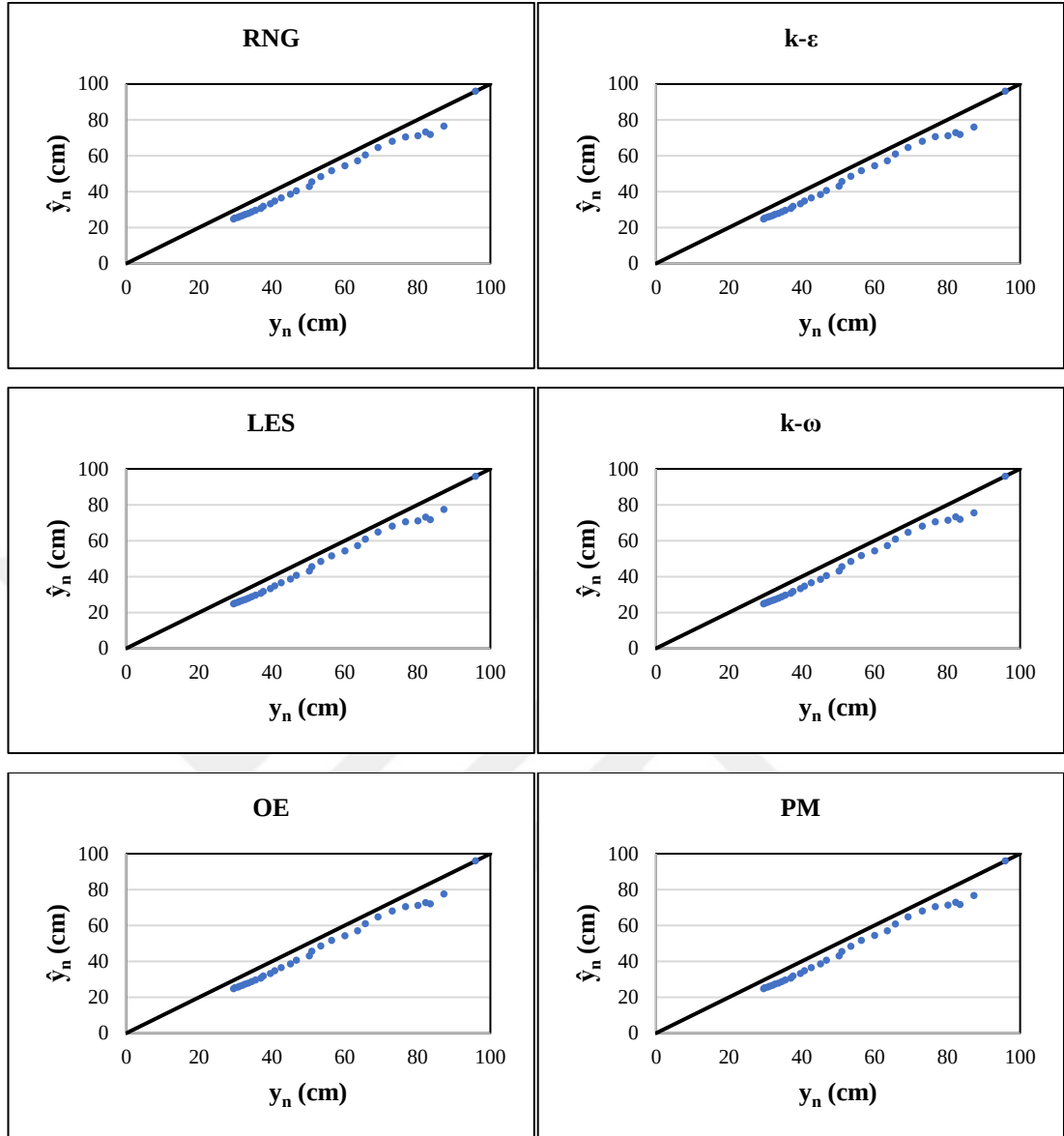
6.3.2 Bitki Örtülü Durumda Farklı Türbülans Modellerinin Kullanılması

Bitki örtülü durumda farklı türbülans modelleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması Şekil 6.19'da verilmektedir.



Şekil 6.19 Bitki örtülü durumda farklı türbülans modelleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması

Şekil 6.19'da verilen farklı türbülans modelleri için S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n) Şekil 6.20'de verilmektedir.



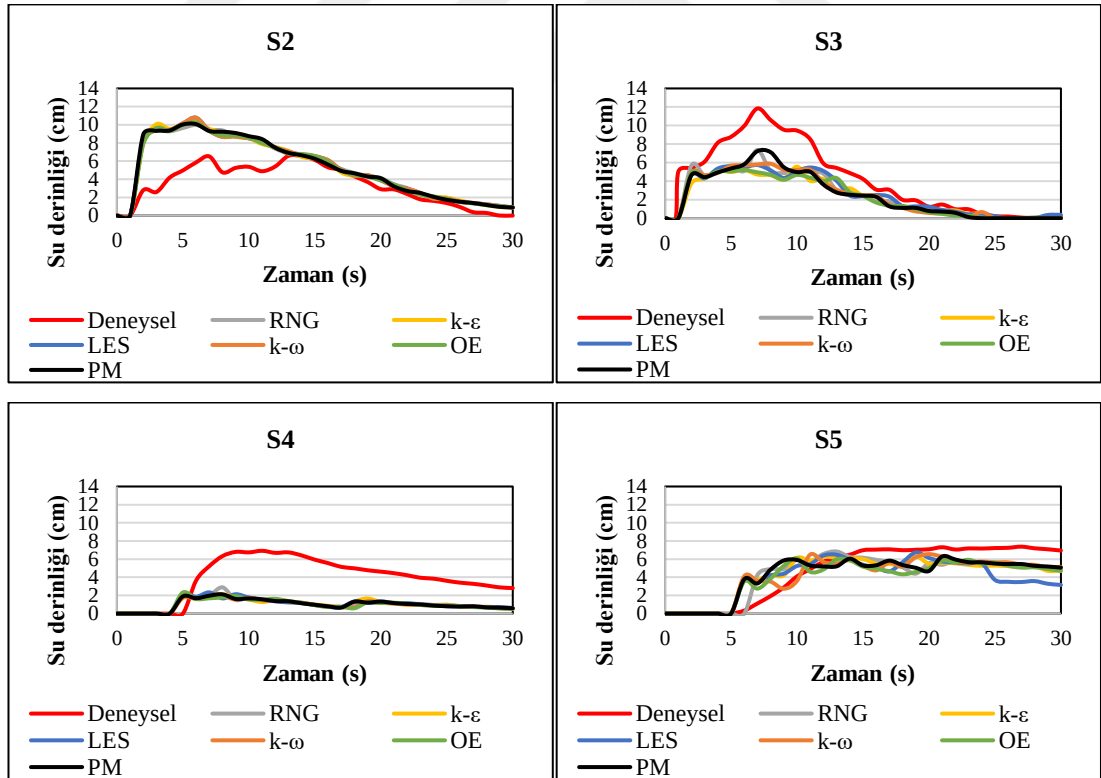
Şekil 6.20 Bitki örtülü durumda farklı türbülans modelleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)

Şekil 6.20’de farklı türbülans modelleri için ayrı ayrı verilen $N=31$ ’er adet veri kullanılarak RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri hesaplanmıştır (Tablo 6.9).

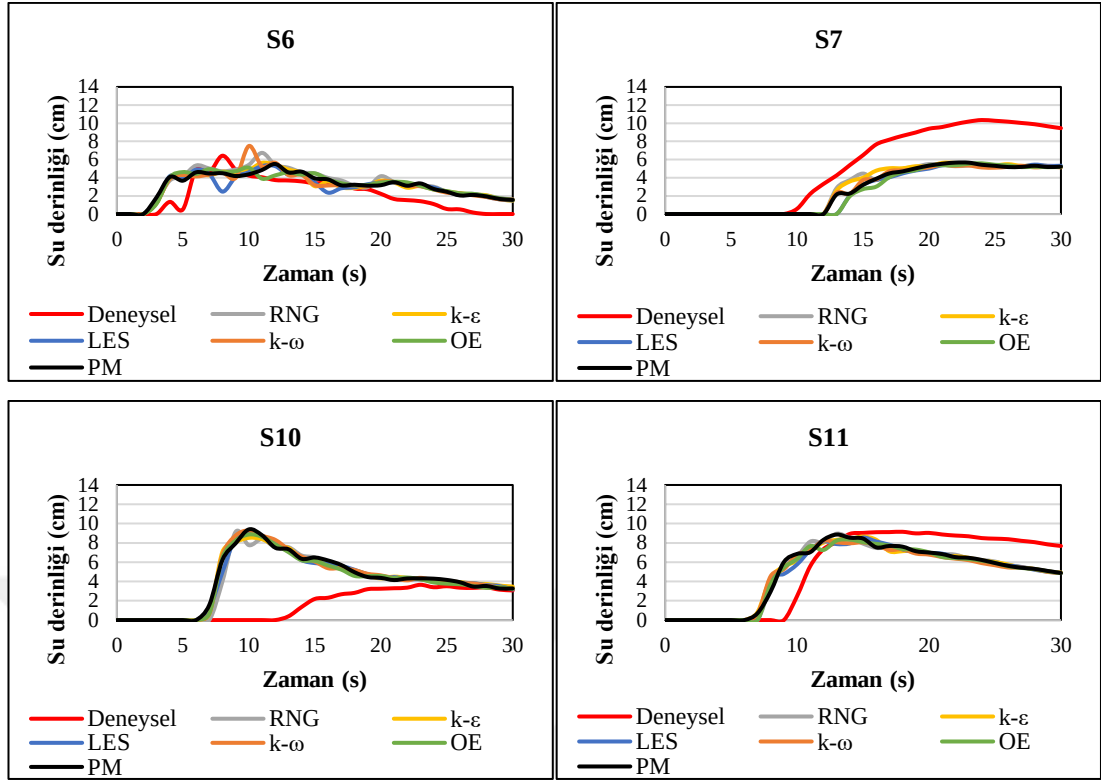
Tablo 6.9 Bitki örtülü durumda farklı türbülans modelleri için menba bölgesindeki S1 noktasında hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri

Türbülans Modeli	RMSE (cm)	MAE (cm)	R^2
RNG	6,2	5,9	0,90
k- ϵ	6,3	5,9	0,90
LES	6,2	5,8	0,90
k- ω	6,2	5,9	0,90
OE	6,2	5,9	0,90
PM	6,2	5,9	0,90

Bitki örtülü durumda farklı türbülans modelleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması Şekil 6.21’de verilmektedir.

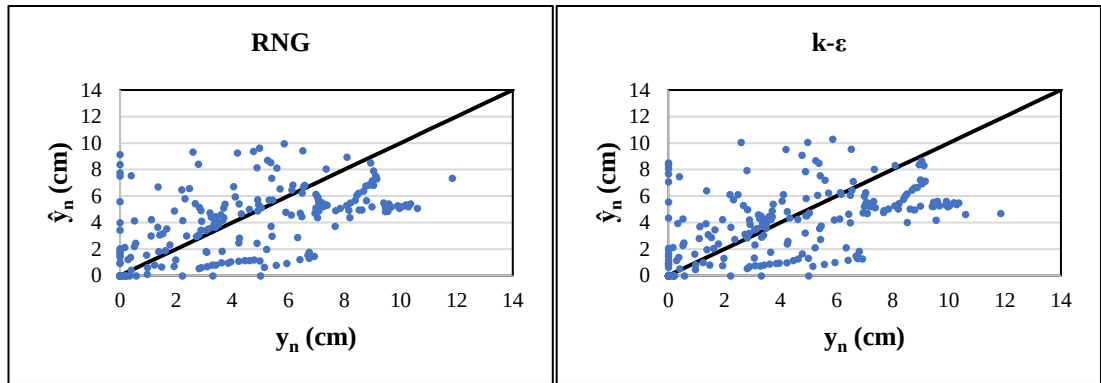


Şekil 6.21 Bitki örtülü durumda farklı türbülans modelleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması

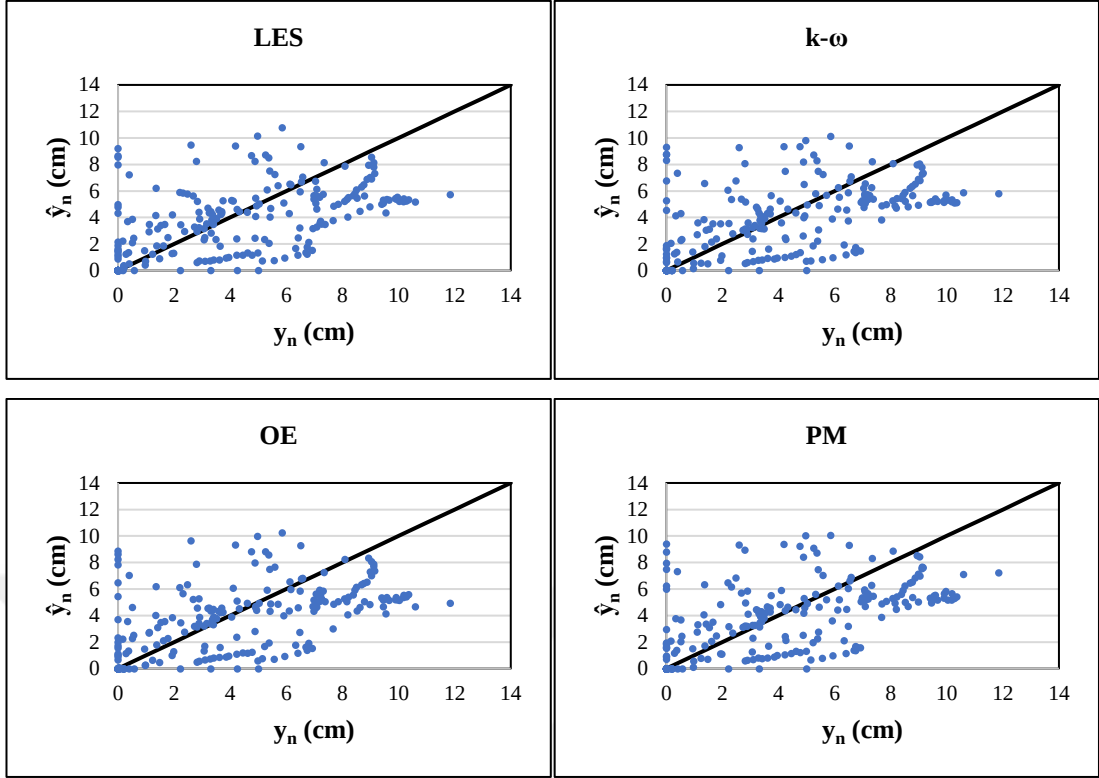


Şekil 6.21 Devamı

Şekil 6.21’de verilen farklı türbülans modelleri için farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n) Şekil 6.22’de verilmektedir.



Şekil 6.22 Bitki örtülü durumda farklı türbülans modelleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)



Şekil 6.22 Devamı

Şekil 6.22’de farklı türbülans modelleri için ayrı ayrı verilen $N=248$ ’er adet veri kullanılarak RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri hesaplanmıştır (Tablo 6.10).

Tablo 6.10 Bitki örtülü durumda farklı türbülans modelleri için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri

Türbülans Modeli	RMSE (cm)	MAE (cm)	R^2
RNG	2,7	2,0	0,33
k- ϵ	2,8	2,0	0,30
LES	2,8	2,0	0,28
k- ω	2,8	2,0	0,29
OE	2,8	2,0	0,28
PM	2,7	2,0	0,31

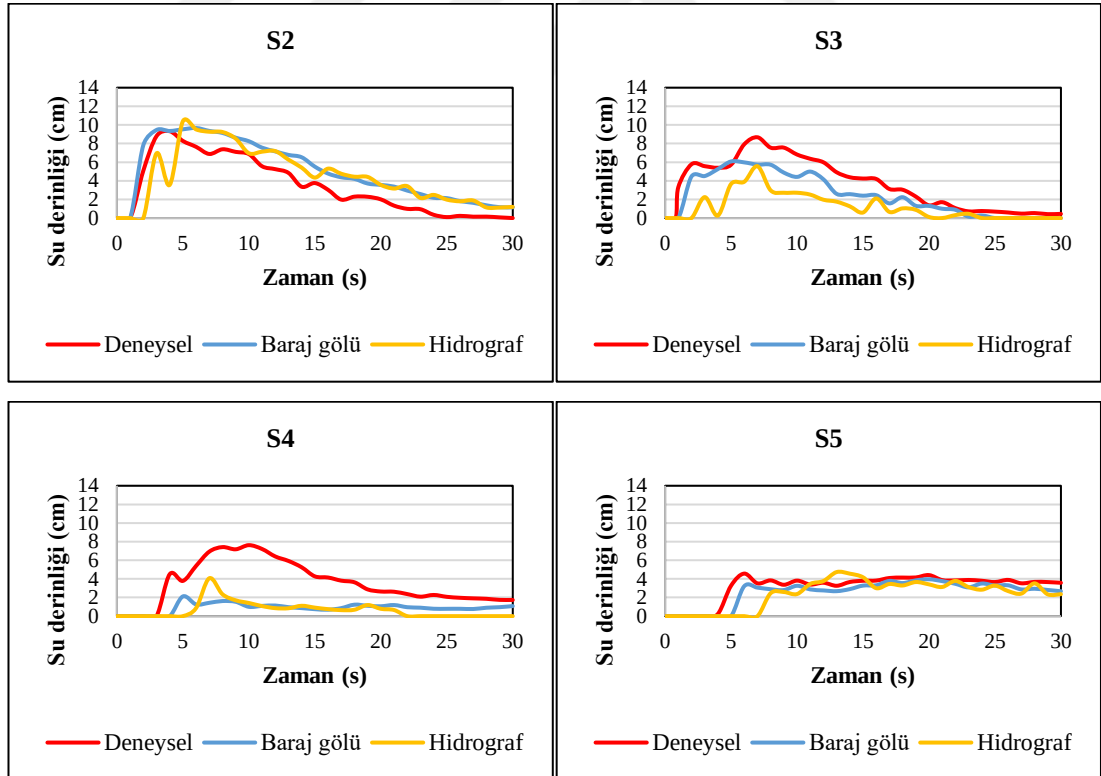
Yapılan istatistiksel çalışma sonucunda RNG türbülans modelinin en uyumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

6.4 Farklı Menba Başlangıç Sınır Şartlarının Kullanılması

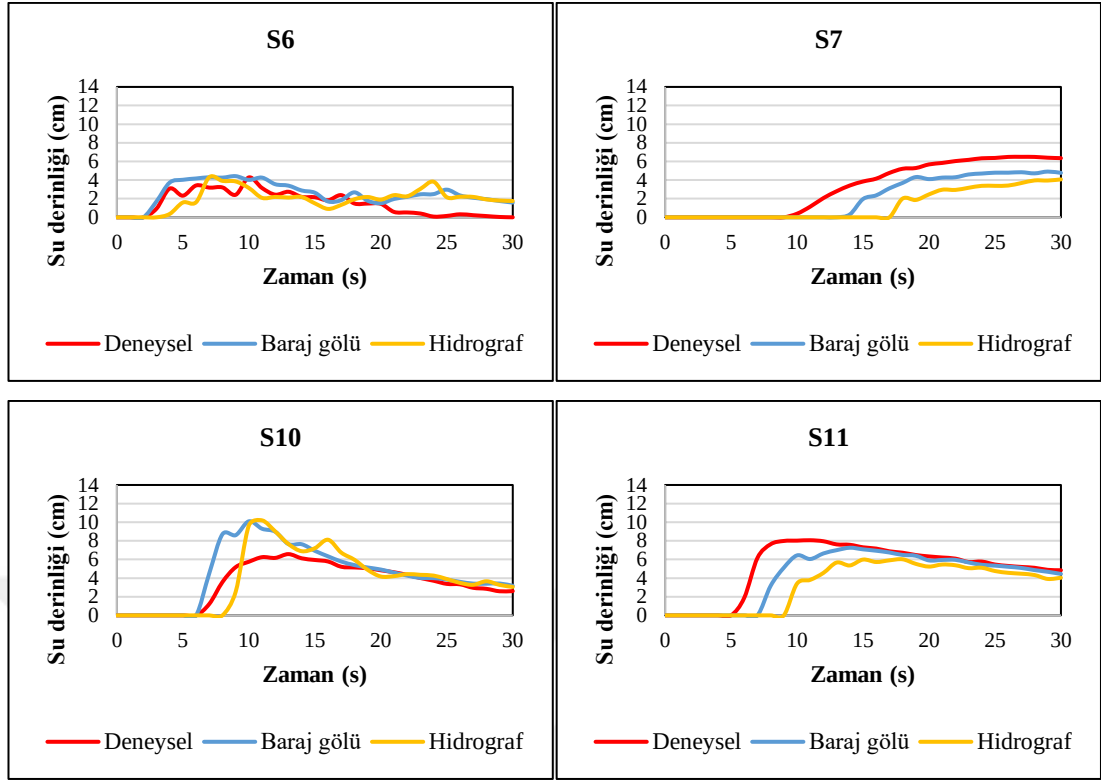
Baraj gölü ve hidrograf menba başlangıç sınır şartları kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda; yukarıdaki anlatılan istatistiksel çalışma sonuçlarına uygun olarak zemin pürüzlülüğü olarak 1 mm ve türbülans modeli olarak RNG kullanılmıştır. Modelin menba ve mansap bölgesi $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 5$ cm hücre boyutuna sahip hücrelere bölünmüştür.

6.4.1 Bitki Örtüsüz Durumda Farklı Menba Başlangıç Sınır Şartlarının Kullanılması

Bitki örtüsüz durumda farklı menba başlangıç sınır şartları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması Şekil 6.23'te verilmektedir.

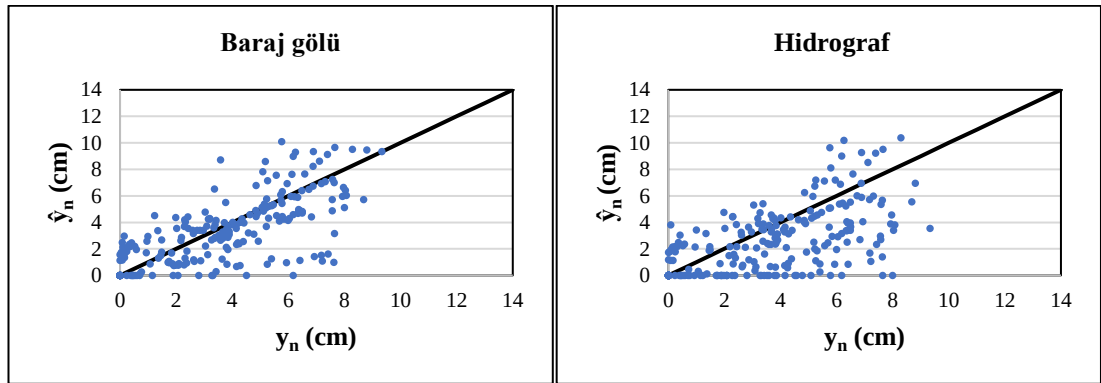


Şekil 6.23 Bitki örtüsüz durumda farklı menba başlangıç sınır şartları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması



Şekil 6.23 Devamı

Şekil 6.23'te verilen farklı menba başlangıç sınır şartları için farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n) Şekil 6.24'te verilmektedir.



Şekil 6.24 Bitki örtüsüz durumda farklı menba başlangıç sınır şartları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)

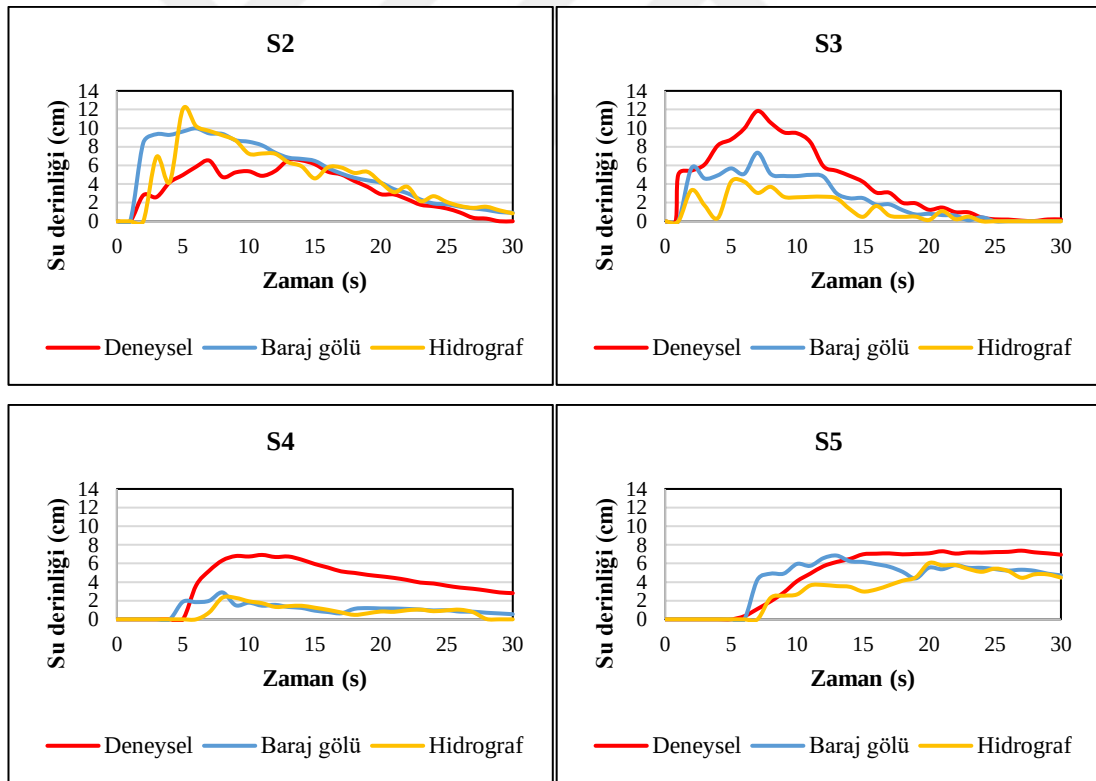
Şekil 6.24'te farklı menba başlangıç sınır şartları için ayrı ayrı verilen $N=248$ 'er adet veri kullanılarak RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri hesaplanmıştır (Tablo 6.11).

Tablo 6.11 Bitki örtüsüz durumda farklı menba başlangıç sınır şartları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri

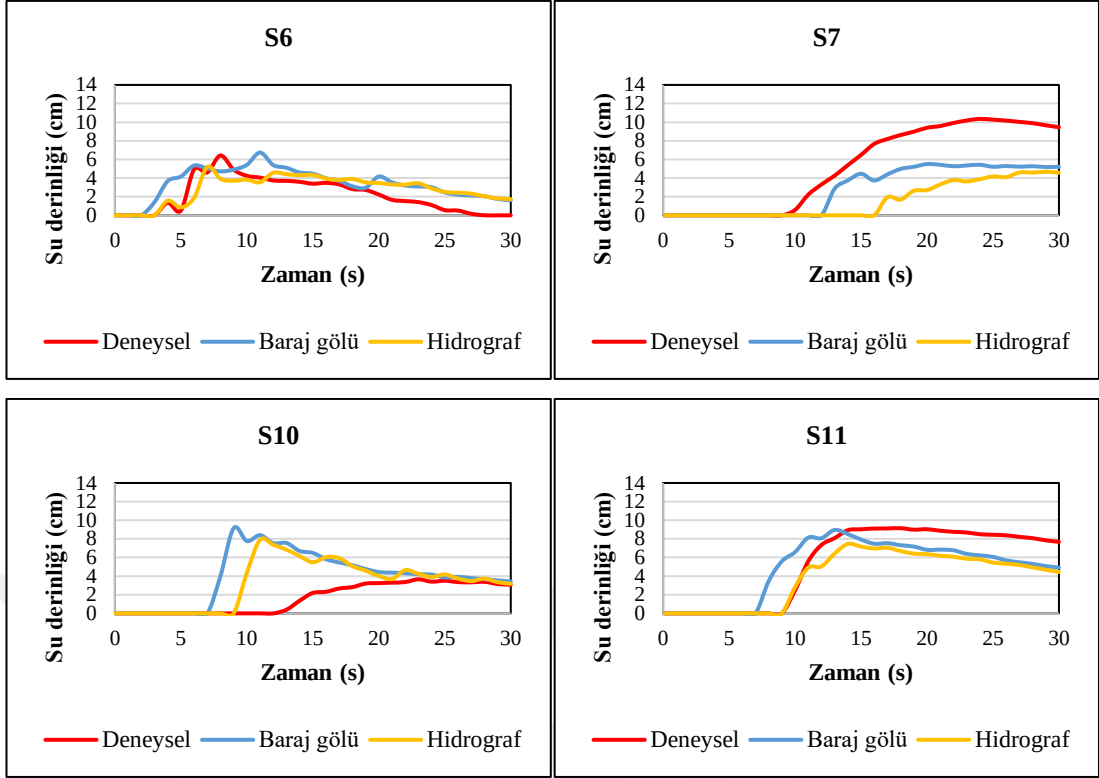
Menba Başlangıç Sınır Şartı	RMSE (cm)	MAE (cm)	R^2
Baraj gölü	1,8	1,3	0,49
Hidrograf	2,4	1,8	0,14

6.4.2 Bitki Örtülü Durumda Farklı Menba Başlangıç Sınır Şartlarının Kullanılması

Bitki örtülü durumda farklı menba başlangıç sınır şartları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması Şekil 6.25'te verilmektedir.

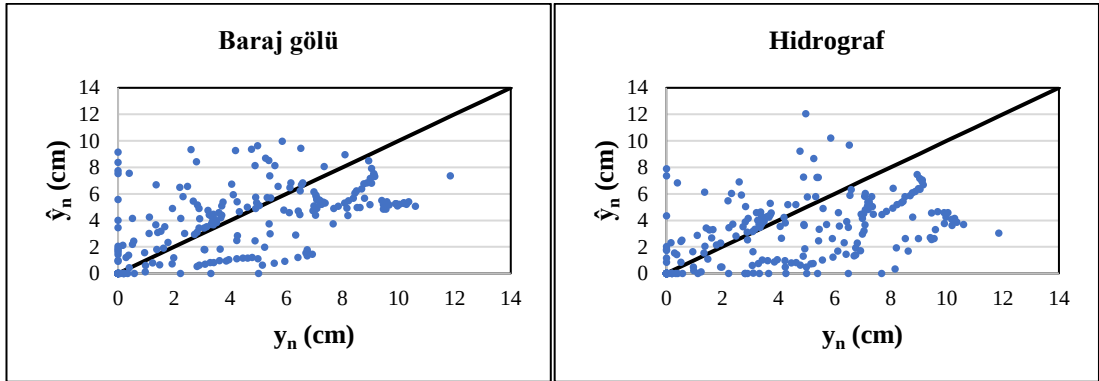


Şekil 6.25 Bitki örtülü durumda farklı menba başlangıç sınır şartları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneysel bulguların karşılaştırılması



Şekil 6.25 Devamı

Şekil 6.25’te verilen farklı menba başlangıç sınır şartları için farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n) Şekil 6.26’da verilmektedir.



Şekil 6.26 Bitki örtülü durumda farklı menba başlangıç sınır şartları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ($\hat{y}_n$) ve bu değerlere karşılık gelen ölçülen su derinlikleri (y_n)

Şekil 6.26’da farklı menba başlangıç sınır şartları için ayrı ayrı verilen $N=248$ ’er adet veri kullanılarak RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri hesaplanmıştır (Tablo 6.12).

Tablo 6.12 Bitki örtülü durumda farklı menba başlangıç sınır şartları için mansap bölgesindeki farklı noktalarda hesaplanan RMSE, MAE ve R^2 ölçütleri

Menba Başlangıç Sınır Şartı	RMSE (cm)	MAE (cm)	R^2
Baraj gölü	2,7	2,0	0,33
Hidrograf	3,0	2,2	0,16

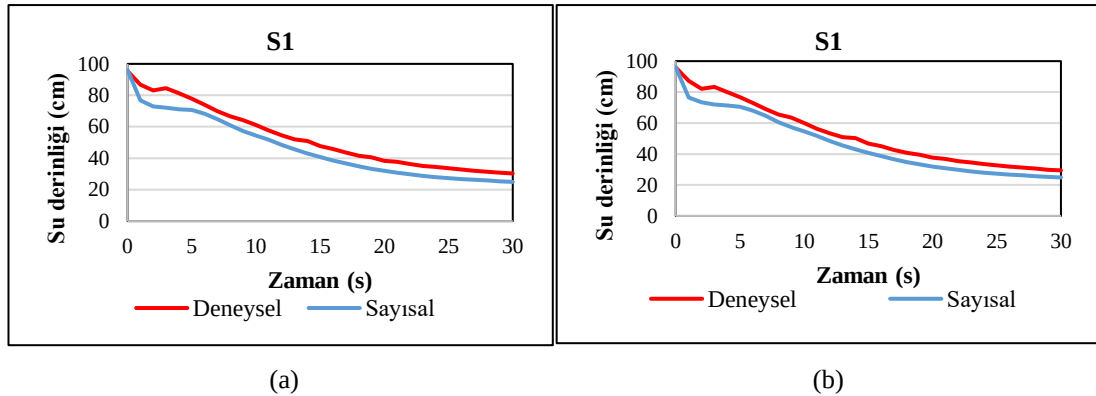
Yapılan istatistiksel çalışma sonucunda baraj gölü menba başlangıç sınır şartının en uyumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

6.5 Bitki Örtüsüz ve Bitki Örtülü Durumlarda En Uyumlu Sonuçları Veren Sayısal Modellere Ait Bulguların Deneyisel Bulgularla Karşılaştırılması

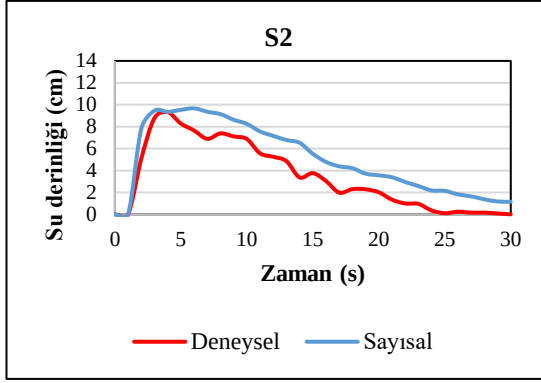
Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda en uyumlu sonuçları veren sayısal modeller; menba başlangıç sınır şartının baraj gölü, zemin pürüzlülüğünün 1 mm, hücre boyutunun $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 5$ cm ve türbülans modelinin RNG olduğu modellerdir. Bu sayısal modellerden hesaplanan su derinlikleri ve hız değerleri deneyisel bulgularla karşılaştırılmıştır.

6.5.1 Farklı Noktalardaki Su Derinliklerinin Karşılaştırılması

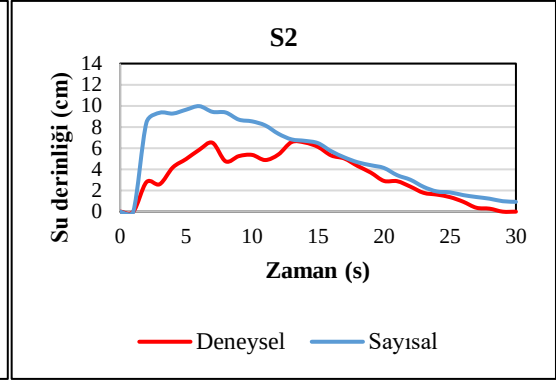
Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda hesaplanan su derinliklerinin deneyisel bulgularla karşılaştırılması Şekil 6.27’de verilmektedir.



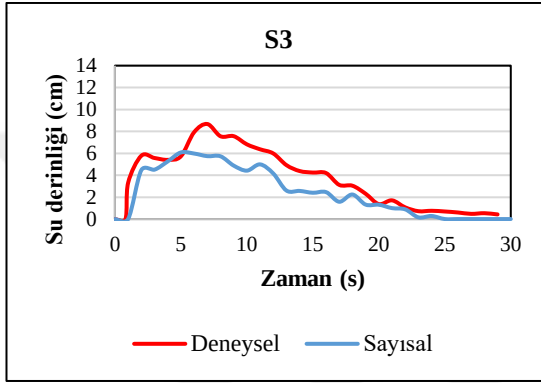
Şekil 6.27 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda hesaplanan su derinlikleri ile deneyisel bulguların karşılaştırılması (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü



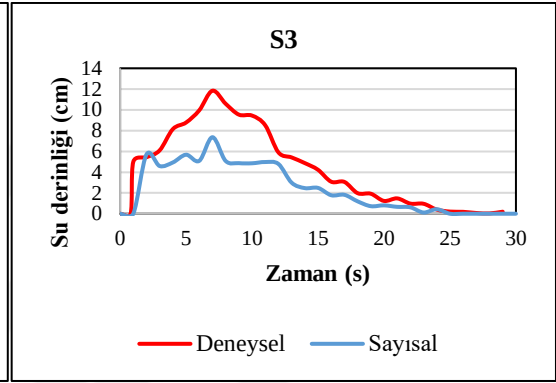
(a)



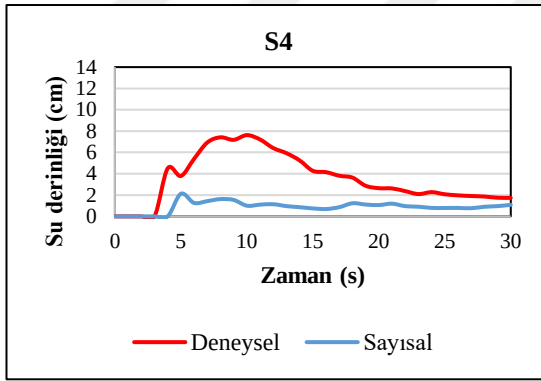
(b)



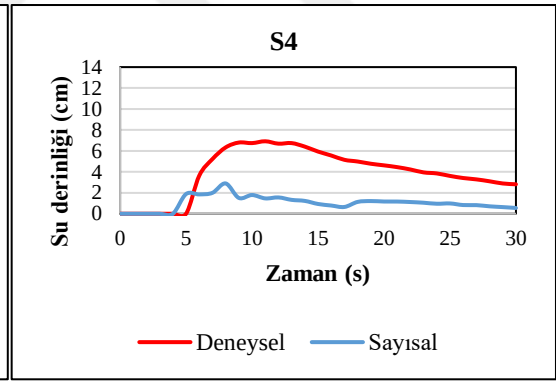
(a)



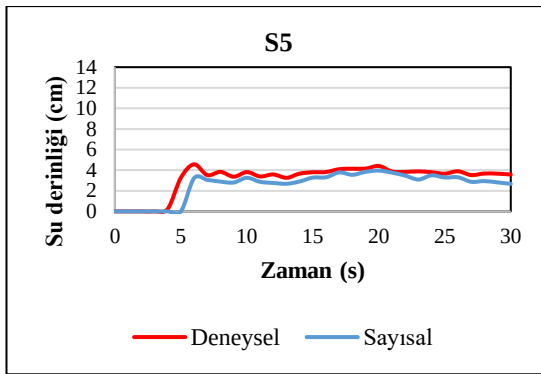
(b)



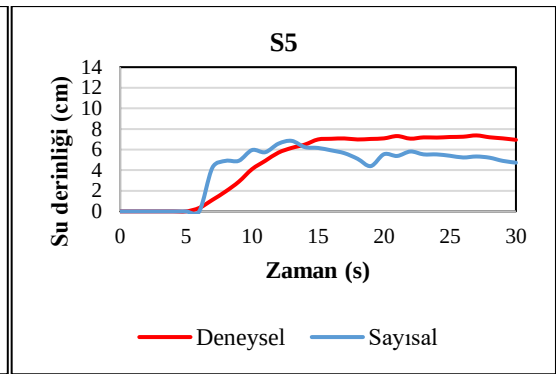
(a)



(b)

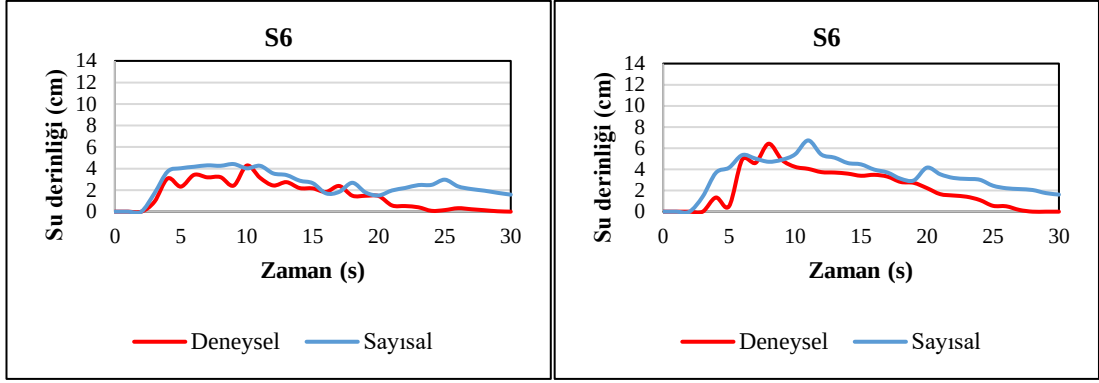


(a)



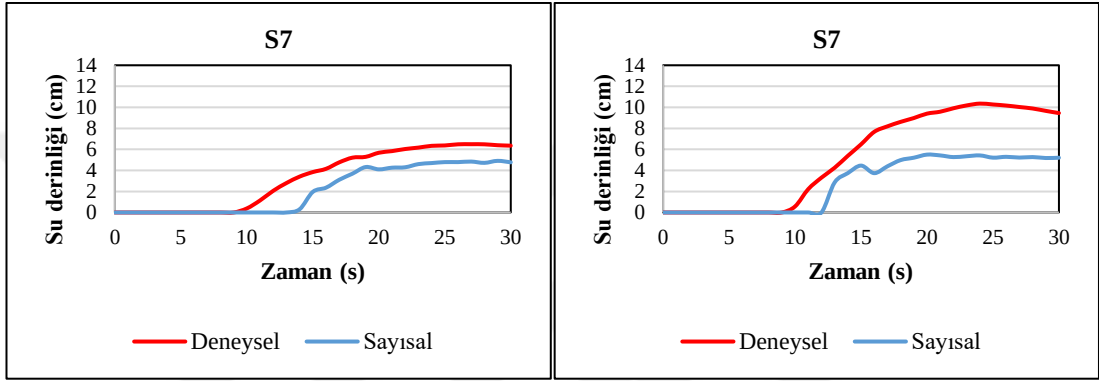
(b)

Şekil 6.27 Devamı



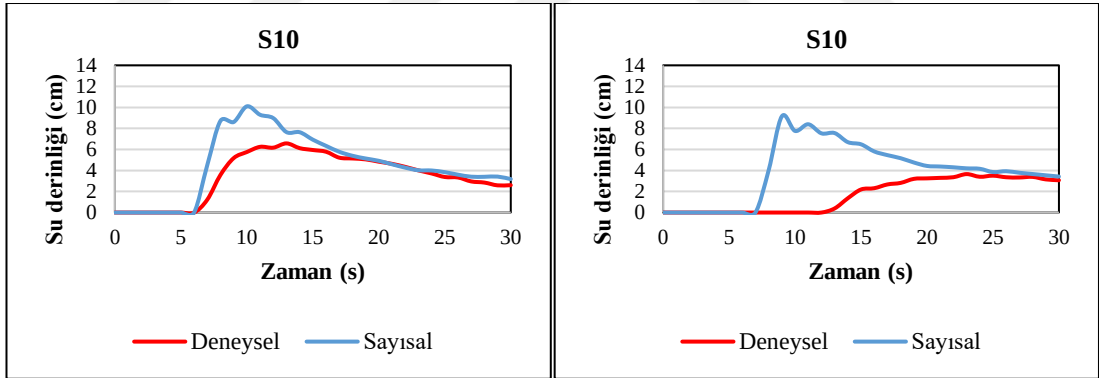
(a)

(b)



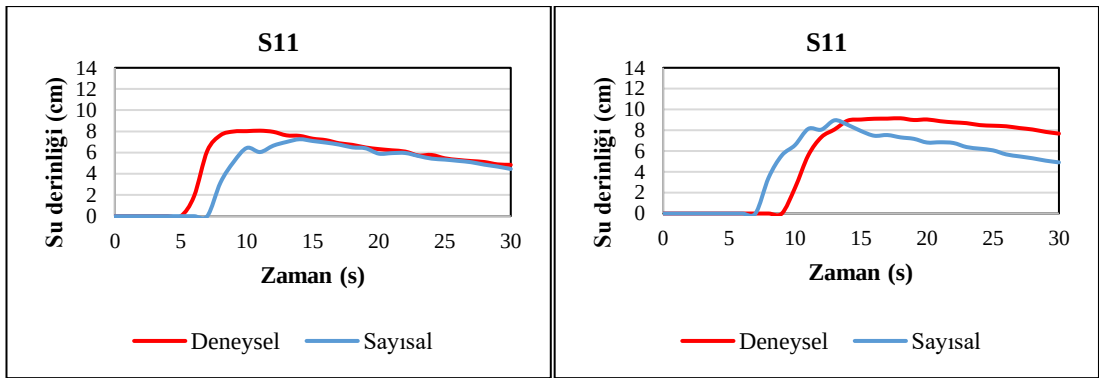
(a)

(b)



(a)

(b)



(a)

(b)

Şekil 6.27 Devamı

Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda deneysel çalışmalardan elde edilen maksimum su derinlikleri, bu derinliklere ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler Tablo 6.13'te görülmektedir.

Tablo 6.13 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda deneysel çalışmalardan elde edilen maksimum su derinlikleri, bu derinliklere ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler

Nokta	Bitki Örtüsüz		Bitki Örtülü		Değişim	
	Maksimum Su Derinliği (cm)	Maksimum Su Derinliğine Ulaşma Süresi (s)	Maksimum Su Derinliği (cm)	Maksimum Su Derinliğine Ulaşma Süresi (s)	Maksimum Su Derinliği (%)	Maksimum Su Derinliğine Ulaşma Süresi (%)
S2	9,30	4	6,60	13	-%29	+%225
S3	8,70	7	11,80	7	+%36	-
S4	7,60	10	6,90	11	-%9	+%10
S5	4,60	6	7,30	21	+%59	+%250
S6	4,30	10	6,40	8	+%49	-%20
S7	6,50	26	10,40	24	+%60	-%8
S10	6,60	13	3,70	23	-%44	+%77
S11	8,10	11	9,20	18	+%14	+%64

Deneysel çalışmalardan elde edilen bulgulara göre; sol sahilde maksimum su derinliklerinde %60'a varan artışlar görülmüştür. Sağ sahilde ise denize yakın bölgede %44'e varan azalmalar gözlenmiştir. Maksimum su derinliklerine ulaşma sürelerinde genellikle bir gecikme ölçülmüştür. Bu gecikme orta bölgede %250 mertebesinde iken, denize yakın bölgelerde %64-77 mertebelerindedir. Taşkın bazı noktalarda ise maksimum su derinliğine %8-20 mertebelerinde daha erken ulaşmıştır.

Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda sayısal çalışmalardan elde edilen maksimum su derinlikleri, bu derinliklere ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler Tablo 6.14'te görülmektedir.

Tablo 6.14 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda sayısal çalışmalardan elde edilen maksimum su derinlikleri, bu derinliklere ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler

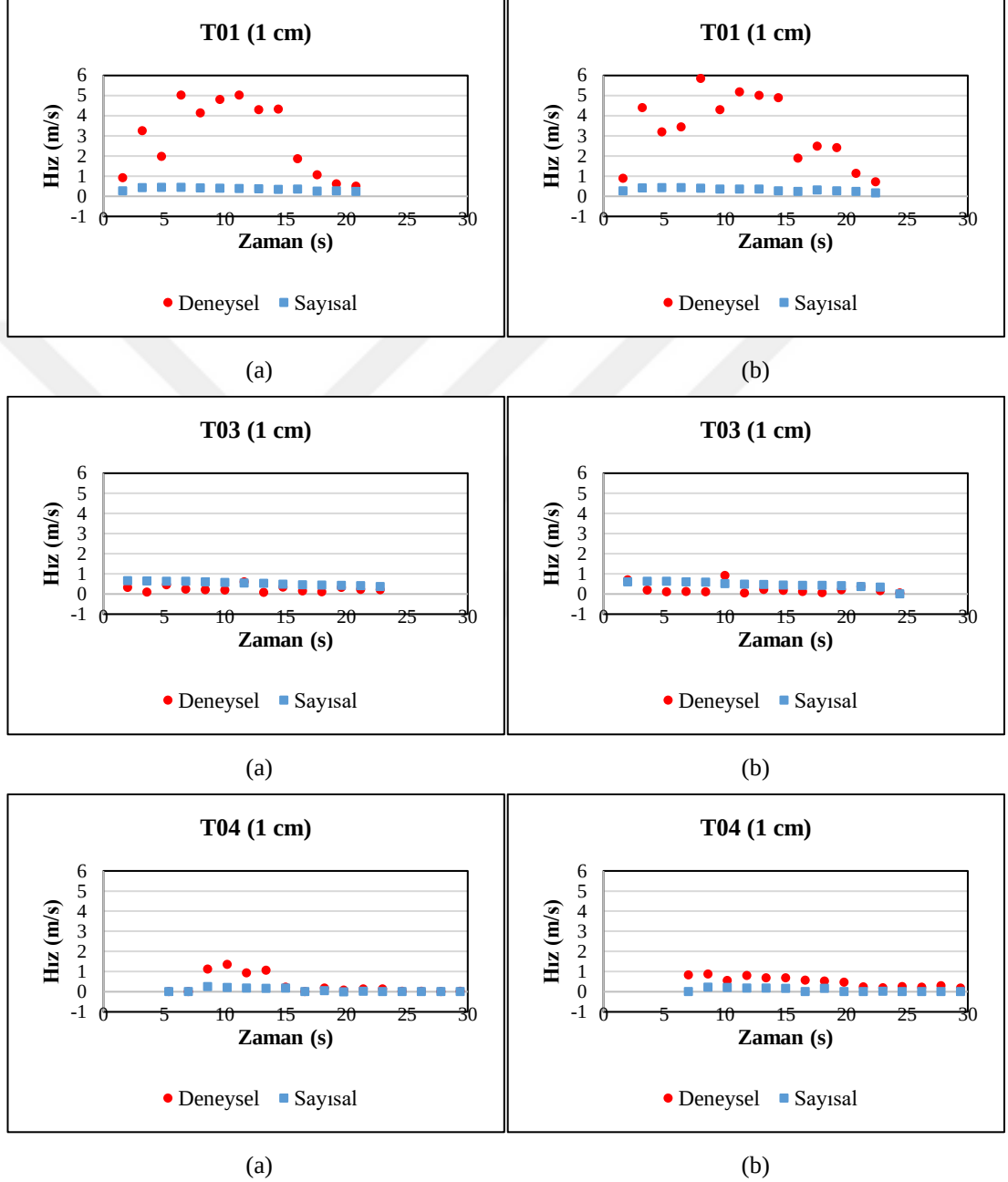
Nokta	Bitki Örtüsüz		Bitki Örtülü		Değişim	
	Maksimum Su Derinliği (cm)	Maksimum Su Derinliğine Ulaşma Süresi (s)	Maksimum Su Derinliği (cm)	Maksimum Su Derinliğine Ulaşma Süresi (s)	Maksimum Su Derinliği (%)	Maksimum Su Derinliğine Ulaşma Süresi (%)
S2	9,67	6	9,97	6	+%3	-
S3	6,08	5	7,37	7	+%21	+%40
S4	2,12	5	2,89	8	+%36	+%60
S5	3,96	20	6,85	13	+%73	-%35
S6	4,42	9	6,74	11	+%53	+%22
S7	4,91	29	5,50	20	+%12	-%31
S10	10,10	10	9,15	9	-%9	-%10
S11	7,26	14	8,96	13	+%23	-%7

Sayısal çalışmalardan elde edilen bulgulara göre; sağ sahilde denize yakın nokta dışında tüm noktalarda maksimum su derinlikleri artmıştır. Bu artış orta bölgelerde en fazla olup, %53-73 mertebelerine kadar ulaşmıştır. Maksimum su derinliklerine ulaşma süreleri açısından sağ ve sol sahile bağlı olarak genel bir eğilim gözlenmemiş olup, sağ sahilde %60'a varan gecikme, sol sahilde %35'e varan erken ulaşma şeklinde sonuçlar elde edilmiştir.

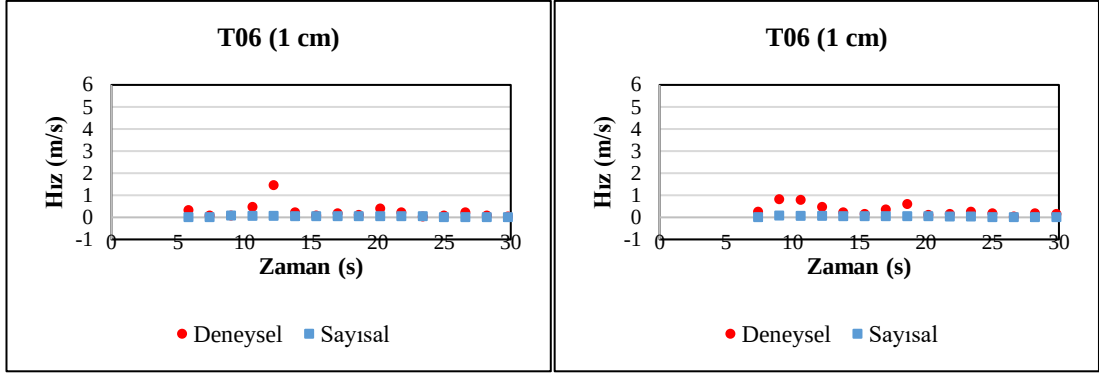
6.5.2 Farklı Noktalardaki Noktasal Hızların Karşılaştırılması

Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda, sayısal çalışmalarda farklı noktalarda hesaplanan 1 cm ve 3 cm su derinliğindeki noktasal hızların deneysel bulgularla karşılaştırılabilmesi için, UVP yönündeki bileşenleri belirlenmiştir. Bu aşamada kullanılan hesap yöntemi ile bitki örtülü durumda T03 noktasında 1 cm su derinliğindeki noktasal hızların UVP yönündeki bileşenlerinin belirlenmesi örnek olarak EK 7'de verilmiştir.

Farklı noktalarda 1 cm ve 3 cm su derinliğinde hesaplanan noktasal hızların UVP yönündeki bileşenleri ile deneysel hızların karşılaştırılması sırasıyla Şekil 6.28 ve 6.29'da verilmektedir.

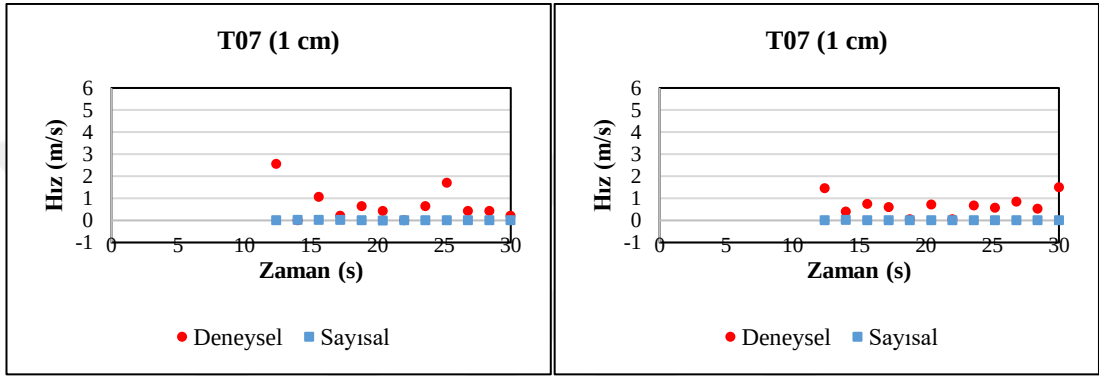


Şekil 6.28 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda 1 cm su derinliğinde hesaplanan noktasal hızların UVP yönündeki bileşenleri ile deneysel hızların karşılaştırılması (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü



(a)

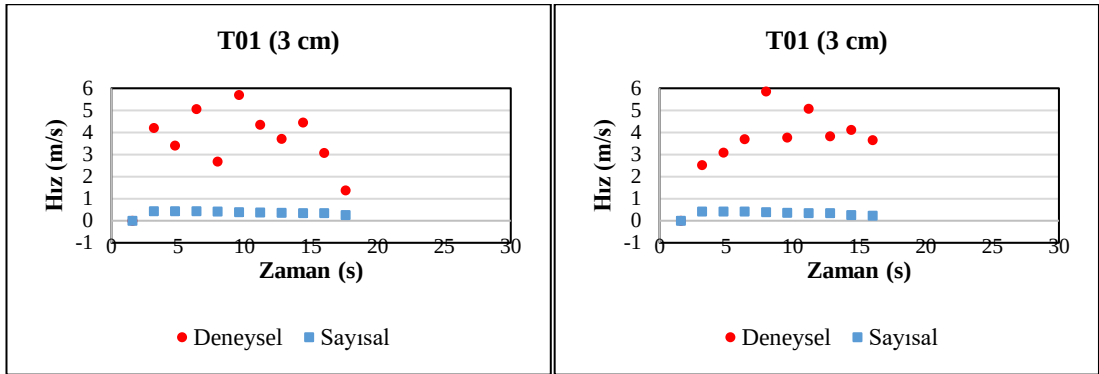
(b)



(a)

(b)

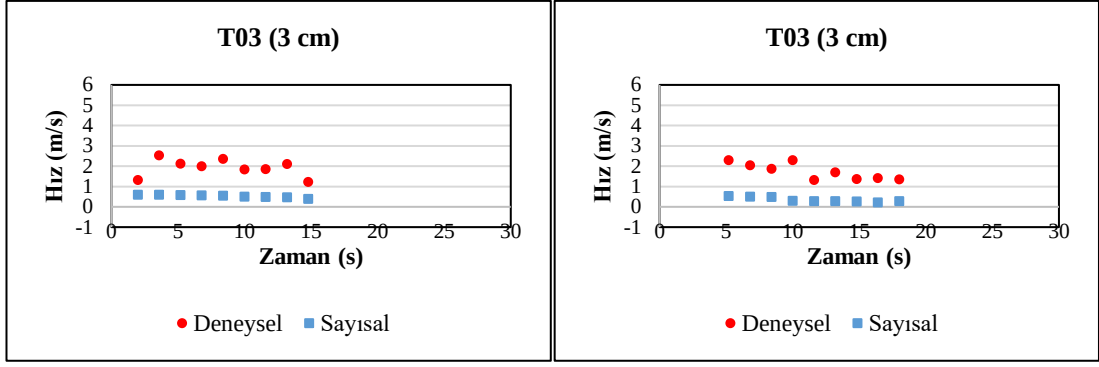
Şekil 6.28 Devamı



(a)

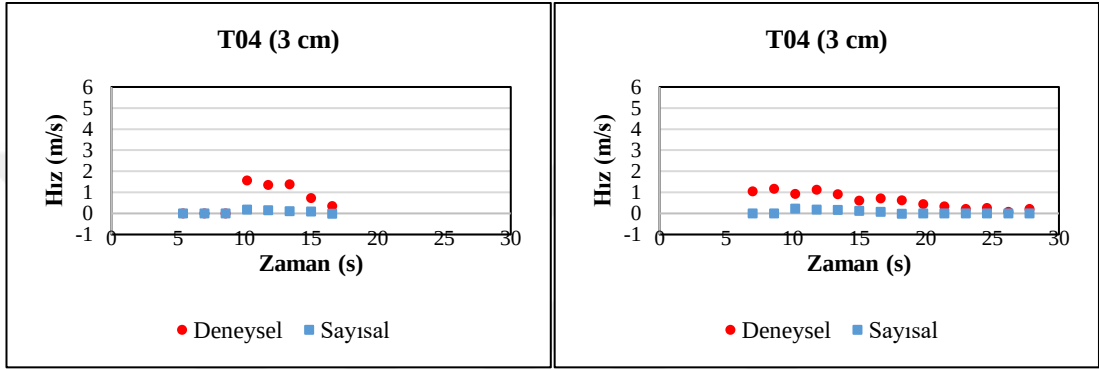
(b)

Şekil 6.29 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda 3 cm su derinliğinde hesaplanan noktasal hızların UVP yönündeki bileşenleri ile deneysel hızların karşılaştırılması (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü



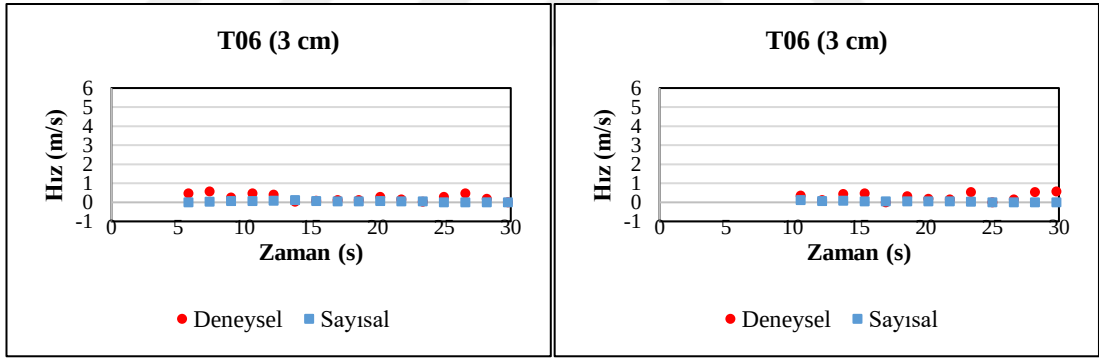
(a)

(b)



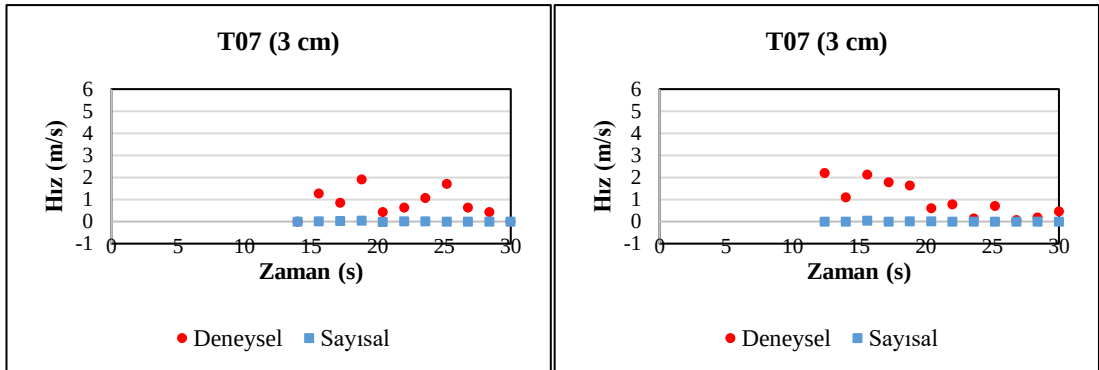
(a)

(b)



(a)

(b)



(a)

(b)

Şekil 6.29 Devamı

Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda 1 cm ve 3 cm su derinliğinde deneysel çalışmalardan elde edilen noktasal hızların UVP yönündeki bileşenlerine ait maksimum hızlar, bu hızlara ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler Tablo 6.15'te görülmektedir.

Tablo 6.15 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda 1 cm ve 3 cm su derinliğinde deneysel çalışmalardan elde edilen noktasal hızların UVP yönündeki bileşenlerine ait maksimum hızlar, bu hızlara ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler

Derinlik	Nokta	Bitki Örtüsüz		Bitki Örtülü		Değişim	
		Maksimum Hız (m/s)	Maksimum Hıza Ulaşma Süresi (s)	Maksimum Hız (m/s)	Maksimum Hıza Ulaşma Süresi (s)	Maksimum Hız (%)	Maksimum Hıza Ulaşma Süresi (%)
1 cm	T01	5,02	6,4	5,85	8	+%17	+%25
	T03	0,60	11,6	0,91	10	+%52	-%14
	T04	1,35	10,2	0,99	5,4	-%27	-%47
	T06	1,45	12,2	0,82	9	-%44	-%26
	T07	2,55	12,4	1,45	12,4	-%43	-
3 cm	T01	5,69	9,6	5,85	8	+%3	-%17
	T03	2,52	3,6	2,28	5,2	-%10	+%44
	T04	1,56	10,2	1,17	8,6	-%25	-%16
	T06	0,57	7,4	0,57	29,8	-	+%303
	T07	1,91	18,8	2,19	12,4	+%15	-%34

Deneysel çalışmalardan elde edilen bulgulara göre; baraja yakın bölgelerde 1 cm su derinliğinde maksimum hızlarda %17-52 mertebelerinde artışlar görülürken, orta bölgelerde %27-44 mertebelerinde azalmalar görülmüştür. Taşkın dalgası maksimum hızlara; sol sahilde baraja yakın noktaya %25 mertebesinde daha geç ulaşırken, orta bölgelere %26-47 mertebelerinde daha erken ulaşmıştır. Sağ sahilde 3 cm su derinliğinde %10-25 mertebelerinde azalmalar ölçülürken, sol sahilde %3-15 mertebelerinde artışlar ölçülmüştür. 3 cm su derinliğinde maksimum hızlara ulaşma sürelerinde; baraja yakın sağ sahilde bulunan noktada %44 mertebesinde artma, sol

sahilde bulunan noktada ise %17 mertebesinde azalma gözlenirken, orta bölgenin en sol ve en sağ kısımlarında %16-34 mertebelerinde azalmalar gözlenmiştir.

Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda 1 cm ve 3 cm su derinliğinde sayısal çalışmalardan elde edilen noktasal hızların UVP yönündeki bileşenlerine ait maksimum hızlar, bu hızlara ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler Tablo 6.16’da görülmektedir.

Tablo 6.16 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı noktalarda 1 cm ve 3 cm su derinliğinde sayısal çalışmalardan elde edilen noktasal hızların UVP yönündeki bileşenlerine ait maksimum hızlar, bu hızlara ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler

Derinlik	Nokta	Bitki Örtüsüz		Bitki Örtülü		Değişim	
		Maksimum Hız (m/s)	Maksimum Hıza Ulaşma Süresi (s)	Maksimum Hız (m/s)	Maksimum Hıza Ulaşma Süresi (s)	Maksimum Hız (%)	Maksimum Hıza Ulaşma Süresi (%)
1 cm	T01	0,43	3,2	0,42	4,8	-%2	+%50
	T03	0,65	2	0,62	3,6	-%5	+%80
	T04	0,26	8,6	0,23	8,6	-%12	-
	T06	0,07	9	0,07	9	-	-
	T07	0,02	14	0,01	14	-%50	-
3 cm	T01	0,43	3,2	0,42	4,8	-%2	+%50
	T03	0,58	2	0,52	3,6	-%10	+%80
	T04	0,19	10,2	0,22	10,2	+%16	-
	T06	0,11	13,8	0,12	10,6	+%9	-%23
	T07	0,04	18,8	0,04	15,6	-	-%17

Sayısal çalışmalardan elde edilen bulgulara göre; 1 cm su derinliğinde maksimum hızlarda azalmalar görülmüştür. Bu azalmalar baraja yakın bölgelerde %2-5 mertebelerinde iken, orta bölgelerde %12-50 mertebelerindedir. Maksimum hızlara ulaşma süreleri baraja yakın bölgelerde %50-80 mertebelerinde artarken, diğer bölgelerde değişmemiştir. 3 cm su derinliğinde maksimum hızlarda baraja yakın bölgelerde %2-10 mertebelerinde azalmalar gözlenirken, orta bölgelerde %9-16

mertebelerinde artışlar gözlenmiştir. Taşkın maksimum hızlara baraja yakın bölgelerde %50-80 mertebelerinde daha geç ulaşırken, orta bölgelerde %17-23 mertebelerinde daha erken ulaşmıştır.

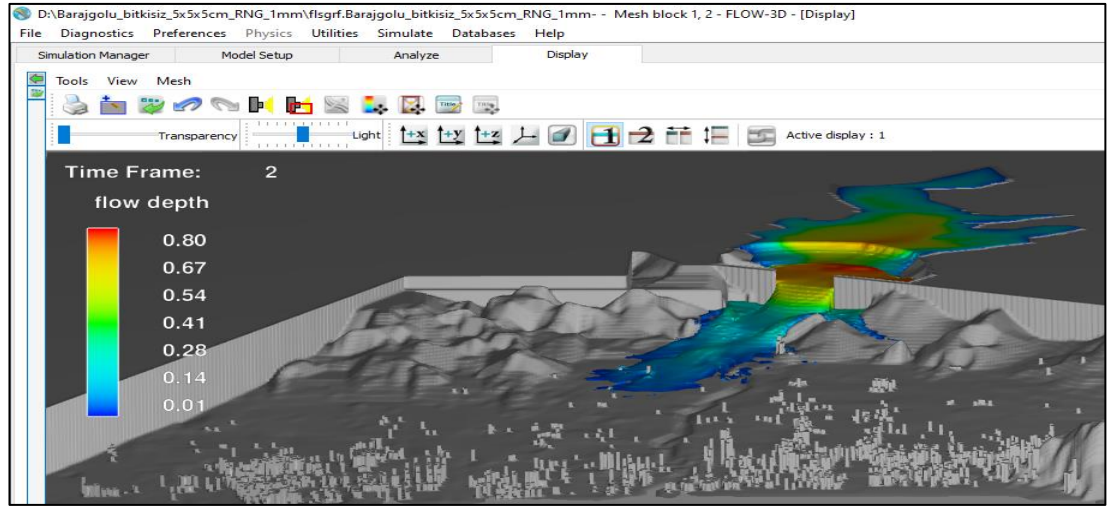
6.5.3 Taşkın Dalgasının Yayılmasının Karşılaştırılması

Bitki örtüsüz durumda deneysel ve sayısal çalışmalarda taşkın dalgasının 2., 3., 6. ve 15. saniyelerde ulaştığı bölgeler ile sayısal çalışmalardaki su derinlikleri ve hız değerleri, sırasıyla Şekil 6.30, 6.31, 6.32 ve 6.33'te görülmektedir. Bitki örtülü durumda deneysel ve sayısal çalışmalarda taşkın dalgasının 2., 3., 6. ve 15. saniyelerde ulaştığı bölgeler ile sayısal çalışmalardaki su derinlikleri ve hız değerleri, sırasıyla Şekil 6.34, 6.35, 6.36 ve 6.37'de görülmektedir.

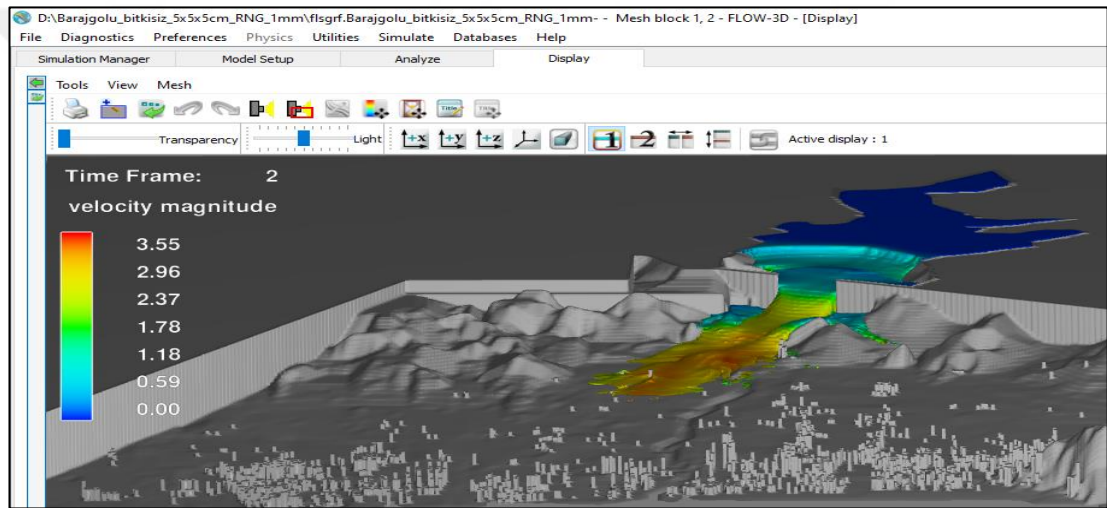


(a)

Şekil 6.30 Bitki örtüsüz durumda taşkın dalgasının 2. saniyede ulaştığı bölgeler (a) deneysel (Kişisel arşiv, 2013), (b) sayısal (su derinlikleri), (c) sayısal (hız değerleri)



(b)

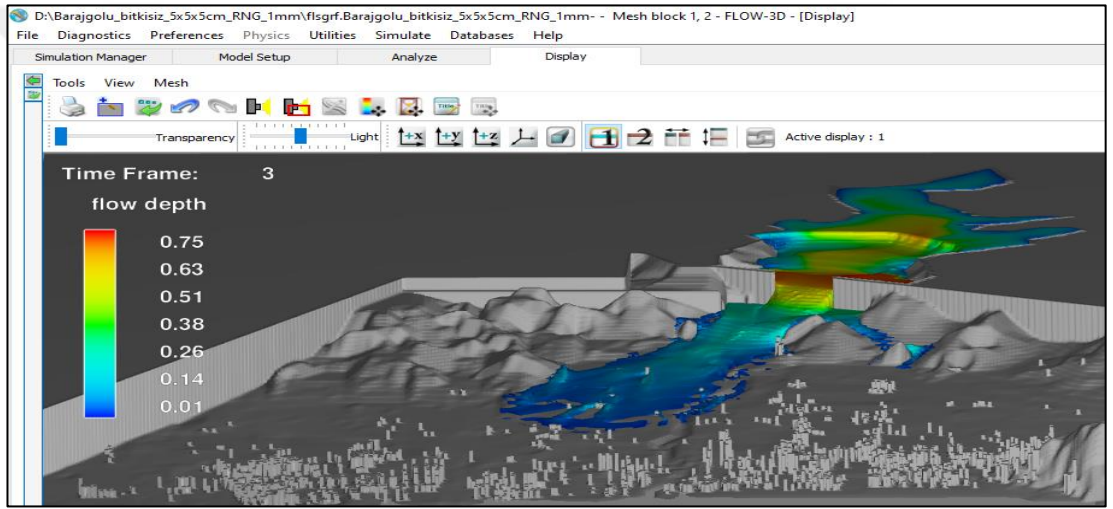


(c)

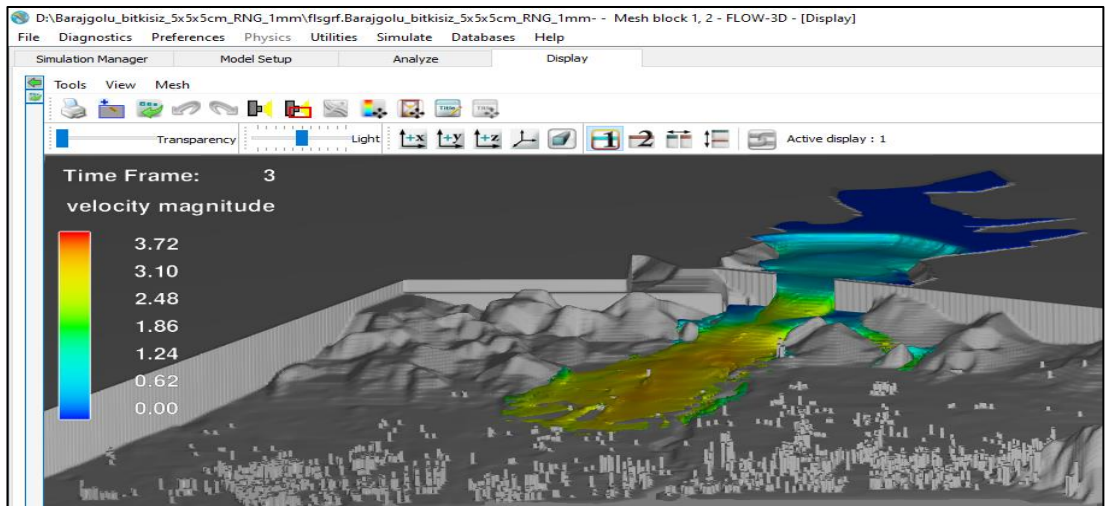
Şekil 6.30 Devamı



(a)



(b)

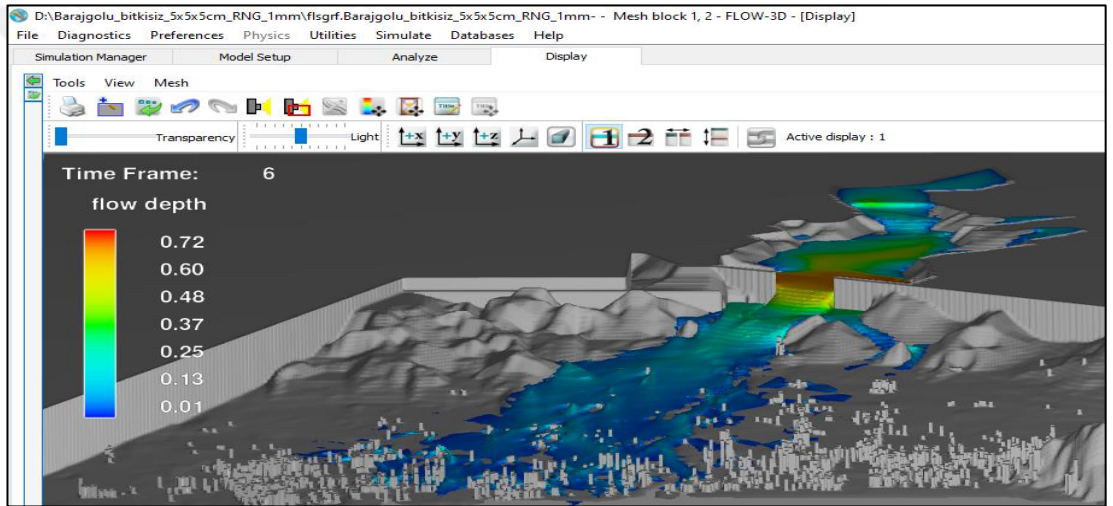


(c)

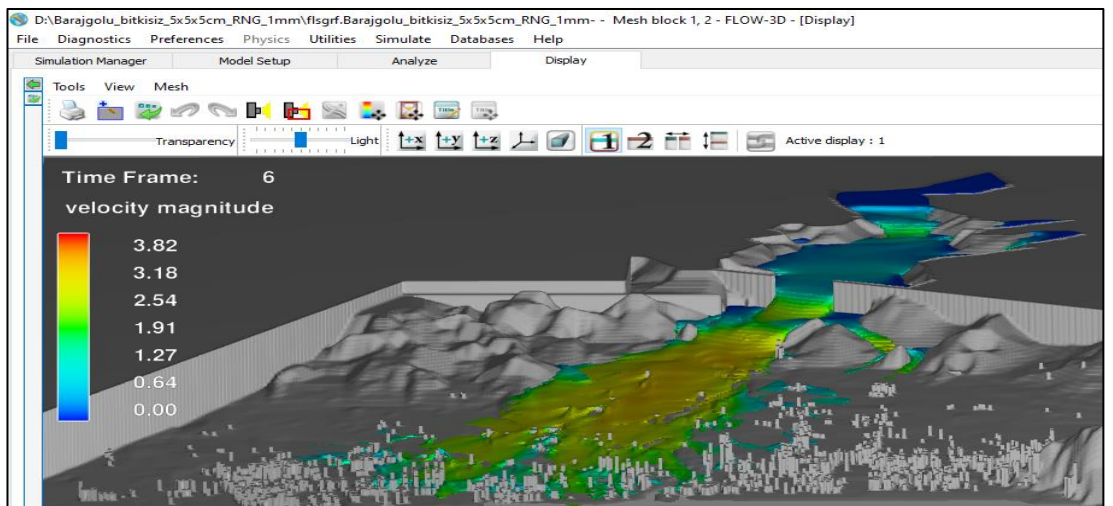
Şekil 6.31 Bitki örtüsüz durumda taşkın dalgasının 3. saniyede ulaştığı bölgeler (a) deneysel (Kişisel arşiv, 2013), (b) sayısal (su derinlikleri), (c) sayısal (hız değerleri)



(a)



(b)

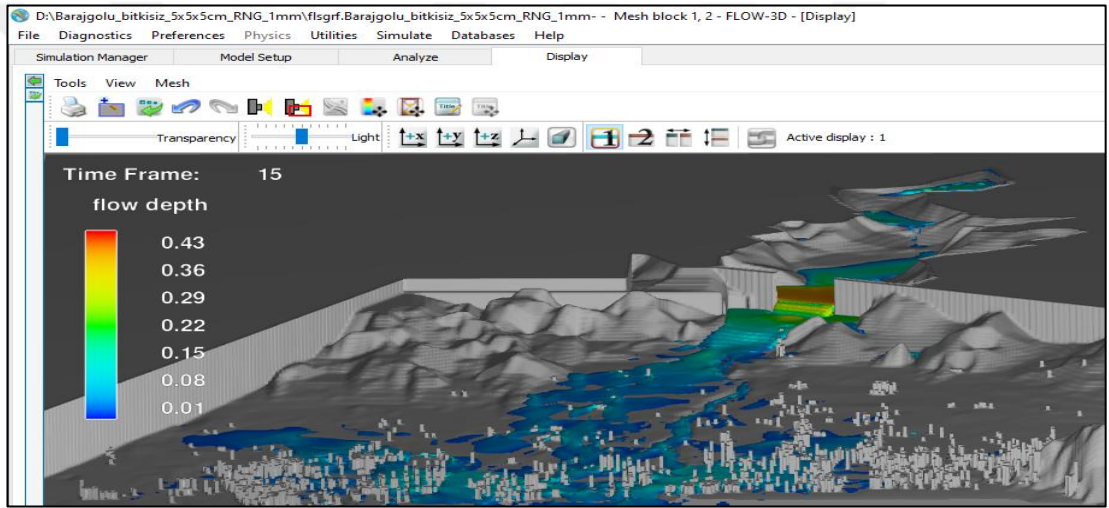


(c)

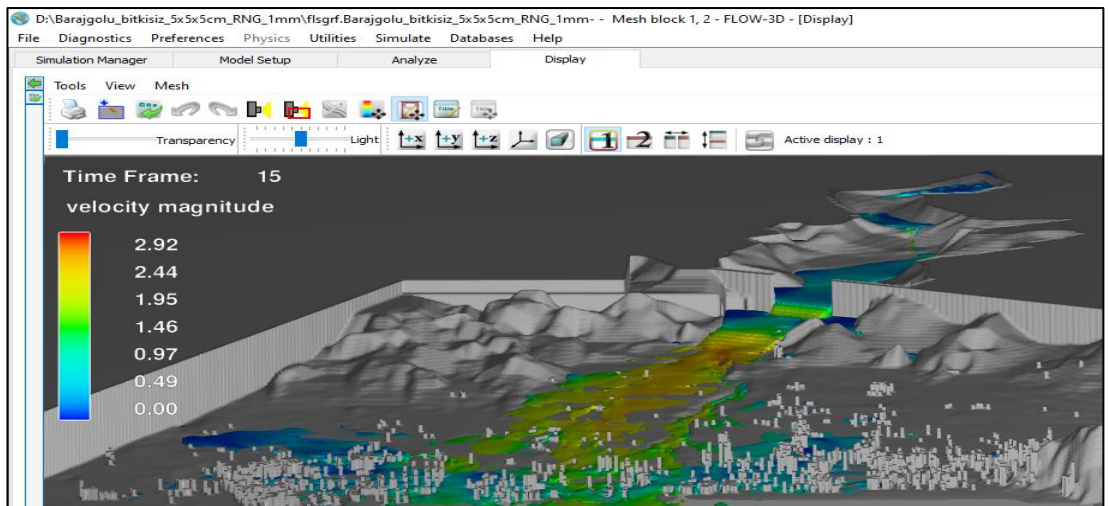
Şekil 6.32 Bitki örtüsüz durumda taşkın dalgasının 6. saniyede ulaştığı bölgeler (a) deneysel (Kişisel arşiv, 2013), (b) sayısal (su derinlikleri), (c) sayısal (hız değerleri)



(a)

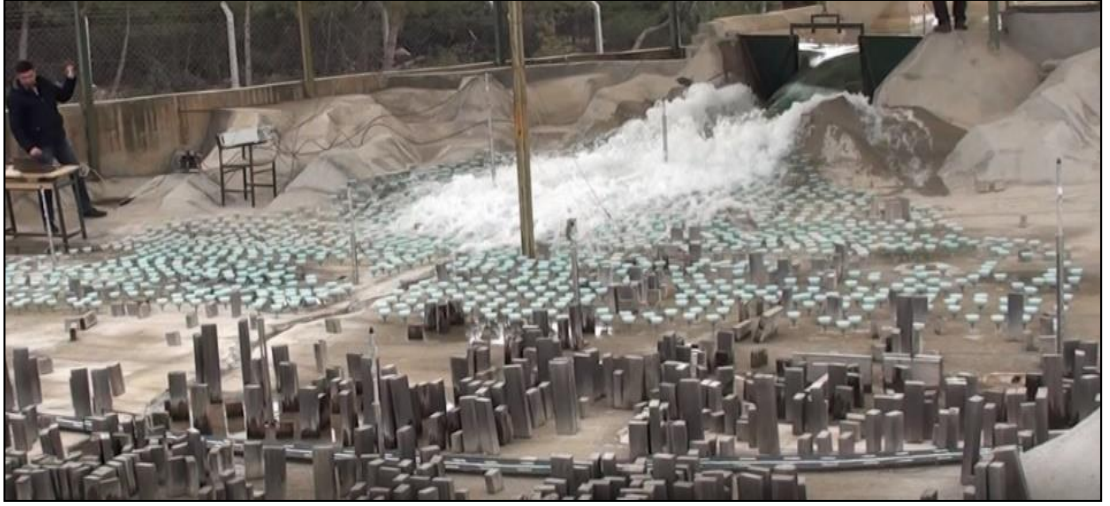


(b)

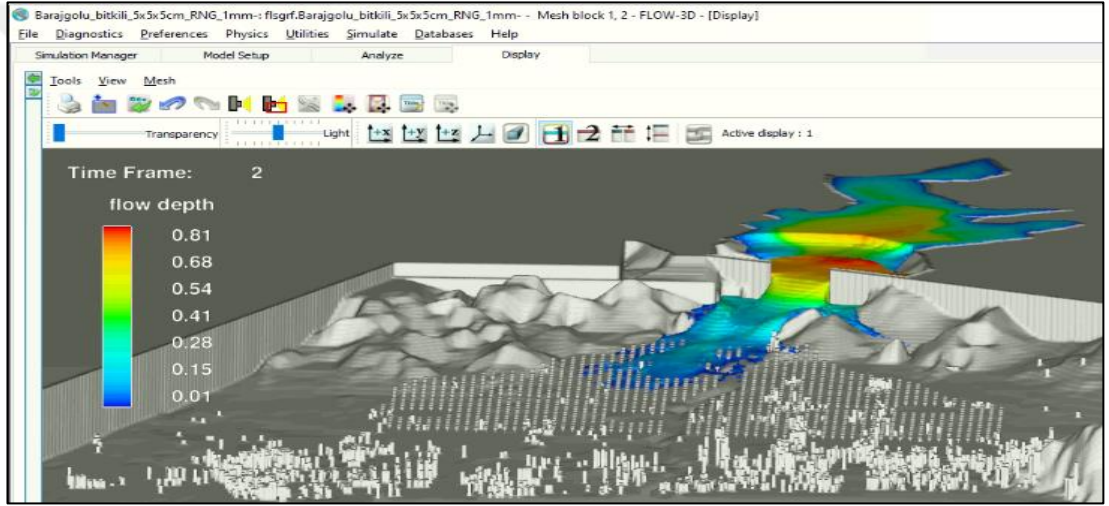


(c)

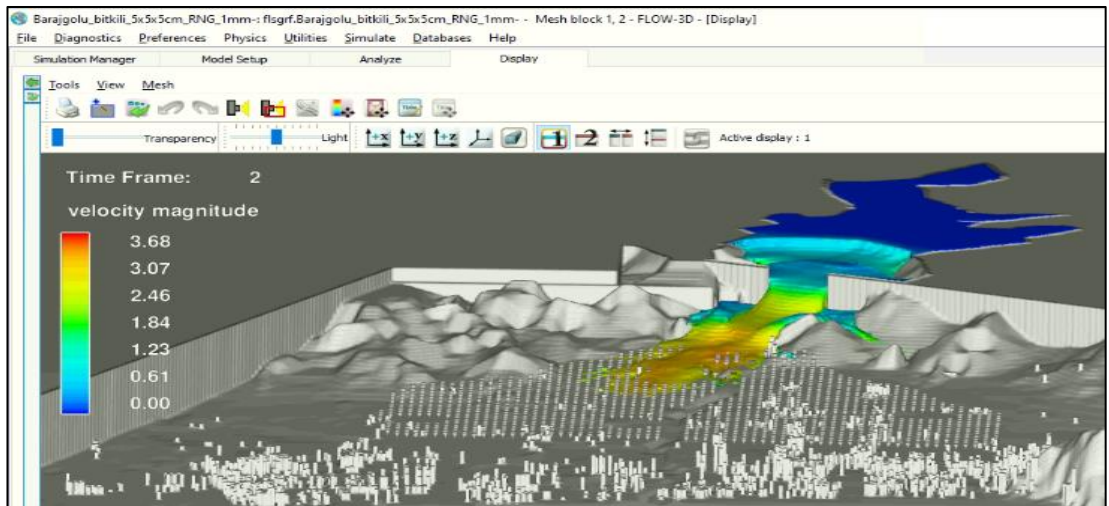
Şekil 6.33 Bitki örtüsüz durumda taşkın dalgasının 15. saniyede ulaştığı bölgeler (a) deneysel (Kişisel arşiv, 2013), (b) sayısal (su derinlikleri), (c) sayısal (hız değerleri)



(a)

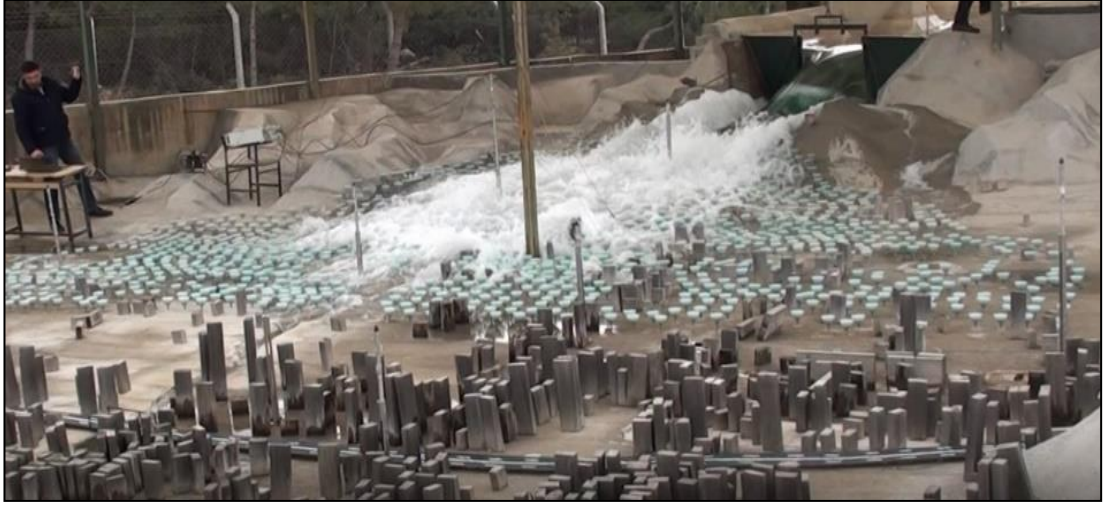


(b)

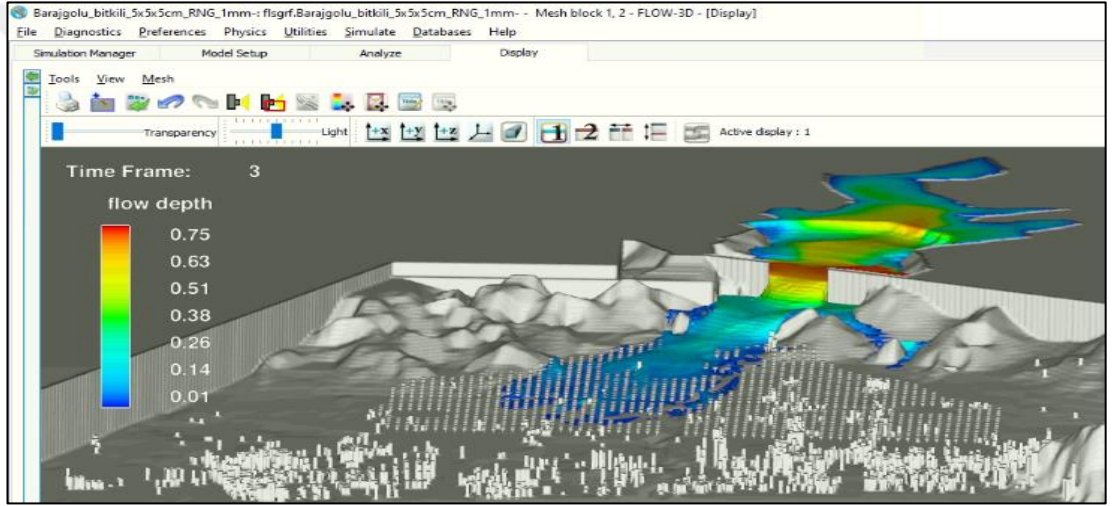


(c)

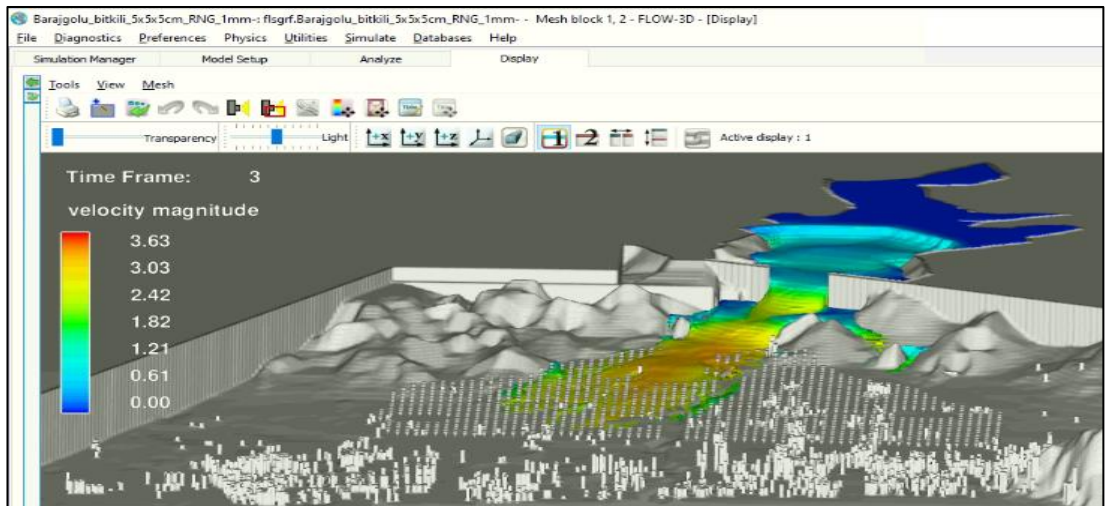
Şekil 6.34 Bitki örtülü durumda taşkın dalgasının 2. saniyede ulaştığı bölgeler (a) deneysel (Kişisel arşiv, 2016), (b) sayısal (su derinlikleri), (c) sayısal (hız değerleri)



(a)



(b)

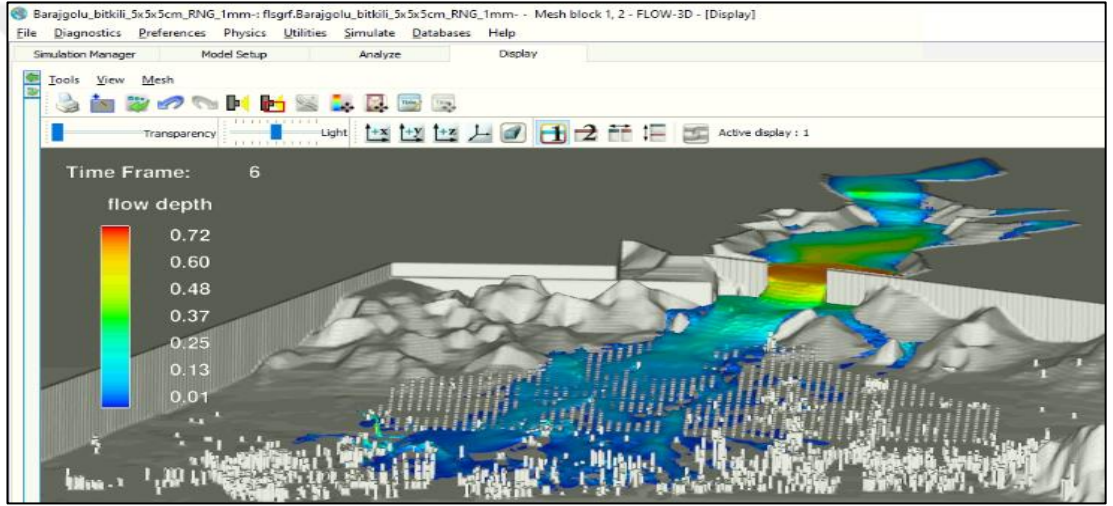


(c)

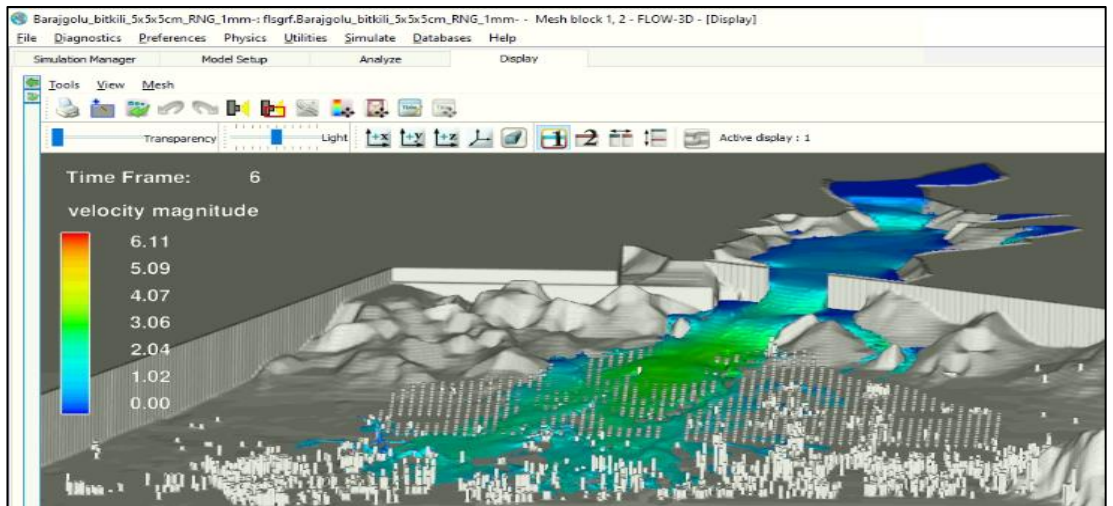
Şekil 6.35 Bitki örtülü durumda taşkın dalgasının 3. saniyede ulaştığı bölgeler (a) deneysel (Kişisel arşiv, 2016), (b) sayısal (su derinlikleri), (c) sayısal (hız değerleri)



(a)



(b)

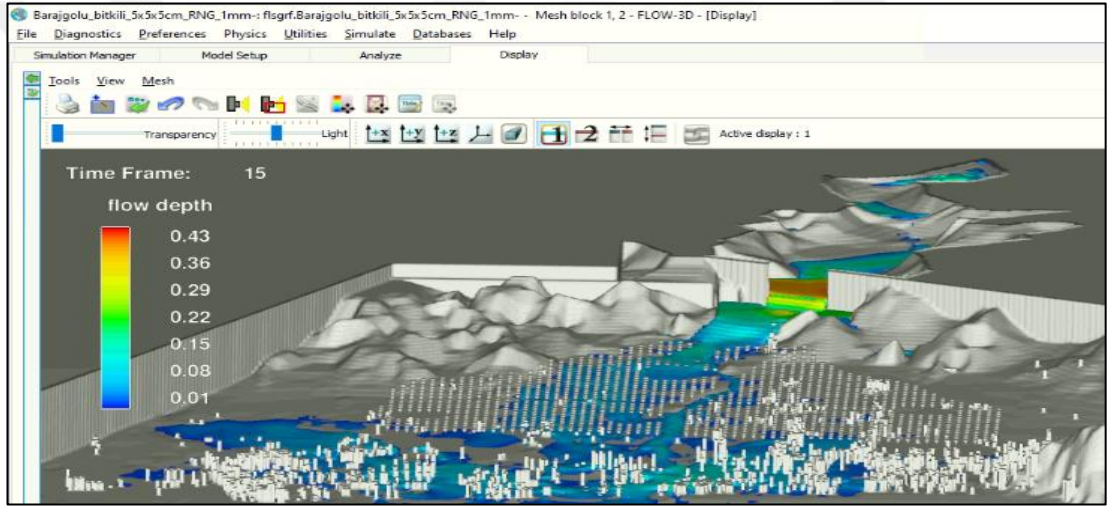


(c)

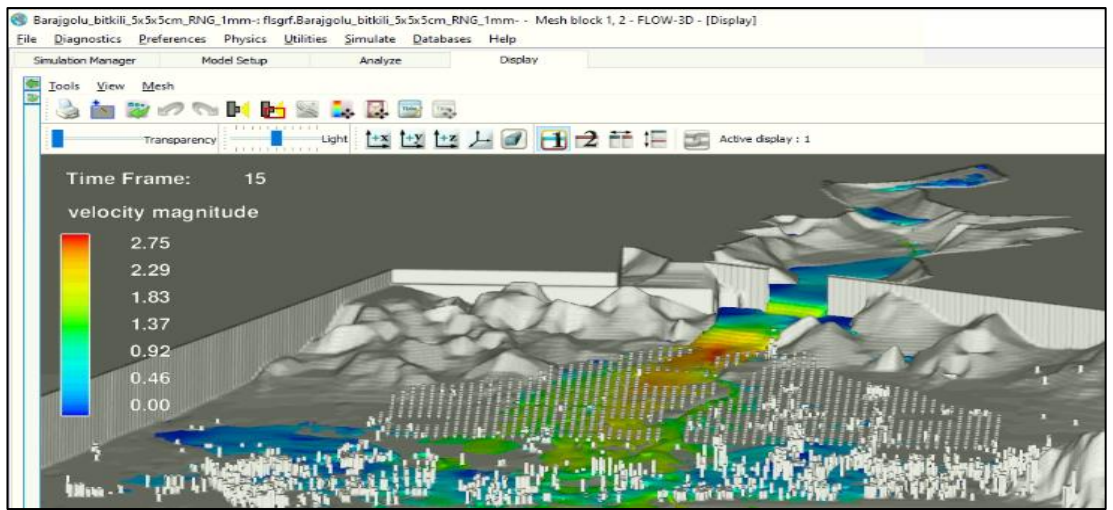
Şekil 6.36 Bitki örtülü durumda taşkın dalgasının 6. saniyede ulaştığı bölgeler (a) deneysel (Kişisel arşiv, 2016), (b) sayısal (su derinlikleri), (c) sayısal (hız değerleri)



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.37 Bitki örtülü durumda taşkın dalgasının 15. saniyede ulaştığı bölgeler (a) deneysel (Kişisel arşiv, 2016), (b) sayısal (su derinlikleri), (c) sayısal (hız değerleri)

Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda deneysel çalışmalarda taşkın dalgasının farklı noktalar ile Ürkmez deresinin karayolu ve deniz ile kesişim noktalarına ulaşma süreleri ve bu sürelerdeki değişimler Tablo 6.17’de verilmektedir.

Tablo 6.17 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda deneysel çalışmalarda taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşma süreleri ve bu sürelerdeki değişimler

Ulaştığı Nokta	Bitki Örtüsüz Ulaşma Süresi (s)	Bitki Örtülü Ulaşma Süresi (s)	Değişim Ulaşma Süresi (%)
S2	2	2	-
S3	1	1	-
S4	4	6	+%50
S5	4	6	+%50
S6	3	4	+%33
S7	10	10	-
S10	7	13	+%86
S11	6	10	+%67
Karayolu	4	6	+%50
Deniz	6	10	+%67

Deneysel çalışmalardan elde edilen bulgulara göre; taşkın dalgasının baraja yakın bölgelere ulaşma sürelerinde değişim görülmemiştir. Orta bölgelerde %33-50 mertebelerinde, denize yakın bölgelerde ise %67-86 mertebelerinde gecikme ölçülmüştür. Taşkın karayoluna %50 mertebesinde geç ulaşırken, denize %67 mertebesinde geç ulaşmıştır.

Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda sayısal çalışmalarda taşkın dalgasının farklı noktalar ile Ürkmez deresinin karayolu ve deniz ile kesişim noktalarına ulaşma süreleri ve bu sürelerdeki değişimler Tablo 6.18’de verilmektedir.

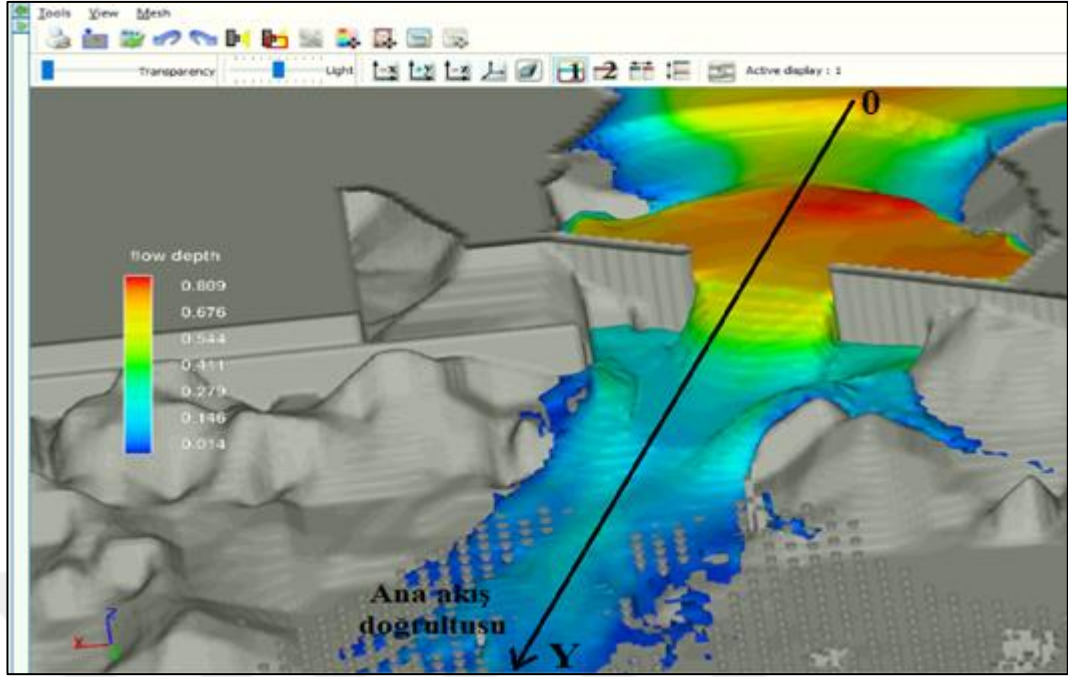
Tablo 6.18 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda sayısal çalışmalarda taşkın dalgasının farklı noktalara ulaşma süreleri ve bu sürelerdeki değişimler

Ulaştığı Nokta	Bitki Örtüsüz Ulaşma Süresi (s)	Bitki Örtülü Ulaşma Süresi (s)	Değişim Ulaşma Süresi (%)
S2	2	2	-
S3	2	2	-
S4	5	5	-
S5	6	7	+%17
S6	3	3	-
S7	14	13	-%7
S10	7	8	+%14
S11	8	8	-
Karayolu	5	6	+%20
Deniz	7	8	+%14

Sayısal çalışmalardan elde edilen bulgulara göre; taşkın dalgasının baraja yakın bölgelere ulaşma sürelerinde değişim görülmemiştir. Sağ sahilde orta bölgede değişim gözlenmezken, sol sahilin orta bölgesinde %17 mertebesinde gecikme ve en sol kımında %7 mertebesinde erken ulaşma gözlenmiştir. Taşkın karayoluna %20 mertebesinde geç ulaşırken, denize %14 mertebesinde geç ulaşmıştır.

6.6 Bitki Örtüsüz ve Bitki Örtülü Durumlarda RNG Türbülans Modeli Kullanılarak Gerçekleştirilen Sayısal Çalışmalarda Ana Akış Doğrultusunda Su Derinliği Değerlerinin Değişimi

Baraj yıkılması sonucu meydana gelen taşkın dalgasının ana akış doğrultusu, RNG türbülans modelinin kullanıldığı sayısal çözüm sonuçlarından elde edilen görüntüler kullanılarak yaklaşık bir şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 6.38’de Y ile gösterilen ana akış doğrultusu boyunca alınan farklı noktadaki su derinliği değerleri Tablo 6.19’da verilmektedir. Şekil 6.38, RNG türbülans modelinin kullanıldığı bitki örtülü durumda gerçekleştirilen sayısal çalışmanın 2. saniyesindeki görüntüyü içermektedir.



Şekil 6.38 Sayısal çalışmalardan elde edilen taşkın dalgasının ana akış doğrultusu

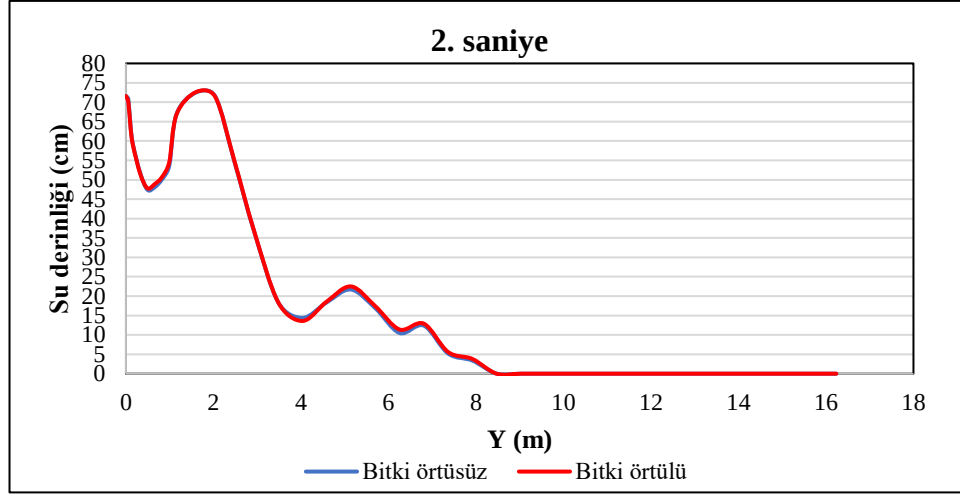
Tablo 6.19 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda RNG türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çalışmalardan elde edilen taşkın dalgasının ana akış doğrultusu boyunca alınan farklı noktalarda 2., 4., 6., 8. ve 10. saniyelerdeki su derinliği değerleri

Nokta Y (m)	Su derinliği (cm)									
	Bitki Örtüsüz					Bitki örtülü				
	2. saniye	4. saniye	6. saniye	8. saniye	10. saniye	2. saniye	4. saniye	6. saniye	8. saniye	10. saniye
0,00	71,6	50,6	44,9	37,3	31,3	71,6	50,5	44,8	37,6	31,3
0,05	70,8	50,8	45,4	37,8	31,8	70,1	50,7	45,4	38,1	31,9
0,11	63,5	50,9	45,8	38,1	32,2	63,1	50,8	45,8	38,4	32,2
0,16	59,0	50,8	46,1	38,3	32,4	58,8	50,7	46,1	38,6	32,4
0,33	51,7	48,4	44,6	36,7	30,6	51,5	48,3	44,6	36,7	30,6
0,49	47,4	46,0	42,8	34,7	28,4	47,8	45,9	42,8	34,6	28,4
0,66	48,1	46,5	43,3	35,4	29,0	48,9	46,4	43,3	35,2	29,0
0,82	50,1	47,6	43,7	36,0	29,5	50,7	47,6	43,7	35,9	29,4
0,99	53,6	49,3	44,8	37,4	30,5	54,5	49,3	44,8	37,4	30,3
1,15	66,9	59,0	54,1	46,7	39,5	66,8	58,9	54,1	46,9	39,3
1,60	72,5	66,1	62,3	55,5	48,9	72,6	66,4	62,3	55,4	49,2
2,04	71,5	67,3	65,0	58,0	52,0	71,4	67,2	65,1	57,7	51,6

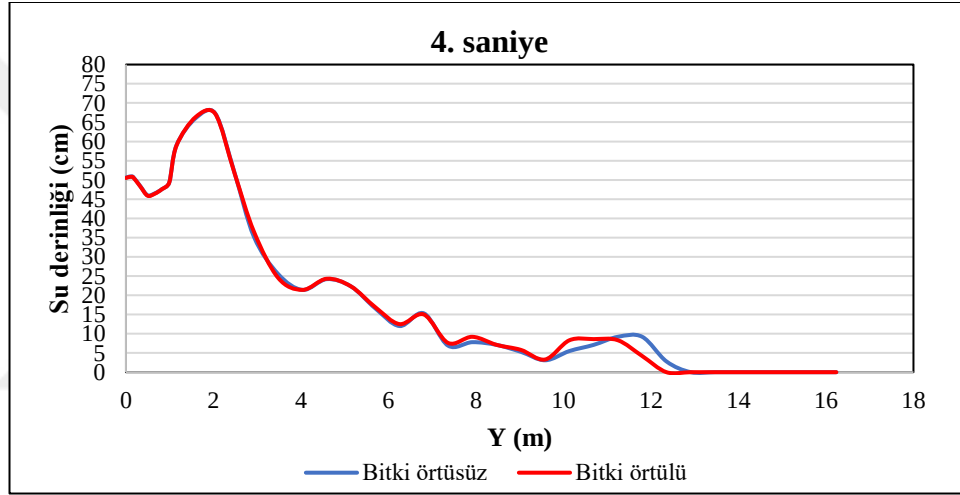
Tablo 6.19 Devamı

Nokta Y (m)	Su derinliği (cm)									
	Bitki Örtüsüz					Bitki örtülü				
	2. saniye	4. saniye	6. saniye	8. saniye	10. saniye	2. saniye	4. saniye	6. saniye	8. saniye	10. saniye
2,48	54,5	51,8	48,8	42,6	36,8	54,7	51,7	48,9	42,4	36,8
2,93	36,8	35,2	33,1	27,2	21,5	36,9	36,5	35,4	27,1	22,5
3,48	18,4	25,5	26,7	26,7	27,7	18,4	24,5	28,2	27,1	28,1
4,04	14,4	21,4	22,3	20,2	17,0	13,6	21,4	22,1	19,7	17,1
4,59	18,4	24,2	24,1	21,5	17,0	18,6	24,3	24,4	20,8	17,0
5,14	21,7	22,3	22,4	20,5	20,5	22,5	22,3	23,2	20,5	20,5
5,70	16,9	16,6	16,8	16,0	14,5	17,4	16,9	17,5	16,1	14,6
6,25	10,5	12,0	12,1	12,0	10,4	11,4	12,5	13,1	12,5	12,5
6,81	12,4	15,3	15,8	14,7	13,3	12,9	15,0	15,0	14,9	13,6
7,36	5,2	6,9	6,7	6,4	5,4	5,6	7,6	8,8	8,1	6,9
7,92	3,4	7,8	8,1	7,5	6,8	3,8	9,2	8,7	9,2	9,2
8,47	0,0	7,1	7,7	6,8	6,5	0,0	7,1	9,3	11,5	10,2
9,03	0,0	5,3	7,1	7,0	7,6	0,0	5,8	9,0	8,9	8,0
9,58	0,0	3,1	3,9	11,7	6,6	0,0	3,3	8,1	8,1	12,1
10,14	0,0	5,5	8,3	8,5	7,3	0,0	8,3	11,4	11,1	11,6
10,69	0,0	7,1	8,8	8,6	7,6	0,0	8,6	10,3	9,3	8,2
11,25	0,0	9,2	9,5	9,2	9,4	0,0	8,3	11,1	8,0	9,2
11,80	0,0	9,2	9,8	10,3	9,8	0,0	4,2	8,0	6,5	5,8
12,35	0,0	2,8	4,7	4,9	5,1	0,0	0,0	6,1	6,7	5,4
12,91	0,0	0,0	5,0	4,5	4,4	0,0	0,0	5,7	4,2	5,0
13,46	0,0	0,0	4,1	6,6	4,7	0,0	0,0	8,6	7,3	3,4
14,02	0,0	0,0	3,5	4,0	4,6	0,0	0,0	3,1	4,7	4,6
14,57	0,0	0,0	5,5	10,0	9,7	0,0	0,0	2,0	7,7	8,6
15,13	0,0	0,0	9,9	12,1	13,7	0,0	0,0	2,2	9,0	11,1
15,68	0,0	0,0	0,1	0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
16,24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

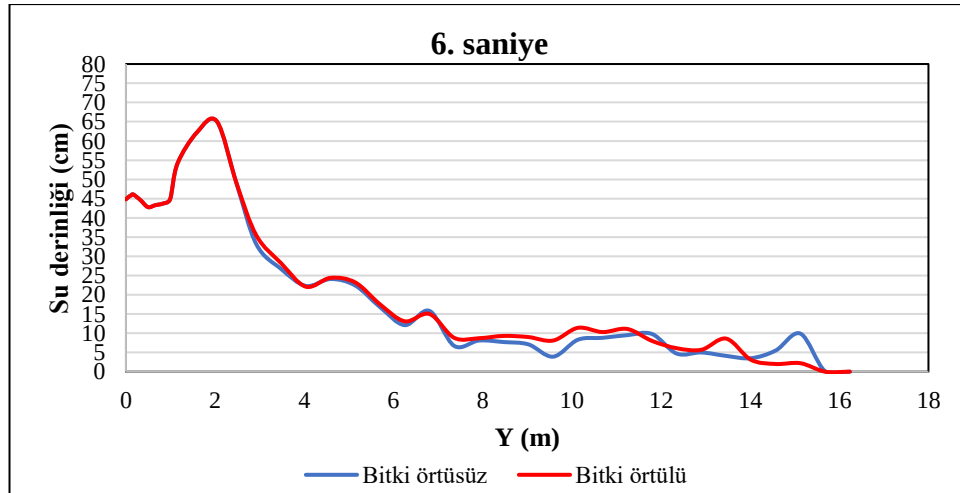
Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda RNG türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çalışmalardan elde edilen taşkın dalgasının ana akış doğrultusu boyunca 2., 4., 6., 8. ve 10. saniyelerde su derinliği değerlerinin değişimi Şekil 6.39'da gösterilmektedir.



(a)

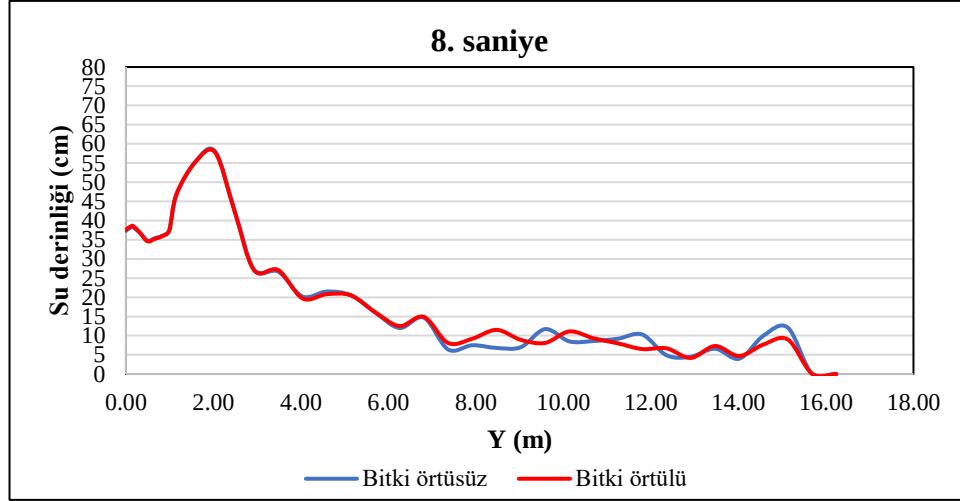


(b)

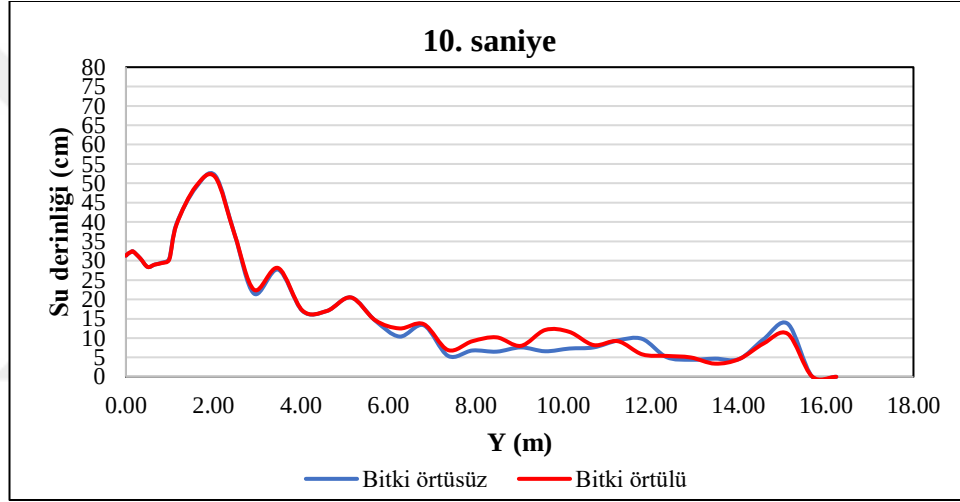


(c)

Şekil 6.39 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda RNG türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çalışmalardan elde edilen taşkın dalgasının ana akış doğrultusu boyunca su derinliği değerlerinin değişimi (a) 2. saniye, (b) 4. saniye, (c) 6. saniye, (d) 8. saniye, (e) 10. saniye



(d)



(e)

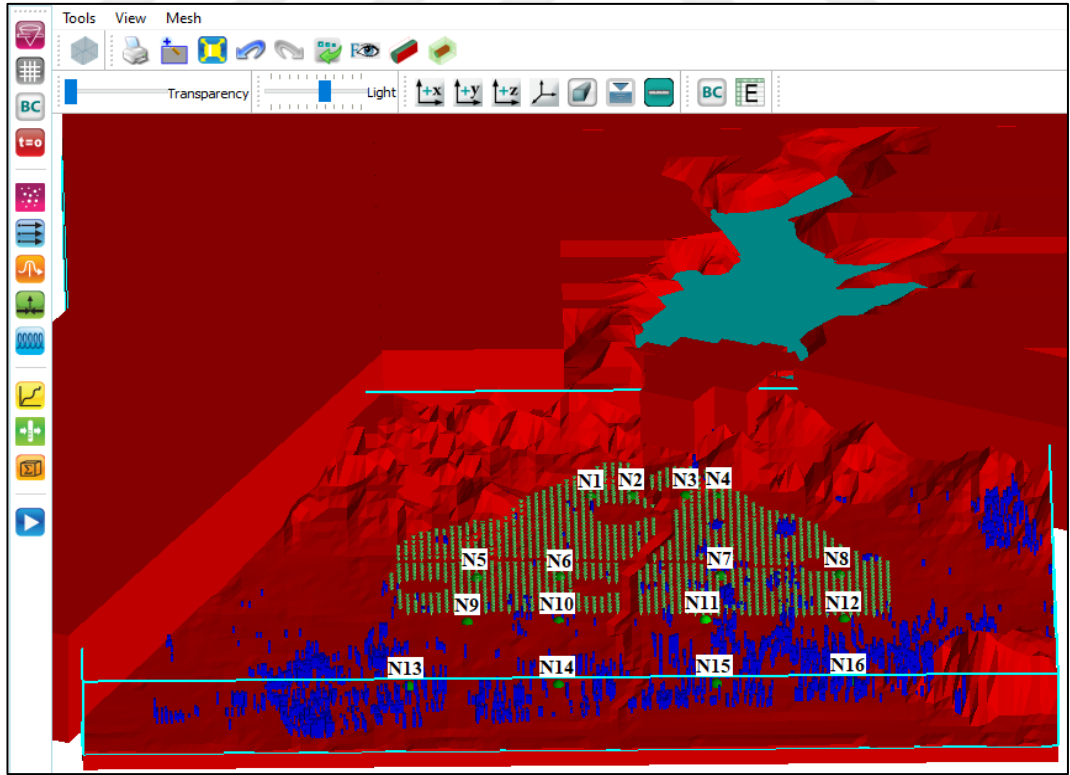
Şekil 6.39 Devamı

Baraj eksenini Y doğrultusunda yaklaşık olarak 2,20 m konumunda yer almaktadır. Beklendiği gibi, bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda su derinlikleri baraj gölünde aynı olup, mansap bölgesinde değişmektedir. Bu değişimler, baraj eksenine yakın yerlerde oldukça küçük mertebedeysen, bitki örtüsünün su derinliği üzerinde oluşturduğu etki özellikle 8. m sonrasında belirgin bir şekilde görülmektedir.

6.7 Bitki Örtüsüz ve Bitki Örtülü Durumlarda Farklı Türbülans Modelleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Sayısal Çalışmalardan Farklı Noktalarda Elde Edilen Derinlik Ortalamalı Bileşke Hızların Karşılaştırılması

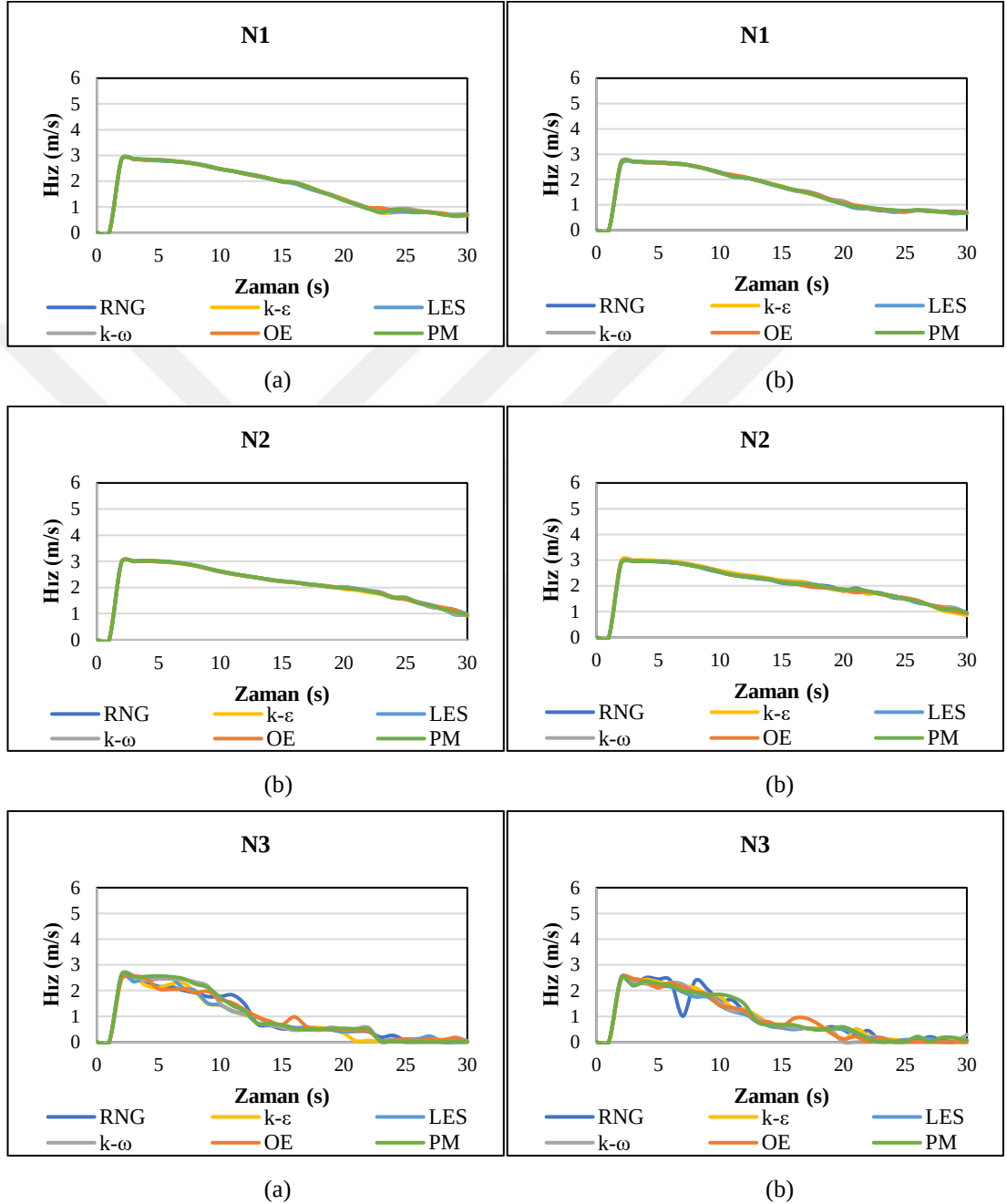
Deneyisel araştırmalarda hızlar sadece UVP doğrultusunda ölçülebilmektedir. UVP doğrultusunda ölçülen hız bileşke hız olmayıp, bileşke hızın UVP doğrultusundaki bileşenidir. Bu nedenle kısmi bitki örtüsünün bitki örtüsüz duruma göre bileşke hızlar üzerindeki etkisini deneylerle belirlemek mümkün olamamıştır.

Deneylerle belirlenemeyen bileşke hızlardaki değişimler, sayısal çözüm sonuçları kullanılarak elde edilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda, mansap bölgesinin üst, orta ve alt bölgelerinde hem sol sahil hem de sağ sahilde seçilen farklı noktalarda, sayısal analiz sonuçlarından elde edilen bileşke hızlar kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Mansap bölgesinde seçilen N1, N2, ..., N16 noktalarının konumları Şekil 6.40'ta verilmektedir.

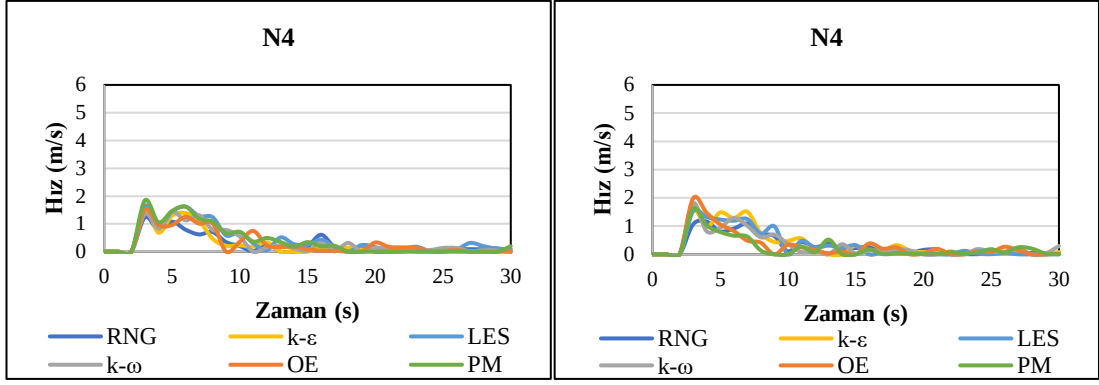


Şekil 6.40 Sayısal çalışmalarda derinlik ortalamalı bileşke hızların karşılaştırıldığı noktaların konumları

Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı türbülans modelleri kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çalışmalardan farklı noktalarda elde edilen derinlik ortalamalı bileşke hızlar Şekil 6.41’de gösterilmektedir.

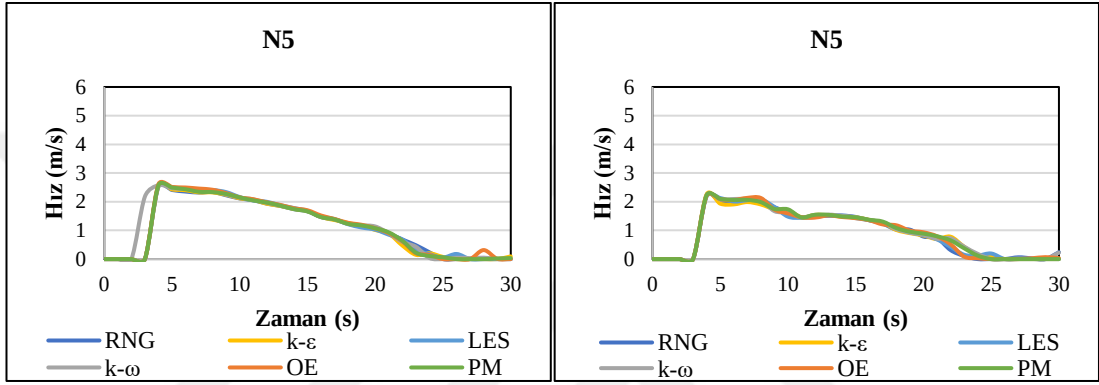


Şekil 6.41 Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı türbülans modelleri kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çalışmalardan farklı noktalarda elde edilen derinlik ortalamalı bileşke hızlar (a) bitki örtüsüz, (b) bitki örtülü



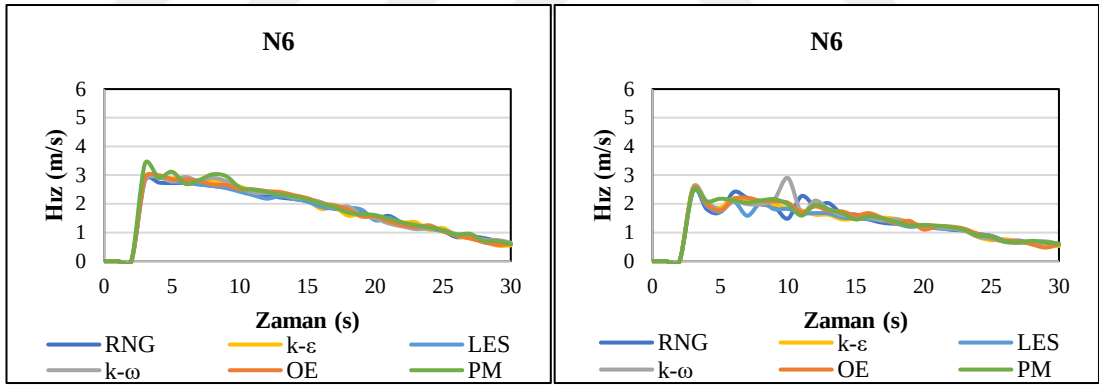
(a)

(b)



(a)

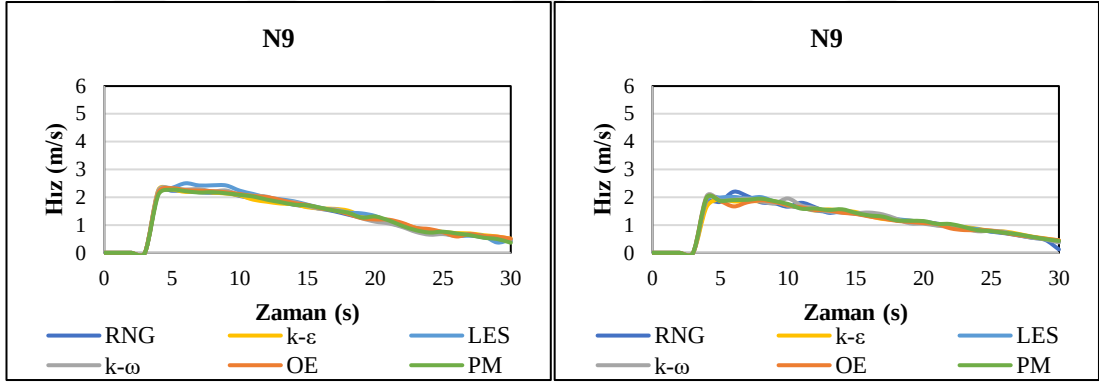
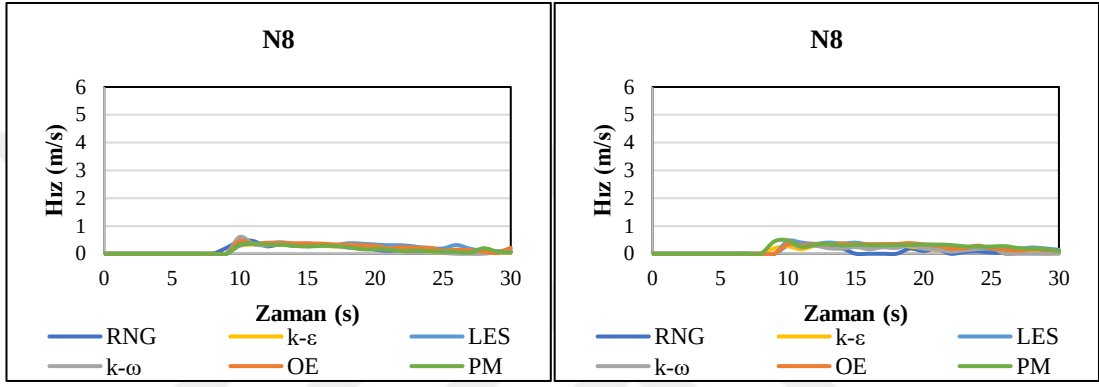
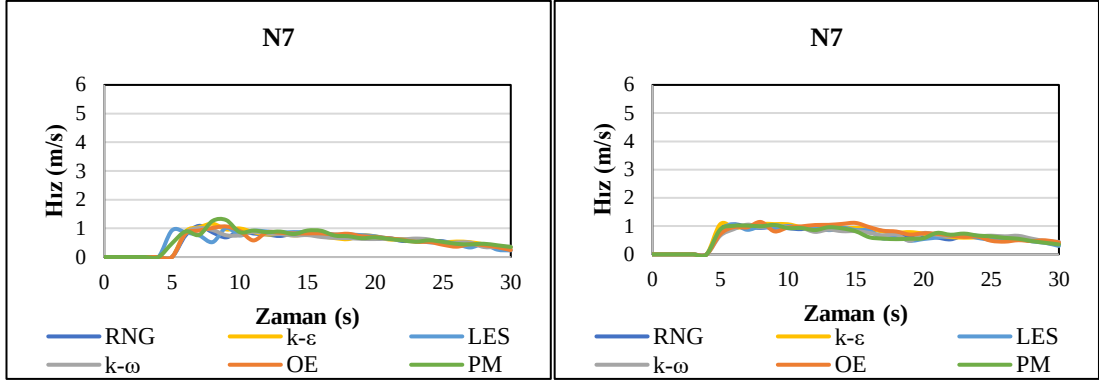
(b)



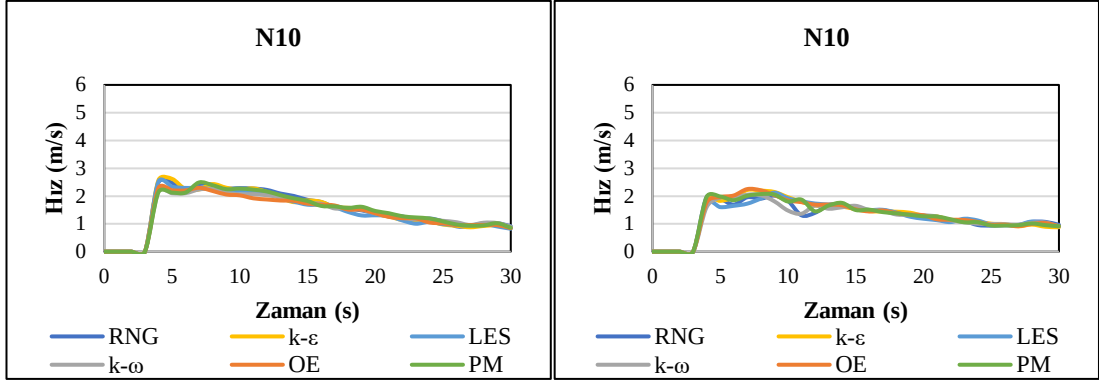
(a)

(b)

Şekil 6.41 Devamı

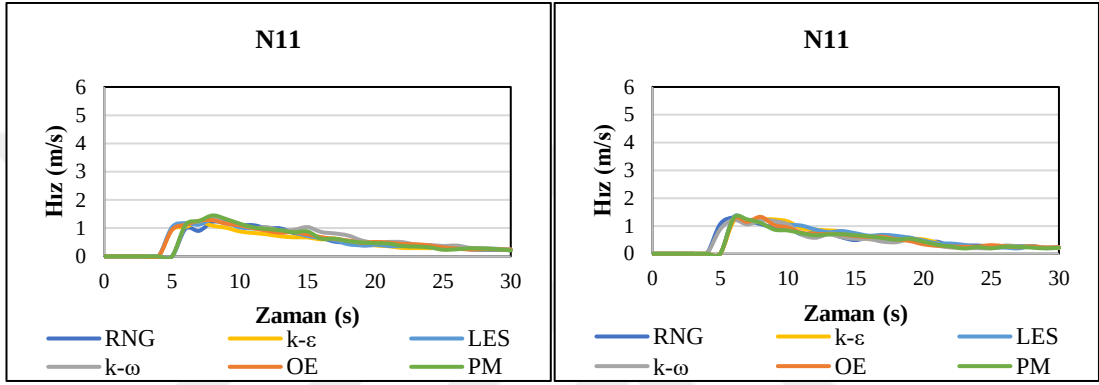


Şekil 6.41 Devamı



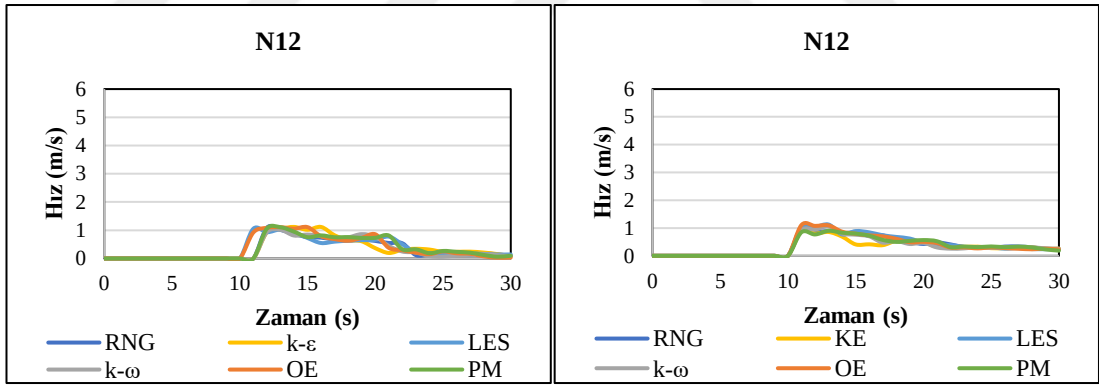
(a)

(b)



(a)

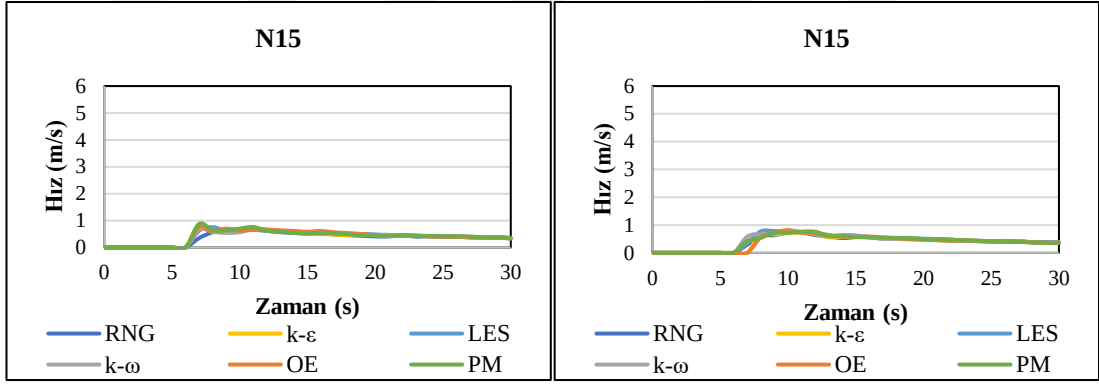
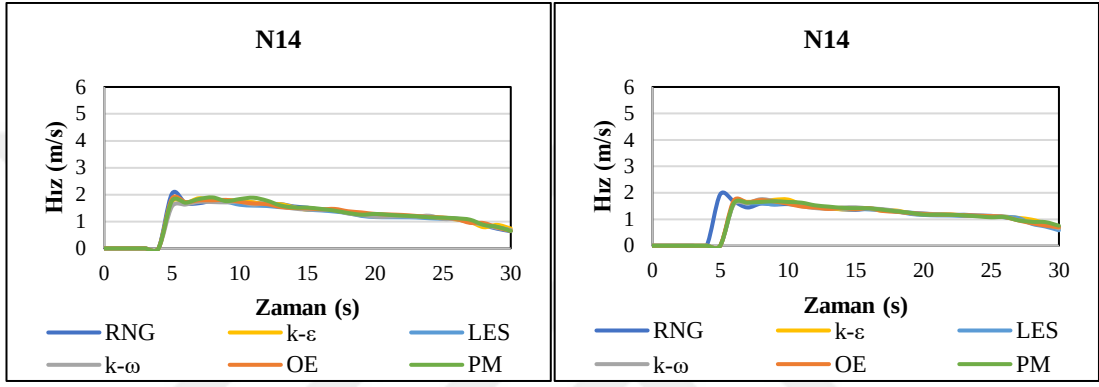
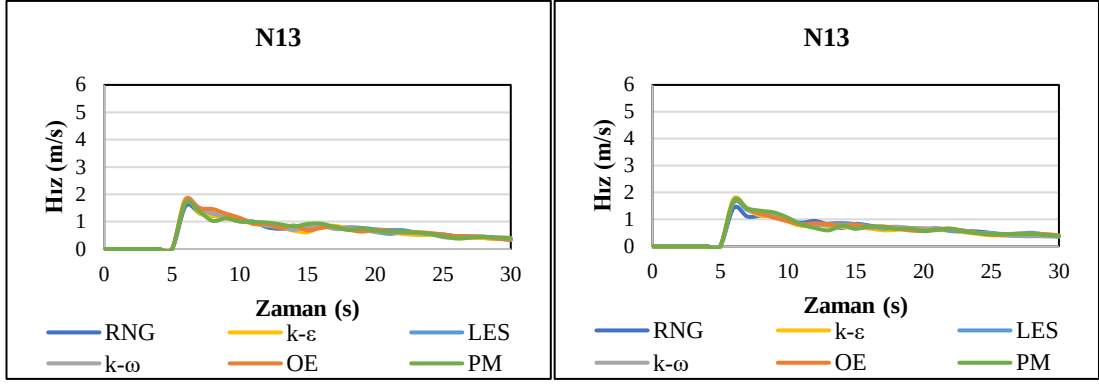
(b)



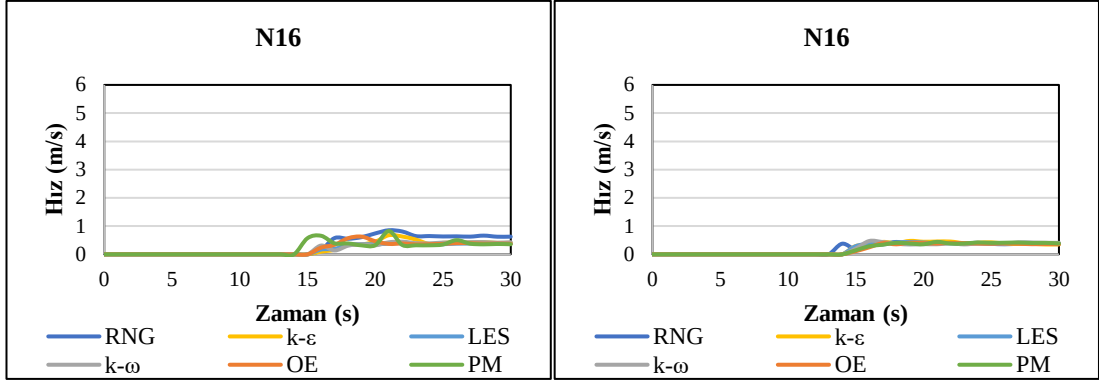
(a)

(b)

Şekil 6.41 Devamı



Şekil 6.41 Devamı



(a)

(b)

Şekil 6.41 Devamı

Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda farklı türbülans modelleri kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çalışmalardan farklı noktalarda elde edilen maksimum derinlik ortalamalı bileşke hızlar ve bu değerlerdeki değişimler Tablo 6.20’de, maksimum derinlik ortalamalı bileşke hızlara ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler Tablo 6.21’de verilmektedir.

Tablo 6.20 Bitki örtüsü ve bitki örtülü durumlarda farklı türbülans modelleri kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çalışmalardan farklı noktalarda elde edilen maksimum derinlik ortalamalı bileşke hızlar ve bu değerlerdeki değişimler

Nokta	Koordinatlar		Bitki Örtüsü						Bitki Örtülü						Değişim					
	X (m)	Y (m)	RNG	k-ε	LES	k-ω	OE	PM	RNG	k-ε	LES	k-ω	OE	PM	RNG	k-ε	LES	k-ω	OE	PM
N1	8,27	3,92	2,87	2,86	2,86	2,86	2,87	2,87	2,70	2,70	2,70	2,68	2,71	2,72	-%6	-%6	-%6	-%6	-%5	-%5
N2	7,53	3,92	3,01	3,01	3,02	3,02	3,01	3,03	2,95	3,01	2,97	2,96	2,95	2,96	-%2	-	-%2	-%2	-%2	-%2
N3	6,57	3,92	2,58	2,50	2,54	2,64	2,56	2,57	2,50	2,43	2,47	2,53	2,48	2,49	-%3	-%3	-%3	-%4	-%3	-%3
N4	5,98	3,92	1,24	1,59	1,65	1,44	1,52	1,85	1,16	1,56	1,53	1,81	1,98	1,61	-%6	-%2	-%7	+%26	+%30	-%13
N5	10,38	7,22	2,53	2,54	2,56	2,58	2,61	2,57	2,22	2,26	2,19	2,22	2,21	2,23	-%12	-%11	-%14	-%14	-%15	-%13
N6	8,88	7,22	2,86	2,93	2,94	2,94	3,00	3,40	2,49	2,58	2,43	2,57	2,51	2,47	-%13	-%12	-%17	-%13	-%16	-%27
N7	5,98	7,22	1,09	1,16	1,01	1,01	1,07	1,29	1,06	1,08	1,05	1,05	1,15	1,04	-%3	-%7	+%4	+%4	+%7	-%19
N8	3,83	7,22	0,46	0,36	0,41	0,61	0,46	0,37	0,34	0,37	0,46	0,34	0,38	0,48	-%26	+%3	+%12	-%44	-%17	+%30
N9	10,58	9,02	2,23	2,28	2,50	2,29	2,32	2,27	2,20	1,93	2,01	2,04	1,98	1,98	-%1	-%15	-%20	-%11	-%15	-%13
N10	8,93	9,02	2,49	2,62	2,52	2,25	2,30	2,49	2,02	2,22	2,12	2,05	2,25	2,07	-%19	-%15	-%16	-%9	-%2	-%17
N11	6,28	9,02	1,23	1,22	1,33	1,37	1,28	1,45	1,30	1,24	1,32	1,22	1,33	1,29	+%6	+%2	-%1	-%11	+%4	-%11
N12	3,78	9,02	1,09	1,12	1,05	1,02	1,11	1,11	1,03	0,92	1,13	1,06	1,11	0,90	-%6	-%18	+%8	+%4	-	-%19
N13	11,68	11,82	1,57	1,84	1,73	1,81	1,76	1,67	1,43	1,77	1,62	1,71	1,67	1,70	-%9	-%4	-%6	-%6	-%5	+%2
N14	8,98	11,82	2,04	1,87	1,84	1,73	1,85	1,89	1,94	1,75	1,62	1,76	1,73	1,68	-%5	-%6	-%12	+%2	-%6	-%11
N15	6,13	11,82	0,67	0,86	0,76	0,70	0,77	0,87	0,73	0,72	0,78	0,78	0,82	0,76	+%9	-%16	+%3	+%11	+%6	-%13
N16	3,68	11,82	0,85	0,68	0,40	0,45	0,63	0,82	0,44	0,48	0,44	0,47	0,41	0,44	-%48	-%29	+%10	+%4	-%35	-%46

Tablo 6.21 Bitki örtüsü ve bitki örtülü durumlarda farklı türbülans modelleri kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çalışmalardan farklı noktalarda elde edilen maksimum derinlik ortalamalı bileşke hızlara ulaşma süreleri ve bu değerlerdeki değişimler

Nokta	Koordinatlar		Bitki Örtüsüz Ulaşma Süresi (s)						Bitki Örtülü Ulaşma Süresi (s)						Değişim Ulaşma Süresi (%)					
	X (m)	Y (m)	RNG	k-ε	LES	k-ω	OE	PM	RNG	k-ε	LES	k-ω	OE	PM	RNG	k-ε	LES	k-ω	OE	PM
N1	8,27	3,92	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	-	-	-	+%50	-	-
N2	7,53	3,92	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	3	-%25	-	-%25	-%25	-	-%25
N3	6,57	3,92	2	3	2	2	3	2	4	4	2	2	2	2	+%10	+%33	-	-	-%33	-
N4	5,98	3,92	3	3	3	5	3	3	4	3	3	3	3	3	+%33	-	-	-%40	-	-
N5	10,38	7,22	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	-	-	-	-	-	-
N6	8,88	7,22	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	-	-	-%25	-%25	-%25	-
N7	5,98	7,22	7	8	9	7	9	9	6	8	6	7	8	9	-%14	-	-%33	-	-%11	-
N8	3,83	7,22	10	12	13	10	10	11	11	13	10	10	19	10	+%10	+%8	-%23	-	+%90	-%9
N9	10,58	9,02	5	5	6	5	5	5	6	5	6	4	4	4	+%20	-	-	-%20	-%20	-%20
N10	8,93	9,02	4	5	4	8	7	7	9	7	9	7	7	8	+%12	+%40	+%12	-%13	-	+%14
N11	6,28	9,02	8	7	8	8	8	8	6	8	6	6	8	6	-%25	+%14	-%25	-%25	-	-%25
N12	3,78	9,02	12	14	11	13	13	13	11	11	13	13	11	13	-%8	-%21	+%18	-	-%15	-
N13	11,68	11,82	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	-	-	-	-	-	-
N14	8,98	11,82	5	7	5	7	5	8	5	10	10	8	8	9	-	+%43	+%10	+%14	+%60	+%13
N15	6,13	11,82	9	7	8	11	7	7	10	10	9	10	10	11	+%11	+%43	+%13	-%9	+%43	+%57
N16	3,68	11,82	21	21	22	22	19	21	18	19	19	16	19	21	-%14	-%10	-%14	-%27	-	-

BÖLÜM YEDİ

SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen bulgulara göre:

Kısmi bitki örtüsü varlığının Ürkmez beldesinin yerleşimin seyrek olduğu orta bölgelerinde ve yerleşimin yoğun olduğu denize yakın bölgelerinde taşkın dalgasının yayılma sürelerini daha çok etkilediğini göstermiştir. Orta bölgelerde %33-50 mertebelerinde, denize yakın bölgelerde ise %67-86 mertebelerinde gecikme ölçülmüştür. Taşkın Ürkmez deresinin karayolu ile kesişim noktasına %50 mertebesinde geç ulaşırken, deniz ile kesişim noktasına %67 mertebesinde geç ulaşmıştır. Bitki örtüsünün varlığı, taşkın dalgasının yayılma hızlarında azalmaya ve dolayısıyla beklendiği gibi özellikle yoğun yerleşim alanlarında varış zamanlarında gecikmeye neden olmuştur.

Kısmi bitki örtüsü varlığında, sol sahilde maksimum su derinliklerinde %60'a varan artışlar, sağ sahilde ise denize yakın bölgede %44'e varan azalmalar gözlenmiştir. Maksimum su derinliklerine ulaşma sürelerinde genellikle bir gecikme ölçülmüştür. Bu gecikme orta bölgede %250 mertebesinde iken, denize yakın bölgelerde %64-77 mertebelerindedir.

UVP doğrultusunda ölçülen derinlik ortalamalı hız profillerinin, bitki örtüsünün varlığından etkilendiği görülmüştür. Hızların özellikle baraj gövdesine yakın yerlerde yüksek olduğu ve 5,44 m/s'ye (prototipte 29,81 m/s) ulaştığı tespit edilmiş, taşkın dalgasının bu bölgedeki binalarda ciddi hasarlara sebep olabileceği ortaya çıkmıştır. Orta bölgelerde sağ sahilde hızlarda %35'e varan azalmalar, sol sahilde ise %14'e varan azalmalar gözlenmiştir. Baraja yakın bölgelerde, maksimum hızlara ulaşma sürelerinde sağ sahilde %177 mertebesinde, sol sahilde %17 mertebesinde gecikmeler olmuştur. Taşkın dalgasının sol sahilin en sol kısmında maksimum hızlara %26 mertebesinde daha geç ulaştığı, orta bölgelerde ise %13-16 mertebelerinde daha erken ulaştığı tespit edilmiştir.

Su derinliğinin yükselme ve alçalma dönemlerinde, bitki örtüsü varlığının UVP doğrultusundaki yerel hızları önemli ölçüde değiştirdiği görülmüştür. Sağ sahilde su derinliğinin yükselme ve alçalma dönemlerinde hız değerleri azalmıştır. Sol sahilde baraj gövdesine yakın olan kısımda, su derinliği eğrisinin yükselen kolunda hız değerlerinin arttığı, azalan kolunda ise düştüğü görülmüştür. Orta bölgede, su derinliği eğrisinin yükselen kolunda hız değerleri azalmış, azalan kolunda ise artmıştır. Sol sahilin en sol kısmında, su derinliği eğrisinin yükselen ve azalan kolunda hızların büyüklüklerinin birbirine yakın olduğu, ancak yönlerinin farklı olduğu tespit edilmiştir.

Oğuzhan ve Aksoy (2020)'un Ürkmez Barajı ve mansap bölgesinin çarpıtılmış fiziksel modeli üzerinde yoğun bitki örtülü durumda gerçekleştirdikleri deneysel çalışmanın sonuçları ile kısmi bitki örtülü durumda gerçekleştirilen bu çalışmanın sonuçları karşılaştırıldığında; yoğun bitki örtülü durumda kısmi bitki örtülü duruma göre, baraja yakın bölgede sağ sahilde maksimum su derinliğinde %336 mertebesinde bir artış ölçülürken, sol sahilde %11 mertebesinde bir azalma ölçülmüştür. Orta bölgelerde sağ sahilde %19-82 mertebelerinde, sol sahilde ise %64 mertebesinde azalmalar görülmüştür. Taşkın maksimum su derinliklerine, baraja yakın bölgelerde %54-86 mertebelerinde, sağ sahilde orta bölgelerde %9-38 mertebelerinde, sol sahilin orta bölgesinde %29 mertebesinde daha erken ulaşmıştır. Yoğun bitki örtülü durumda kısmi bitki örtülü duruma göre; taşkın dalgasının baraja yakın bölgelere ulaşma sürelerinde değişim ölçülmemiştir. Orta bölgelerde sağ sahilde %17-25 mertebelerinde, sol sahilde ise %33 mertebesinde gecikmeler gözlenmiştir.

Deneysel araştırmalarda hızlar sadece UVP doğrultusunda ölçülebilmektedir. UVP doğrultusunda ölçülen hız bileşke hız olmayıp, bileşke hızın UVP doğrultusundaki bileşenidir. Bu nedenle kısmi bitki örtüsünün bitki örtüsüz duruma göre bileşke hızlar üzerindeki etkisini deneylerle belirlemek mümkün olamamıştır.

Gerçekleştirilen sayısal çalışmalardan elde edilen bulgulara göre:

Mansap bölgesinin bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumları için; menba başlangıç sınır şartının baraj gölü, zemin pürüzlülüğünün 1 mm, hücre boyutunun $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 5$ cm alındığı modelin en uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. İstatistiksel parametreler kullanılarak yapılan türbülans modellerinin karşılaştırılmasında; bu parametrelerin birbirine çok yakın olduğu görülmüş olsa da, RNG türbülans modelinin çok az farkla üstün olduğu tespit edilmiştir.

Larocque ve diğer. (2013), dikdörtgen kesitli bir kanalda hiç türbülans modeli kullanmadan, LES modelini kullanarak ve k- ϵ modelini kullanarak gerçekleştirdikleri baraj yıkılması simülasyonlarında, bu çalışmadan farklı olarak en iyi sonucu LES modelinin verdiğini tespit etmişlerdir. Azimi ve diğer. (2018) ise, FLOW-3D yazılımı ile iki denklemlili (k- ϵ) türbülans modeli ve RNG türbülans modelini kullanarak gerçekleştirdikleri Malpasset Barajı'nın ani yıkılmasına ait simülasyonlarında, bu çalışmaya benzer şekilde RNG modelinin daha iyi sonuç verdiğini belirlemişlerdir.

Sağ sahilde denize yakın nokta dışındaki tüm noktalarda maksimum su derinliklerinin artmıştır. Bu artış orta bölgelerde %53-73 mertebelerine kadar ulaşmıştır. Maksimum su derinliklerine ulaşma sürelerinde ise, sağ sahilde %60'a varan gecikme, sol sahilde %35'e varan erken ulaşma tespit edilmiştir.

Taşkın dalgasının baraja yakın bölgelere ulaşma sürelerinde değişim görülmemiştir. Sağ sahilin orta kısmında değişim gözlenmezken, sol sahilin orta kısmında %17 mertebesinde gecikme ve en sol kısmında %7 mertebesinde erken ulaşma gözlenmiştir. Denize yakın bölgelerde sol sahilde değişim görülmezken, sağ sahilde %14 mertebesinde gecikme görülmüştür. Taşkın Ürkmez deresinin karayolu ile kesişim noktasına %20 mertebesinde geç ulaşırken, deniz ile kesişim noktasına %14 mertebesinde geç ulaşmıştır.

Deneylerle belirlenemeyen bileşke hızlardaki değişimler, sayısal çözüm sonuçları kullanılarak elde edilmeye çalışılmıştır. Bitki örtüsü genellikle maksimum derinlik

ortalamalı bileşke hızlarda %1-%48 mertebelerinde değişen azalmalara neden olmuştur. Bitki örtülü durumda maksimum derinlik ortalamalı bileşke hızlara genellikle daha geç ulaşılmıştır.

Yapılabilecek öneriler:

Sayısal çalışmalarda Intel(R) Core(TM) i7-2600K CPU @ 3.40 GHz işlemciye ve 8,0 GB (RAM) değerine sahip bilgisayarda simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bitki örtülü olarak gerçekleştirilen, $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 3$ cm hücre boyutuna sahip ve 30. saniyede bitirilen simülasyon, 23 saat 14 dakika 28 saniyede tamamlanmıştır. Simülasyondaki toplam hesap hücresi sayısı 24226768 ve çıktı depolama hacmi 38 GB olarak belirlenmiştir. Daha küçük hücre boyutlarına sahip simülasyonlar, daha uzun çözüm süresi ve daha yüksek depolama hacmi gerektirmektedir. Gelişmiş, yüksek performanslı işlemciye ve yüksek (RAM) değerine sahip workstation bilgisayar kullanılarak, daha küçük hücre boyutlarına sahip simülasyonların gerçekleştirilmesi uygun olacaktır.

Mansap bölgesinde yoğun bitki örtüsü olması durumunda; farklı geometrilere sahip gedik oluşması ve ani yıkılma senaryolarında yapılmış ve yapılacak olan deney sonuçlarının, farklı türbülans modelleri kullanılarak gerçekleştirilecek sayısal çözüm sonuçlarıyla karşılaştırılması uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abay, O., Baykan, N. ve Baykan, N. O. (2015). Güncel baraj hasarlarının analizi. 4. *Su Yapıları Sempozyumu*, Antalya, 157-166.
- Adegoke, P. B., Atherton, W. ve Al Khaddar, R. M. (2014). A novel simple method for measuring the velocity of dam-break flow. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, 184, 23-34.
- Alcrudo, F. ve Mulet, J. (2007). Description of the Tous Dam break case study (Spain). *Journal of Hydraulic Research*, 45(2007), 45-57.
- Anderson, B. G., Rutherford, I. D. ve Western, A. W. (2006). An analysis of the influence of riparian vegetation on the propagation of flood waves. *Environmental Modelling & Software*, 21(9), 1290-1296.
- Arkış, T. (2020). *Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgalarının deneysel ve nümerik metodlar ile araştırılması*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Azimi, H., Heydari, M. ve Shabanlou, S. (2018). Numerical simulation of the effects of downstream obstacles on malpasset dam break pattern. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 10(2018), 441-446.
- Beretta, R., Ravazzani, G., Maiorano, C. ve Mancini, M. (2018). Simulating the influence of buildings on flood inundation in urban areas. *Geosciences*, 8(77), 1-11.
- Bozkuş, Z. (2004). Afet yönetimi için baraj yıkılma analizleri. *İMO Teknik Dergi*, 15(4), 3335-3350.

- Bozkuş, Z., ve Güner, A. İ. (2001). Pre-event dam failure analyses for emergency management. *Turkish Journal of Engineering and Enviromental Sciences*, 25(2001), 627-641
- Bukreev, V. I. (2005). On the water depth breach during a partial dam break. *Fluid Dynamics*, 40(5), 769-776.
- Chen, X., Chen, Q., Zhan, J. ve Liu, D. (2016). Numerical simulations of wave propagation over a vegetated platform. *Coastal Engineering*, 110(2016), 64-75.
- Chen, G., Huai, W. X., Han, J. ve Zhao, M. D. (2010). Flow structure in partially vegetated rectangular channels. *Journal of Hydrodynamics*, 22(4), 590-597.
- Chumchan, C. ve Rattanadecho, P. (2020). Experimental and numerical investigation of dam break flow propagation passed through complex obstacles using LES model based on FVM and LBM. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 42(3), 564-572.
- Da Silveira, A. F. (1990). Some considerations on the durability of dams. *International Water Power and Dam Construction*, 42(2), 1-30.
- Eijkelkamp Agrisearch Equipment (2011). *e+ WATER L and e+ CONTROL user manual*. Giesbeek, Netherlands: Eijkelkamp.
- Feizi, A. (2018). Hydrodynamic study of the flows caused by dam break around downstream obstacles. *The Open Civil Engineering Journal*, 12, 225-238.
- Flow Sciences, Inc. (2016). *Flow-3D user's manual*. Santa Fe: Flow Sciences, Inc.
- Flow Sciences, Inc. (b. t.). *Free surface fluid flow*. 16 Mayıs 2019, <https://www.flow3d.com/resources/cfd-101/free-surface-fluid-flow/>

Foster, M., Fell, R. ve Spannagle, M. (2000). The statistics of embankment dam failures and accidents. *Canadian Geotechnical Journal*, 37, 1000-1024.

Google Earth, (b. t.). 12 Mart 2016, <https://earth.google.com/web/search/Ürkmez+Barajı,+Bengiler,+Seferihisar%2fİzmir/@38.09304842,32.540743a,6970.19315116d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCYdVCpW-hDRAEYZVCpW-hDTAGc-XWlyApzJAicVnTLmU4VTA>

Güney, M. Ş., Tayfur, G. ve Arkış, T. (2015). Experimental investigation of the hydrograph characteristics effect on the flood propagation due to the failure of the distorted physical model of Ürkmez Dam. *Third International Conference on Advances In Civil, Structural and Environmental Engineering- ACSEE 2015*, Zürih, 185-192.

Güney, M. Ş., Tayfur, G., Bombar, G. ve Bayram, D. O. (2013). Taşkın dalgaları yayılmasının Ürkmez baraj gölü ve mansap bölgesinin çarpıtılmış fiziksel modeli ile deneysel araştırılması. *Taşkın ve Heyelan Sempozyumu*, Trabzon, 491-501.

Haltas, I., Tayfur, G. ve Elci, S. (2016). Two-dimensional numerical modeling of flood wave propagation in an urban area due to Ürkmez dam-break, İzmir, Turkey. *Natural Hazards*, 81, 2103-2119.

Harlow, F. H. ve Nakayama, P. I. (1967). Turbulence transport equations. *Physics Of Fluids*, 10, 2323.

He, Z., Wu, T., Weng, H., Hu, P. ve Wu, G. (2017). Numerical simulation of dam-break flow and bed change considering the vegetation effects. *International Journal of Sediment Research*, 32(1), 105-120.

Hirt, C. W. ve Nichols, B. D. (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics*, 39(1), 201–225.

İZSU, (b. t.). *Yerüstü su kaynakları*. 12 Mart 2016, <https://www.izsu.gov.tr/tr/TesisDetay/1/3/2?AspxAutoDetectCookieSupport=1>

Katul, G. G., Poggi, D. ve Ridolfi, L. (2011). A flow resistance model for assessing the impact of vegetation on flood routing mechanics. *Water Resources Research*, 47(8), 1-15.

Kocaman, S. (2007). *Baraj yıkılması probleminin deneysel ve teorik olarak incelenmesi*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

Kocaman, S. ve Güzel, H. (2011). Baraj yıkılması taşkın dalgası yayılmasının 3-boyutlu deneysel ve nümerik karşılaştırılması. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6(1), 1-9.

Kocaman, S. ve Özmen-Çağatay, H. (2015). Investigation of dam-break induced shock waves impact on a vertical wall. *Journal of Hydrology*, 525, 1-12.

Kolmogorov, A. N. (1942). Equations of turbulent motion in an incompressible fluid. *Izvestia Academy of Sciences*, (6), 56-58.

Kusuma, M. S. B., Setiawati, T. ve Farid, M. (2019). Experimental model of dam break flow around several blockages configurations. *International Journal of GEOMATE*, 16(58), 26-32.

Larocque, L. A., Imran, J. ve Chaudhry, M. H. (2013). Experimental and numerical investigations of two-dimensional dam-break flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(6), 569-579.

Lauber, G. ve Hager, W. H. (1998). Experiments to dambreak wave: Horizontal channel. *Journal of Hydraulic Research*, 36(3), 291-307.

- Li, W. Q., Wang, D., Jiao, J. L., Yang, K. J. (2018). Effects of vegetation patch density on flow velocity characteristics in an open channel. *Journal of Hydrodynamics*, 31, 1052-1059.
- Liu, L., Sun, J., Lin, B. ve Lu, L. (2018). Building performance in dam-break flow – an experimental study. *Urban Water Journal*, 15(3), 251-258.
- Marsooli, R. ve Wu, W. (2014). Numerical investigation of wave attenuation by vegetation using a 3D RANS model. *Advances in Water Resources*, 74, 245-257.
- Melis, M., Poggi, D., Fasanella, G. O. D., Cordero, S. ve Katul, G. G. (2019). Resistance to flow on a sloping channel covered by dense vegetation following a dam break. *Water Resources Research*, 55(2), 1040-1058.
- Met-Flow SA (2012). *UVP Monitor Model UVP-DUO with Software Version 3 user's guide*. Lausanne, Switzerland: Met-Flow SA.
- Nsom, B., Debiante, K. ve Piau, M. J. (2000). Bed slope effect on dam break problem. *Journal of Hydraulic Research*, 38(6), 459-464.
- Oguzhan, S., ve Aksoy, A. O. (2020). Experimental investigation of the effect of vegetation on dam break flood waves. *Journal of hydrology and hydromechanics*, 68, 231-241.
- Özmen-Çağatay, H. ve Kocaman, S. (2011). Dam-break flow in the presence of obstacle: experiment and CFD simulation. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 5(4), 541-552.
- Özmen-Çağatay, H., Kocaman, S. ve Güzel, H. (2014). Investigation of dam-break flood waves in a dry channel with a hump. *Journal of Hydro-environment Research*, 8(3), 304-315.

- Park, K. B. (2007). Analysis of hydrograph by dam breach shapes. *Journal of the Environmental Sciences*, 16(4), 487-493.
- Rodi, W. (1980). *Turbulence models and their application in hydraulics - a state of the art review*. Delft: International Association for Hydraulic Research.
- Sevinç, E., ve Güney, M. Ş., (2018). Time varied water depths and local velocities resulting from flood wave propagation in the distorted physical model of Ürkmez Dam in the case of partial vegetation. *5th International Symposium on Dam Safety*, İstanbul, 1027-1038.
- Shojaee Fard, M. H. ve Boyaghchi, F. A., (2007). Studies of the Influence of Various Blade Outlet Angles in a Centrifugal Pump when Handling Viscous Fluids. *American Journal of Applied Sciences*, 4(9), 718-724.
- Singh, V. P. (1996). *Dam breach modeling technology*. Dordrecht: Springer.
- Smagorinsky, J. (1963). General circulation experiments with the primitive equations, part 1, basic experiments. *Monthly Weather Review*, 91, 99-164.
- Soares Frazao, S., Le Grelle, N. ve Zech, Y. (2002). Dam-break flow experiments in idealised representation of complex topography and urban area. *1st Project Workshop*, Wallingford, 1-8.
- Soares Frazao, S., Lories, D., Taminiau, S. ve Zech, Y. (2003). Dambreak flow in a channel with a sudden enlargement. *Proceedings 30th IAHR Congress*, Selanik, 221-228.
- Soetanto, R. ve Proverbs, D. (2004). Impact of flood characteristics on damaged caused to UK domestic properties: The perceptions of building surveyors. *Structural Survey*, 22(2), 95-104.

- Stansby, P. K., Chegini, A. ve Barns, T. C. D. (1998). The initial stages of dam-break flow. *Journal of Fluid Mechanics*, 374, 407-424.
- Tayfur, G. ve Guney, M. S. (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. *2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering BCCCE*, Tiran, Arnavutluk, 890-900.
- Testa, G., Zuccala, D., Alcrudo, F., Mulet, J., ve Soares-Fraza, S. (2007). Flash flood flow experiment in a simplified urban district. *Journal of Hydraulic Research*, 45 (2007), 37-44.
- Tung, Y. K. ve Yen, B. C. (1993). Some recent progress in uncertainty analysis for hydraulic design. *Reliability and uncertainty analyses in hydraulic design* (17-34). New York: ASCE.
- TÜBİTAK 110M240 nolu proje (2012). *Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkınının deneysel ve metodlar ile araştırılması-gerçek barajlara CBS ortamında uygulanması*. Haritalar, Kesitler.
- TÜBİTAK 110M240 nolu proje (2013). *Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkınının deneysel ve metodlar ile araştırılması-gerçek barajlara CBS ortamında uygulanması*. Nihai Rapor.
- Tyrell, W. (2016). *Engineering disasters: Banqiao dam failure*. 2 Haziran 2021, <https://www.engineeringclicks.com/banqiao-dam/amp/>
- 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*, 1, 1483-1491.

- Wikipedia (b.t.). *List of major dam failures*. 2 Haziran 2021, https://en.wikipedia.org/wiki/Dam_failure#List_of_major_dam_failures
- Wilcox, D. C. (1998). *Turbulence Modeling for CFD* (2. Baskı). La Canada, California: DCW Industries, Inc.
- Wu, F. S., Wang, W. Y. ve Jiang, S. H. (2007). Hydrodynamics development in vegetated open channel, *Advances in Water Science*, 18(3), 456-461.
- Wu, Y., Guo, X., Fu, W. ve Chen, Y. (2012). Porous medium resistance model and simulation on effect of wave dissipation of mangrove forest. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 28(23), 91-97.
- Yakhot, V. ve Orszag, S. A. (1986). Renormalization group analysis of turbulence. I. basic theory. *J. Scientific Computing*, 1, 1-51.
- Yakhot, V. ve Smith, L. M. (1992). The renormalization group, the ϵ -expansion and derivation of turbulence models. *J. Scientific Computing*, 7, 35-61.
- Yalın, M. S. (1971). *Theory of hydraulic model*. London: The Macmillan Press Ltd.
- Yang, K., Cao, S. ve Knight, D. W. (2007). Flow patterns in compound channels with vegetated floodplains. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(2), 148-159.
- Yenigün, K., Sepetçioğlu, M. Y. (2012). Güncel baraj hasarlarının analizi. 3. *Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu*, Eskişehir, 393-401.
- Zhang, L. M., Xu, Y. ve Jia, J. S. (2007). Analysis of earth dam failures – a database approach. *ISGSR2007 First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk*, Shanghai, 293-302.

Zhang, M., Hao, Z., Zhang, Y. ve Wu, W. (2013). Numerical simulation of solitary and random wave propagation through vegetation based on VOF method. *Acta Oceanologica Sinica*, 32(7), 38-46.

Zhang, M., Xu, Y., Li, J., Qiao, H. ve Zhang, H. (2016). Interactions study of hydrodynamic-morphology-vegetation for dam-break flows. *Hindawi Mathematical Problems in Engineering*, 2016, 1-12.

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

EKLER

EK 1

FİZİKSEL MODELİN İNŞAAT SAFHALARI (TÜBİTAK 110M240, 2013)

Öncelikle fiziksel modelin inşa edileceği 300 m²'lik alan belirlenmiştir (Şekil EK 1.1).



Şekil EK 1.1 Model inşaatının yapıldığı alan (TÜBİTAK 110M240, 2013)

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 EK 1.2 (a)). Modelin inşa edileceği alanda tesviye işlemleri tamamlandıktan sonra mıcır dolgu malzemesi serilip sıkıştırılmıştır. İnşaat alanına platform betonu dökülmeden evvel yüzeysel suları toplayacak kanal ve drenaj borularının girişindeki rögar inşa edilmiştir. Beton dökülürken 8 mm çaplı hasır demirler yerleştirilmiştir (Şekil EK 1.2 (b)).

İmal edilen enkesitler belirlenen konum ve kotlara uygun olarak yerleştirilmiştir (Şekil EK 1.4 (a)). Baraj gövdesine yakın enkesitler sac levha yerine lama kullanılarak imal edilmiş ve baraj gövdesine kadar olan tüm enkesitler doğadaki topografyayı yansıtacak şekilde haritalar yardımıyla belirlenmiş, imal edilip yerleştirilmiştir (Şekil EK 1.4 (b)).



(a)

(b)

Şekil EK 1.4 (a) İmal edilen enkesitlerin yerleştirilmesi, (b) fiziksel modelde baraj gövdesine kadar olan kısım ile ilgili enkesitlerin yerleştirilmesi ve birbirleriyle birleştirilmesi (TÜBİTAK 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 EK 1.5 (a)). Baraj gölünün etrafı tuğlalar ile örülüp içi dolgu malzemesi ile doldurulmuştur (Şekil EK 1.5 (b)). Dolgu malzemesinin üzerine beton dökülmüştür (Şekil EK 1.5 (c)). Stabilite betonundan sonra tesviye amaçlı şap tabakası imal edilmiş ve yüzeyin son şekli verilmiştir. Baraj gölünün sızdırmazlığını sağlamak için izolasyon malzemesi ile sıvandıktan sonraki hali Şekil EK 1.5 (d)'de verilmektedir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil EK 1.5 (a) Baraj gölünün tuğla ile örülen duvarları, (b) baraj gölünün dolgu malzemesi ile doldurulması, (c) baraj gölünün betonlama işlemi, (d) baraj gölü (TÜBİTAK 110M240, 2013)

Mansap bölgesiyle ilgili güncel durumu yansıtan haritalar ve fotoğraflar gibi gerekli dokümanlar elde edildikten sonra, mansap bölgesine ait kesitlerin çizilmesi, imalatı ve akabinde yerleştirilmesi yapılmıştır. Mansap bölgesine ait kesitlerin tamamı yerleştirildikten sonra sahil şeridine karşılık gelen profil yerleştirilmiştir (Şekil EK 1.6 (a)). Mansap bölgesi için de betonlama işlemleri gerçekleştirilmiş (Şekil EK 1.6 (b)) ve daha sonra tesviye amaçlı şap tabakası imal edilmiş ve yüzeye son şekli verilmiştir (Şekil EK 1.6 (c)).



(a)

(b)



(c)

Şekil EK 1.6 (a) Mansap bölgesine ait kesitlerin tamamı ve sahil şeridinde karşılık gelen profilin yerleştirilmesi, (b) mansap bölgesinin betonlanması, (c) mansap bölgesinin şap tabakası ile kaplanması (TÜBİTAK 110M240, 2013)

Mansap bölgesinin tamamlanmasından sonra, İZSU'dan alınan haritalar yardımıyla yerleşim planında bulunan evlerin imalatı ve montajı gerçekleştirilmiştir. Bir kat yüksekliğinin 3 m olduğu kabul edilerek kat yükseklikleri 10 cm olmak üzere farklı yüksekliklerde ahşap bloklar imal edilmiştir. Daha sonra bu bloklar; matkap, vida ve epoksi yardımıyla zemine monte edilmiştir. Bölgede daha çok 1 ve 2 katlı yapılar bulunmaktadır. Yapılan teknik incelemelerde yazlık yerleşimin deniz kenarında, narenciye ağaçlarının ise baraja yakın bölgelerde olduğu görülmüştür. Çok katlı

yerleşim daha çok deniz kenarında ve baraj gövdesinin aşağısında kalan orta alanda bulunmaktadır (Şekil EK 1.7 (a)). Şekil EK 1.7 (b), mansap bölgesindeki Seferihisar-Kuşadası yolunu göstermektedir. Yol, teknik gezilerde yapılan gözlemlerden elde edilen tespitlere uygun olarak zeminin 1,5-2 cm üstüne yapılmıştır.



(a)

(b)

Şekil EK 1.7 (a) Yerleşim bölgesinin oluşturulması, (b) Seferihisar-Kuşadası karayolu (TÜBİTAK 110M240, 2013)

Şekil EK 1.8 (a) fiziksel modelde rahat çalışılabilmesi ve deney aletlerinin güneşten zarar görmemesi için modelin üstüne yapılan sundurmayı göstermektedir. Ani yıkılma mekanizması düz dikdörtgen şeklindeki kapağın aniden devrilmesiyle gerçekleştirilmiştir (Şekil EK 1.8 (b)). Dikdörtgen şeklindeki kapak alt kısmından mafsallıdır. Kapağı tutan bölme motor içeren bir mekanizma vasıtasıyla yukarıya doğru çekilmekte ve böylece gerisindeki suyun etkisiyle kapak aniden devrilerek açılmaktadır.



(a)

(b)

Şekil EK 1.8 (a) Sundurma ve fiziksel modelin son hali, (b) ani yıkılma mekanizması (TÜBİTAK 110M240, 2013)

EK 2

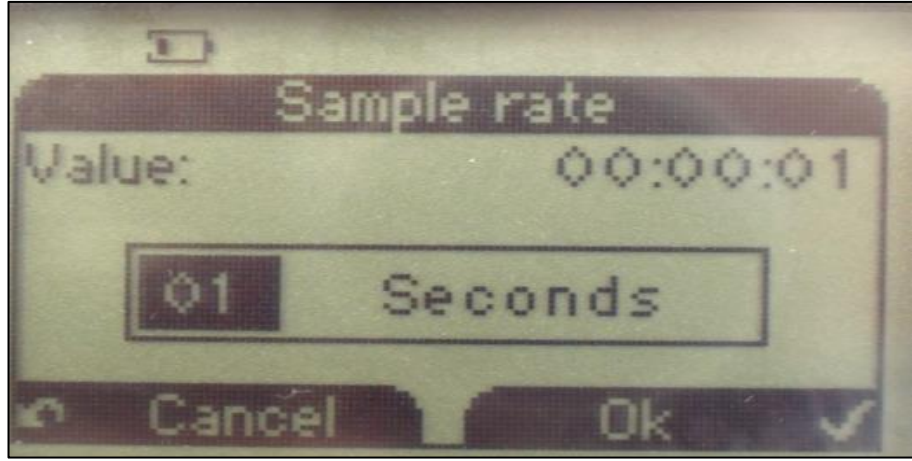
DENEY ÖNCESİ VE SONRASINDA SEVİYE ÖLÇÜM CİHAZININ KULLANIMI İLE İLGİLİ GERÇEKLEŞTİRİLEN İŞLEMLER

Özel kablosu vasıtası ile seviye ölçüm çubuklarına, USB kablosu vasıtasıyla da bilgisayara bağlanan kontrol cihazının üzerinde bulunan tuşlar ve bu tuşların fonksiyonları Şekil EK 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil EK 2.1 Seviye ölçümünde kullanılan kontrol cihazının üzerinde bulunan tuşlar ve bu tuşların fonksiyonları (Kişisel arşiv, 2013)

Deneye başlamadan önce cihazın tarih ve saat ayarları güncellenir. Yön tuşları kullanılarak, "Main Menu"den, "e+ CONTROL Settings"e geçilir ve onay tuşuna basılır. Bu menünün "Date/Time" alt menüsü yardımıyla, cihazın tarih ve saat ayarları yapılır. Deneylerde kullanılan zaman aralığı (sample rate) ayarlamasını yapabilmek için "Main Menu" altındaki "Sensor Settings" menüsüne girilir. Daha sonra "Sensor Settings" menüsü altındaki "Sample Rate" menüsüne girilir ve bu menüde Şekil EK 2.2’de gösterildiği gibi zaman aralığı en düşük değer olan 1 saniye olarak ayarlanır ve onay tuşuna basılır.



Şekil EK 2.2 Seviye ölçümünde kullanılan kontrol cihazı ile zaman aralığının ayarlanması (Kişisel arşiv, 2013)

Deney esnasında seviye ölçüm çubuklarının zamana bağlı su derinliklerini kaydetmeleri için, cihaz özel kablosu vasıtasıyla seviye ölçüm çubuklarına bağlanır ve seviye ölçüm çubuklarının ölçüme başlayacağı zaman belirlenir. Tüm seviye ölçüm çubuklarının istenilen bir zamanda aynı anda kayıt yapmaya başlamalarını sağlamak amacıyla cihazın akıllı başlatma (smart future start) özelliği kullanılmıştır. "Main Menu" altındaki "Start/Stop Sensor" menüsüne girilir ve bu menüden "Smart Future Start" menüsüne girilir. Bu menüde Şekil EK 2.3'te gösterildiği gibi seviye ölçüm çubuklarının ölçüme başlayacağı tarih ve saat bilgileri girilir.



Şekil EK 2.3 Seviye ölçümünde kullanılan kontrol cihazı ile ölçüme başlanılması istenen tarih ve saat bilgilerinin ayarlanması (Kişisel arşiv, 2013)

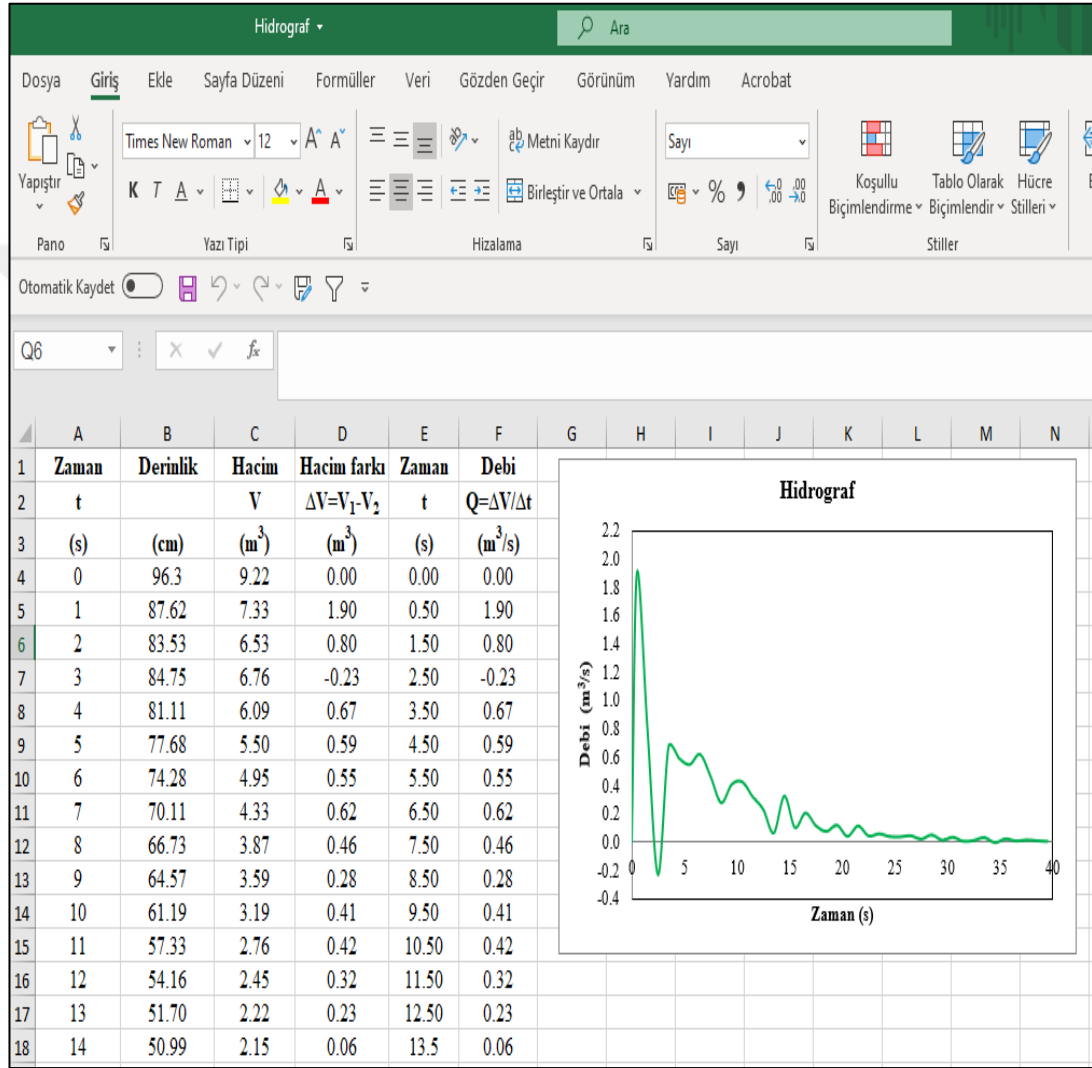
Cihaz ile yapılan işlemlerin ardından deney gerçekleştirilir. Deneyin tamamlanmasından sonra seviye ölçüm çubukları, ölçüm kayıtlarını almaya devam eder. Bu nedenle ölçüm işleminin sonlandırılması ve seviye ölçüm çubuklarının kayıtlarının depolanması gerekir. Bu işlemi gerçekleştirmek için, cihaz tekrar seviye ölçüm çubuklarına bağlanır. "Main Menu" altındaki "Start/Stop Sensor" menüsünden "Stop Sensor" seçilerek ölçüm çubuklarının kayıt alma işlemi durdurulur. Daha sonra, "Main Menu" altındaki "Read Sensor" menüsüne girilir ve "Read Completely" seçilerek seviye ölçüm çubuklarının kayıtlarının okunması ve cihaza depolanması sağlanır.

Son işlem olarak, cihazda depolanan zamana bağlı su derinliği değerleri, cihazın içindeki "MONFILES" klasöründen, cihazın USB kablosu vasıtasıyla bağlandığı bilgisayara kaydedilir.

EK 3

TAŞKIN HİDROGRAFININ OLUŞTURULMASINA AİT ÖRNEK

Bitki örtülü Deney 3'e ait taşkın hidrografi grafiğinin oluşturulması için hazırlanan Excel tablosu örnek olarak verilmektedir (Şekil EK 3.1).



Şekil EK 3.1 Taşkın hidrografi grafiğinin oluşturulmasına ait örnek

EK 4

SEVİYE ÖLÇER HAM VERİLERİNE AİT ÖRNEK

Seviye ölçerlerden elde edilen ham verilere örnek olarak bitki örtülü Deney 3'e ait S2 seviye ölçeri ham verileri Şekil EK 4.1'de verilmektedir. Ham verilerde cihazla ilgili verilen genel bilgilerden sonra, sırasıyla ölçüm tarihi, saati, cm biriminde su derinliği ile santigrat derece biriminde hava sıcaklığı bilgileri yer almaktadır.

```
Data file for Esense logger.
=====
USER      : Eijkelpamp Agrisearch Equipment
COMP.STATUS: Do
DATE      : 30-12-2016
TIME      : 15:00:44
FILENAME  : P0783_S2_201612301440_till_201612301500.MON
CREATED BY : e+Control 1.0.5 #28063
===== BEGINNING OF DATA =====
[Instrument info]
Instrument type   =E+sens=52
Status           =Gestopt =2
Serial number    =.N61-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
```

Şekil EK 4.1 Seviye ölçer ham verilerine ait örnek

```

Data file for Esense logger.
=====
USER      : Eijkkelkamp Agrisearch Equipment
COMP.STATUS: Do
DATE      : 30-12-2018
TIME      : 15:00:44
FILENAME  : P0783_S2_201812301440_till_201812301500.MON
CREATED BY : e+Control 1.0.5 #28083
===== BEGINNING OF DATA =====
[Instrument info]
Instrument type   =E+sens=52
Status          =Gestopt =2
Serial number    =.N61-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

```

Şekil EK 4.1 Devamı

```

[Instrument info from data header]
Serial number      =.N61-P0783 252.
Instrument number   =EAE#313128-P0783
Location           =S2
Sample period       =00 00:00:01 0
Sample method       =T
Start date / time   =00:40:14 30/12/16
End date / time     =26:00:15 30/12/16
[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]
1227
2016/12/30 14:43:56.0    0.00    4.24
2016/12/30 14:43:57.0    0.00    4.24
2016/12/30 14:43:58.0    2.15    4.24
2016/12/30 14:43:59.0    1.12    4.24
2016/12/30 14:44:00.0    3.22    4.26
2016/12/30 14:44:01.0    3.89    4.28
2016/12/30 14:44:02.0    3.48    4.26
2016/12/30 14:44:03.0    6.11    4.28
2016/12/30 14:44:04.0    4.92    4.32
2016/12/30 14:44:05.0    4.89    4.28
2016/12/30 14:44:06.0    3.55    4.34
2016/12/30 14:44:07.0    4.42    4.34
2016/12/30 14:44:08.0    3.24    4.34
2016/12/30 14:44:09.0    6.63    4.36
2016/12/30 14:44:10.0    6.05    4.36
2016/12/30 14:44:11.0    6.53    4.42
2016/12/30 14:44:12.0    5.09    4.40

```

Şekil EK 4.1 Devamı

2016/12/30 14:44:13.0	5.35	4.44
2016/12/30 14:44:14.0	4.45	4.46
2016/12/30 14:44:15.0	3.77	4.48
2016/12/30 14:44:16.0	2.68	4.52
2016/12/30 14:44:17.0	2.90	4.53
2016/12/30 14:44:18.0	2.50	4.42
2016/12/30 14:44:19.0	2.05	4.55
2016/12/30 14:44:20.0	1.82	4.59
2016/12/30 14:44:21.0	1.71	4.63
2016/12/30 14:44:22.0	1.22	4.63
2016/12/30 14:44:23.0	0.34	4.65
2016/12/30 14:44:24.0	0.21	4.67
2016/12/30 14:44:25.0	0.00	4.69
2016/12/30 14:44:26.0	0.00	4.75
2016/12/30 14:44:27.0	0.00	4.77
2016/12/30 14:44:28.0	0.00	4.77
2016/12/30 14:44:29.0	0.00	4.83
2016/12/30 14:44:30.0	0.00	4.85
2016/12/30 14:44:31.0	0.00	4.85
2016/12/30 14:44:32.0	0.00	4.89
2016/12/30 14:44:33.0	0.00	4.94
2016/12/30 14:44:34.0	0.00	4.94
2016/12/30 14:44:35.0	0.00	4.98
2016/12/30 14:44:36.0	0.00	4.96

Şekil EK 4.1 Devamı

EK 5

HIZ ÖLÇER HAM VERİLERİNE AİT ÖRNEK

Hız ölçerlerden elde edilen ham hız verilerine örnek olarak, bitki örtülü Deney 3'e ait T03 UVP algılayıcısı ham verileri verilmektedir. Ham veriler, hızlara ait grafiklerin oluşturulması için Excel tablosuna aktarılmaktadır (Şekil EK 5.1).

```
Profiles of kid 135.03 measurement
Data of transducer #3 from 'E:\YIKILMA-B-39 30.12.2016\Deney 102-2016 12 30\kid
135.mfprof' file
Data
Measurement was stopped by user
Profiles 539 to 7999 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    = 30.12.2016 13:32:18
End time        = 30.12.2016 13:32:18
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
```

Şekil EK 5.1 Hız ölçer ham verilerine ait örnek

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	3	1	15.0	0

Şekil EK 5.1 Devamı

[illegible]

	A	B	C	D	E	F	G	H5	H6T	H8U	H9V	BW	BX	BY	BZ	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL				
1																															
2																															
3	Su derinliği (cm)		Ortalama hız (m/s)																												
4																															
5		52			U2	15	Channel #	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82				
								45.96	46.69	47.41	48.13	48.86	49.58	50.31	51.03	51.75	52.48	53.20	53.93	54.65	55.37	56.10	56.82	57.54	58.27	58.99	59.72				
6	0.0		0		Enterasyon	Profile #	Time (s)	Hız değerleri (mm/s)																	Düşey konum değerleri (mm)						
7	1.0		0	0.00	0		0.4																								
8	2.15		21.5	1.29	21.50	1	2	2777.20	2566.70	2352.80	2299.40	2299.40	2406.30	2085.50	1925.00	2780.60	3315.40	2673.70													
9	3.112		11.2	1.38	23.80	2	3.6	2620.20	2780.60	2566.70	2299.40	2192.40	1764.60	1764.60	2299.40	2673.70	3048.00	3154.90	3208.40	3208.40	3101.50	3154.90									
10	4.322		32.2	1.62	38.08	3	5.2	2406.30	2620.20	3154.90	3368.80	3475.80	3689.70	3368.80	2994.50	2994.50	2566.70	2834.10	3208.40	3048.00	2994.50	2673.70	2834.10	2673.70	2566.70	2620.20	2192.40				
11	5.389		38.9	0.32	55.84	4	6.8	962.50	802.10	809.10	1176.40	1122.90	855.60	748.60	748.60	802.10	1229.90	1016.00	1069.50	809.10	1229.90	1016.00	1122.90	962.50	802.10	588.20					
12	6.348		34.8	1.72	48.08	5	8.4	1550.70	1657.70	2299.40	2513.30	2406.30	2352.80	2352.80	2459.80	2834.10	3101.50	3313.40	3368.80	3261.90	3315.40	3154.90	3208.40	3048.00	3261.90	3315.40	3208.40				
13	7.611		61.1	1.59	35.50	6	10	1925.00	2032.00	2138.90	2299.40	2459.80	2459.80	2459.80	2532.80	2459.80	2566.70	2620.20	2513.30	2245.90	1925.00	2032.00	1764.60	1925.00	1925.00	1818.10	1925.00				
14	8.492		49.2	0.21	26.60	7	11.6	0.00	0.00	481.30	267.40	320.80	213.90	481.30	481.30	374.30	641.70	962.50	1229.90	962.50	962.50	855.60	802.10	695.20	855.60						
15	9.489		48.9	1.53	65.34	8	13.2	1069.50	962.50	1122.90	1229.90	1283.40	1390.30	1390.30	1443.80	1604.20	1604.20	1657.70	1711.20	1497.30	1336.80	1229.90	1283.40	1336.80	1283.40	1176.40	1176.40				
16	10.335		35.5	1.32	64.34	9	14.8	1443.80	1550.70	1657.70	1925.00	1711.20	1871.60	1818.10	1657.70	1925.00	2138.90	2352.80	2566.70	2513.30	2459.80	2299.40	2085.50	2032.00	2299.40	2352.80	2352.80				
17	11.442		44.2	1.05	51.94	10	16.4	53.50	641.70	748.60	802.10	909.10	1099.50	1099.50	1122.90	1229.90	1122.90	909.10	855.60	855.60	909.10	1122.90	1176.40	1229.90	1336.80	1283.40					
18	12.324		32.4	0.62	44.50	11	18	213.90	53.50	106.90	213.90	481.30	641.70	802.10	802.10	962.50	855.60	748.60	641.70	748.60	641.70	748.60	641.70	588.20	588.20	748.60					
19	13.653		66.3	0.32	31.16	12	19.6	213.90	213.90	534.70	213.90	320.80	267.40	213.90	160.40	213.90	481.30	695.20	802.10	695.20	588.20	481.30	748.60	962.50	1122.90	1229.90					
20	14.605		60.5	0.21	28.20	13	21.2	213.90	0.00	481.30	641.70	427.80	427.80	320.80	481.30	427.80	588.20	374.30	534.70	909.10	962.50	855.60	909.10	962.50	1229.90	1069.50					
21	15.633		65.3	0.07	21.40	14	22.8	53.50	0.00	106.90	53.50	213.90	213.90	213.90	427.80	534.70	748.60	588.20													
22	16.509		50.9	-0.20	17.76	15	24.4	213.90	213.90	213.90	53.50	213.90	53.50	213.90	427.80	534.70	748.60	588.20	588.20												

EK 6

FLOWSIGHT PROGRAMINDAN ELDE EDİLEN HAM ÇIKTI ÖRNEKLERİ

Başlangıç sınır şartının baraj gölü olduğu ve bitki örtülü durumda gerçekleştirilen simülasyondan elde edilen, S2 noktasına ait su derinliği değerleri aşağıda verilmektedir.

Time	Flow_depth_selected vs. time at pt: 8.05 4.55 0.3
9.989927E-01	0.000000E+00
1.999593E+00	8.428274E-02
3.000046E+00	9.348747E-02
4.000457E+00	9.276725E-02
4.999776E+00	9.639482E-02
6.000085E+00	9.974410E-02
7.000236E+00	9.435008E-02
7.999078E+00	9.377724E-02
9.000387E+00	8.700033E-02
1.000027E+01	8.536412E-02
1.100001E+01	8.153971E-02
1.200148E+01	7.361638E-02
1.300059E+01	6.831074E-02
1.399881E+01	6.697311E-02
1.500063E+01	6.475925E-02
1.600014E+01	5.718847E-02
1.699880E+01	5.129287E-02
1.799797E+01	4.671878E-02
1.899852E+01	4.390071E-02
2.000020E+01	4.127847E-02
2.099953E+01	3.446902E-02
2.199954E+01	3.016883E-02
2.299928E+01	2.344839E-02
2.399910E+01	1.911182E-02
2.500117E+01	1.823436E-02
2.600064E+01	1.567414E-02
2.699808E+01	1.385653E-02
2.800064E+01	1.225634E-02
2.899903E+01	9.900570E-03
2.999848E+01	9.276712E-03

Şekil EK 6.1 FLOWSIGHT programından elde edilen su derinliği değerlerine ait örnek

Başlangıç sınır şartının baraj gölü olduğu ve bitki örtülü durumda gerçekleştirilen simülasyondan elde edilen, T03 noktasında 1 cm su derinliğindeki noktasal hız değerleri aşağıda verilmektedir.

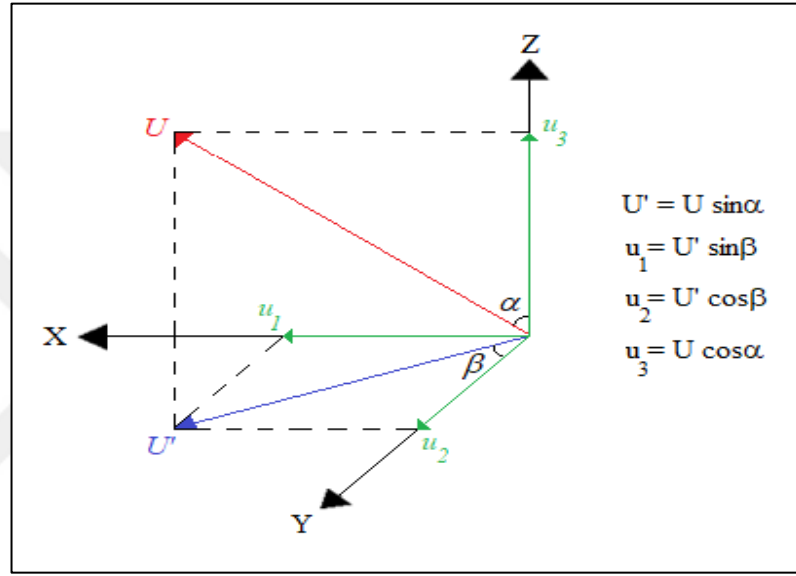
Time	Velocity__selected[x] vs. time at pt: 7.71 4.38 0.33	Velocity__selected[y] vs. time at pt: 7.71 4.38 0.33	Velocity__selected[z] vs. time at pt: 7.71 4.38 0.33
9.989927E-01	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.999593E+00	7.735898E-01	2.766169E+00	-1.342579E-01
3.000046E+00	6.934232E-01	2.763528E+00	-9.450813E-02
4.000457E+00	7.064432E-01	2.778759E+00	-9.801916E-02
4.999776E+00	6.928231E-01	2.749226E+00	-9.434121E-02
6.000085E+00	6.837007E-01	2.729994E+00	-9.374066E-02
7.000236E+00	6.683788E-01	2.677044E+00	-1.038065E-01
7.999078E+00	6.584492E-01	2.635553E+00	-9.828413E-02
9.000387E+00	6.105205E-01	2.549988E+00	-9.737595E-02
1.000027E+01	5.608152E-01	2.470319E+00	-1.341896E-01
1.100001E+01	5.512851E-01	2.385577E+00	-1.296818E-01
1.200148E+01	5.424953E-01	2.335891E+00	-1.304645E-01
1.300059E+01	5.415662E-01	2.280711E+00	-1.244459E-01
1.399881E+01	5.454062E-01	2.215817E+00	-1.182283E-01
1.500063E+01	4.843457E-01	2.135691E+00	-1.111942E-01
1.600014E+01	4.753477E-01	2.046128E+00	-9.711623E-02
1.699880E+01	5.101588E-01	1.982450E+00	-1.126197E-01
1.799797E+01	4.654167E-01	1.979740E+00	-9.506632E-02
1.899852E+01	4.427914E-01	1.956620E+00	-1.003784E-01
2.000020E+01	4.443853E-01	1.830526E+00	-6.291568E-02
2.099953E+01	3.103865E-01	1.873438E+00	-1.107585E-01
2.199954E+01	2.876566E-01	1.800991E+00	-8.429524E-02
2.299928E+01	1.568401E-01	1.641292E+00	-7.280634E-02
2.399910E+01	7.398909E-02	1.422424E+00	-6.779330E-02
2.500117E+01	1.897731E-01	1.236040E+00	-7.802242E-02
2.600064E+01	1.324101E-01	1.168193E+00	-6.493650E-02
2.699808E+01	1.372070E-01	1.145915E+00	-7.076055E-02
2.800064E+01	8.744380E-02	1.072347E+00	-7.221217E-02
2.899903E+01	5.875317E-02	9.525086E-01	-7.708324E-02
2.999848E+01	3.187687E-02	9.254161E-01	-8.281618E-02
3.061559E+01	7.238103E-03	8.490362E-01	-8.782139E-02

Şekil EK 6.2 FLOWSIGHT programından elde edilen hız değerlerine ait örnek

EK 7

SAYISAL ÇALIŞMALARDA HESAPLANAN NOKTASAL HIZLARIN UVP YÖNÜNDEKİ BİLEŞENLERİNİN BELİRLENMESİ

Deneyssel çalışmalarda, düşeyde Z eksenini ile α açısı ve yatayda Y eksenini ile β açısı yapacak şekilde, UVP algılayıcılarının doğrultusunda U hızlarının ölçümü gerçekleştirilmiştir (Şekil EK 7.1).



Şekil EK 7.1 UVP algılayıcıları ile ölçülen U hızlarının sırası ile X, Y ve Z eksenleri doğrultusundaki u_1 , u_2 ve u_3 hız bileşenleri

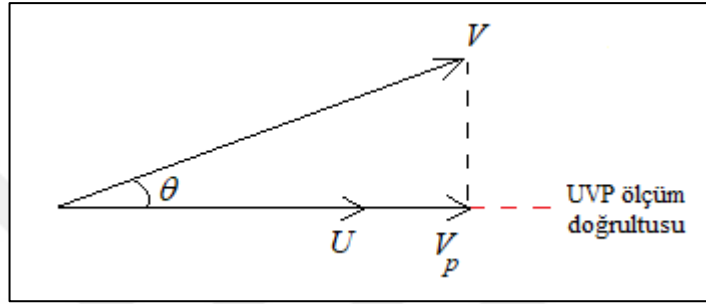
Ölçülen U hızları ile hız bileşenleri arasındaki bağıntı (EK 7.1) denkleminde verilmiştir.

$$\|U\| = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \quad (\text{EK 7.1})$$

Sayısal çalışmalarda, V hızlarının sırasıyla X, Y ve Z doğrultularında v_1 , v_2 , ve v_3 hız bileşenleri hesaplanmıştır. Hesaplanan V hızları ile hız bileşenleri arasındaki bağıntı (EK 7.2) denkleminde verilmiştir.

$$\|V\| = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2} \quad (\text{EK 7.2})$$

Deneyisel çalışmalardan elde edilen UVP doğrultusundaki U hızları ile sayısal çalışmalardan elde edilen V hızlarının karşılaştırılabilmesi için, Şekil Ek 7.2’de verilen V hızlarının UVP doğrultusundaki bileşenleri (V_p) Ek 7.3 denklemi kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil Ek 7.2 Sayısal çalışmalardan elde edilen V hızının UVP doğrultusundaki bileşeni (V_p)

$$V_p = \frac{U \cdot V}{\|U\|} = \|V\| \cos \theta \quad (\text{EK 7.3})$$

Ek 7.3 denkleminde verilen $U \cdot V$ değeri EK 7.4 denkleminde elde edilmektedir.

$$U \cdot V = u_1 v_1 + u_2 v_2 + u_3 v_3 \quad (\text{EK 7.4})$$

Bitki örtüsüz ve bitki örtülü durumlarda, farklı noktalarda 1 cm ve 3 cm su derinliğindeki noktasal hızların UVP doğrultusundaki bileşenleri Excel tabloları kullanarak elde edilmiştir. Bitki örtülü durumda T03 noktasında 1 cm su derinliğindeki noktasal hızların UVP doğrultusundaki bileşenlerinin hesaplanması için kullanılan Excel tablosu örnek olarak Şekil EK 7.3’te verilmiştir. Sayısal çözümden 1 s aralıklarla hız değerleri elde edildiği için, sayısal çözüm hız değerleri deneysel zamanlara göre enterpole edilmiştir.

Dosya

Giriş

Ekle

Sayfa Düzeni

Formüller

Veri

Gözden Geçir

Görünüm

Yapıştır

Times New Roman

11

A⁺

A⁺

≡

≡

≡

↺

↻

ab

Metni Kaydır

K

T

A

≡

≡

≡

↺

↻

Birleştir ve Ortala

Pano

Yazı Tipi

Hizalama

Otomatik Kaydet

R24

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		Deneysel ($\alpha=15^{\circ}$, $\beta=28,2^{\circ}$)				Sayısal						
2	Zaman	$\ U\ $	u_1	u_2	u_3	v_1	v_2	v_3	$\ V\ $	U.V	$v_p = \frac{U.V}{\ U\ }$	θ
3	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2	0.70	0.09	0.16	0.67	0.77	2.77	-0.13	2.88	0.41	0.60	78.0
6	3.6	0.20	0.02	0.04	0.19	0.70	2.77	-0.10	2.86	0.12	0.62	77.4
7	5.2	0.11	0.01	0.02	0.10	0.69	2.75	-0.09	2.83	0.07	0.62	77.4
8	6.8	0.12	0.01	0.03	0.12	0.67	2.69	-0.10	2.77	0.07	0.60	77.6
9	8.4	0.11	0.01	0.02	0.10	0.64	2.60	-0.10	2.68	0.06	0.58	77.6
10	10	0.91	0.11	0.21	0.88	0.56	2.47	-0.13	2.54	0.46	0.50	78.6
11	11.6	0.05	0.01	0.01	0.05	0.55	2.36	-0.13	2.42	0.02	0.48	78.6
12	13.2	0.21	0.03	0.05	0.21	0.54	2.27	-0.12	2.33	0.10	0.46	78.5
13	14.8	0.18	0.02	0.04	0.17	0.50	2.15	-0.11	2.21	0.08	0.44	78.4
14	16.4	0.12	0.02	0.03	0.12	0.49	2.02	-0.10	2.08	0.05	0.42	78.3
15	18	0.05	0.01	0.01	0.05	0.47	1.98	-0.10	2.04	0.02	0.42	78.2
16	19.6	0.20	0.02	0.05	0.19	0.44	1.88	-0.08	1.93	0.08	0.41	77.8
17	21.2	0.37	0.05	0.08	0.36	0.31	1.86	-0.11	1.89	0.13	0.36	79.0
18	22.8	0.16	0.02	0.04	0.15	0.18	1.67	-0.08	1.68	0.05	0.33	78.7
19	24.4	0.05	0.01	0.01	0.05	0.12	1.35	-0.07	1.36	0.01	0.00	0.00

Şekil Ek 7.3 Noktasal hızların UVP doğrultusundaki bileşenlerinin hesaplanması için kullanılan Excel tablosu örneği