



**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hevin BOZKURT

**BARAJLARDA DOLUSAVAK ETRAFINDAKİ
AKIŞ YAPISININ CFD İLE ANALİZİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OSMANİYE – 2022

**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BARAJLARDA DOLUSAVAK ETRAFINDAKİ AKIŞ
YAPISININ CFD İLE ANALİZİ**

Hevin BOZKURT

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANİYE
HAZİRAN-2022**

TEZ ONAYI

BARAJLARDA DOLUSAVAK ETRAFINDAKİ AKIŞ YAPISININ CFD İLE ANALİZİ

Hevin BOZKURT tarafından Dr. Öğr. Üyesi Suat Önal danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi / Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Suat ÖNAL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Prof. Dr. Recep YURTAL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, ÇÜ

Üye: Prof. Dr. Mustafa MAMAK
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Hevin BOZKURT



ÖZET

BARAJLARDA DOLUSAVAK ETRAFINDAKİ AKIŞ YAPISININ CFD İLE ANALİZİ

Hevin BOZKURT

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Suat Önal

Haziran 2022, 94 sayfa

Barajlar, su kaynaklarının geliştirilmesi ve yenilenebilir enerji üretimi alanında inşası yapılan, ülke ekonomisine katkıda bulunan mühendislik yapılarından birisidir. Dolusavak, baraj membasına gelen suların emniyetli bir halde baraj mansabına aktarmayı sağlayan baraj elemanlarıdır. Dolusavak tasarımında performans belirleyici nitelikte daha hızlı, ekonomik ve güvenli hesaplama yöntemlerine ihtiyaç duyulduğu söylenebilir. Bu çalışmada, bir laboratuvar dolusavak modeli üzerinde yapılan deneysel çalışmaların sonuçları ile aynı geometriye sahip modelin etrafındaki akış yapısının sayısal yöntemlerle hesaplanmasından gözlemlenen sonuçların mukayesesi yapılmaktadır. Tasarım amaçlı çalışmalar, gerektiğinde, fiziksel model deneyleriyle desteklenebilmekle birlikte, bu çalışmalar zaman alıcı olduğundan proje maliyetini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Özellikle son yıllarda bilgisayar teknolojisinin gelişimine paralel olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde kapsamlı yazılımların ortaya çıkmasıyla diğer endüstri dallarındaki gibi hidrolik dalında da sonlu farklar, sonlu elemanlar, sonlu hacimler gibi sayısal çözümleme teknikleri kullanılarak akış yapılarının analizi ile hidrolik yapılar modellenenilmektedir. Bu çalışmada, Muş Alpaslan II Barajı'nın dolusavağına ait iki boyutlu geometri AutoCAD kullanılarak modellenmiş, dolusavak modeli ile etkileşim halindeki akımı idare eden temel denklemler, sonlu hacimler yöntemine dayalı Ansys-Fluent Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılım programıyla sayısal olarak çözülmüştür. Çok fazlı akımlar için Volume of Fluid (VOF) metodu kullanılmıştır. Türbülans modelinde RANS yaklaşımı tercih edilmiştir. Sayısal modelde RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) denklemleri RNG (Renormalized Group) türbülans modeli kullanılarak, ortogonal hesap hücreleri üzerinde çözülmüştür. Dolusavak modellemesinde akımda su yüzey alanının sayısal hesaplaması yapılmış ve elde edilen sonuçlar DSİ-TAKK dairesi başkanlığınca yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılarak birbiriyle uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dolusavak, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği(HAD),Türbülans Modelleme, Fluent, Su Yüzey Profili

ABSTRACT

CFD ANALYSIS OF THE FLOW STRUCTURE AROUND THE SPILLWAY IN THE DAMS

Hevin BOZKURT

Master Thesis, Civil Engineering Major Science Dalı

Supervisor : Dr. Suat Önal

June 2022, 94 page

Dams are one of the important engineering structures built within the scope of the development of water resources and renewable energy production, contributing to the development of the country. Spillways are dam elements that are used to safely transfer the flood waters coming from the dam reservoir to the downstream of the dam. It can be said that there is a need for faster, economical and safer calculation methods that determine performance in the design of the spillway. In this study, the results obtained from the experimental studies on a laboratory spillway model and the results observed from the calculation of the flow structure around the model with the same geometry by numerical methods are compared. Although design studies can be supported by physical model experiments, when necessary, such studies are time consuming and can negatively affect the cost of the project. Especially in recent years, in parallel with the development of computer technology, CFD software-extensive with the emergence of other industries, as in the hydraulic branch, finite differences, finite elements, finite volumes using techniques such as quantitative analysis, the analysis of the flow structures hydraulic structures can be modeled. In this study, the two-dimensional geometry of the Spillway of Muş Alpaslan II Dam was modeled using AutoCAD, and the basic equations governing the flow in interaction with the spillway model were numerically analyzed with the Ansys-Fluent CFD software package program based on the finite volume method. has been resolved. Volume of Fluid (VOF) method was used for multiphase currents. The RANS approach has been preferred in the turbulence model. In the numerical model, RANS equations are solved on orthogonal calculation cells by using the RNG turbulence model. In the design of the spillway, the numerical solution of the water field in the flow the results obtained have been interpreted by comparing them with the model test results conducted by the DSI-TAKK department. It was observed that the results were consistent with each other.

Keywords: Spillway, Computational Fluid Dynamics(CFD), Turbulance models, Fluent, Water surface profile,



Çok değerli aileme ve eşime...

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konumun belirlenip tez çalışmamın yürütülmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Suat ÖNAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitim sürem boyunca üzerimde emeği olan Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde görev yapan değerli hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince ANSYS-FLUENT programını kullanmayı öğrenmem için destek olan ve yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Nehir TOKGÖZ hocama teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm öğrenim hayatım boyunca beni destekleyen ailem ve eşime çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İTHAF SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2.GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR VE GENEL TERİMLER	4
2.1.Geçmiş Çalışmalar.....	4
2.2.Genel Terimler.....	8
2.2.1.Baraj.....	8
2.2.1.2.Barajların yapım amacı.....	9
2.2.1.3. Barajın bölümleri.....	9
2.2.1.4.Baraj türleri.....	10
2.2.1.5.Alpaslan II Barajı Baraj Gövdesi.....	10
2.2.2. Dolusavak.....	11
2.2.2.1.Alpaslan II Barajı Dolusavak Yapısı.....	12
2.2.3.Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği	13
2.2.4.Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analiz Süreci	14
2.2.4.1.Problem Tespiti	15
2.2.4.2.Ön İşlemler	17
2.2.4.3.Çözüm.....	19
2.2.4.4. Son İşlemler	20
2.2.4.5.Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Temel Denklemleri	21
2.2.5.Ansys Fluent.....	24
2.2.5.1.Ansys Fluent Akış Analizi Kapsamı.....	25
2.2.5.2.Ansys Hava Akış Analizi.....	25
2.2.5.3.Fluent Teknik Özellikleri	25
2.2.5.4.Fluent Had Analiz Programının Özellikleri.....	26
2.2.5.5.Ansys Fluent Akış Analizi Yapma Metotları.....	26
2.2.6.Autocad.....	27

3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	28
3.1. Giriş.....	28
3.2.Navier-Stokes Denklemleri.....	28
3.3.Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) Denklemleri	31
3.4.RNG k-ε Türbülans Denklemleri.....	32
3.5.VOF (Volume Of Fluid Method) Akışkan Hacimleri Yöntemi.....	34
3.6 Ogee Tipi Dolusavak.....	35
3.7Ogee Kret Deşarj Kapasitesi	35
3.8. Autocad Çizim Programı.....	37
3.9.Microsoft Excel Programı.....	38
4.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	39
4.1. Giriş.....	39
4.2. Geometrik Tasarım	39
4.3.Hesap Ağının Oluşturulması.....	46
4.4.Sınır Koşulları	51
4.5. Setup Aşaması.....	54
4.6. Fiziksel Özellikler	56
4.6.1.Türbülans Modeli	66
4.6.2.Hava Sürüklenmesi Modeli	67
4.6.3.Yüzey ve Akışkan Özellikleri	67
4.6.4.Eşik Yapısı Basınç Ölçümleri	67
4.7.Sayısal Analiz Sonuçları	70
5.SONUÇ VE ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR.....	90
ÖZGEÇMİŞ	92
EKLER.....	93

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Alpaslan II Barajı ogee kret karakteristikleri.....	37
Çizelge 4.2. Alpaslan II Barajı dolusavak yapısı taban kotları.....	77
Çizelge 4.3. $Q= 3204 \text{ m}^3/\text{s}$ için eşik üzerinde hesaplanan basınç değerleri (kenar).....	80
Çizelge 4.4. $Q=5952,85 \text{ m}^3/\text{s}$ için eşik üzerinde hesaplanan basınç değerleri deneysel ve fiziksel karşılaştırması ve hata oranı.....	83



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Muş Alpaslan II Barajı.....	8
Şekil 2.2. Muş Alpaslan II Barajı dolusavak yapısı.....	11
Şekil 2.3. Ansys Fluent akış analizi.....	24
Şekil 2.4. Autocad programı Alpaslan II Barajı dolusavak modellemesi(xy düzlemi).....	27
Şekil 3.5. Ağ elemanlarının doluluk oranı.....	35
Şekil 3.6. Membra yüzü dik olan dolusavaklar için boşaltım katsayısı.....	36
Şekil 4.7. Dolusavak modeli Autocad 2 boyutlu yan profil çizim.....	41
Şekil 4.8. Dolusavak modeli Autocad 2 boyutlu üstten görünüş.....	41
Şekil 4.9. Autocad dolusavak Modeli 3 boyutlu çizgisel (kafes) görünüş.....	42
Şekil 4.10.(Autocad) Alpaslan II Barajı dolusavak modeli 3 boyutlu katı görünüş.....	42
Şekil 4.11. (Ansys-Fluent-SpaceClaim)Alpaslan II Barajı dolusavağı 2 boyutlu katı model.....	43
Şekil 4.12.(Ansys-Fluent-SpaceClaim)Alpaslan II Barajı dolusavağı 3 boyutlu katı model.....	43
Şekil 4.13. Alpaslan II Barajı dolusavağı planı.....	44
Şekil 4.14. Alpaslan II Barajı dolusavağı profili.....	45
Şekil 4.15. (Tanımlı seçimler) Tanımlanan sınır koşulları.....	47
Şekil 4.16. Hücrelere bölme bölüm detayları.....	48
Şekil 4.17. Alpaslan II Barajı dolusavak modeli en-boy oranı değerleri dağılımı.....	49
Şekil 4.18. En-boy oranı ve istatistikler.....	49
Şekil 4.19. Alpaslan II Barajı dolusavağı hesap ağı (x-y düzlemi).....	50
Şekil 4.20. Alpaslan II Barajı dolusavağı hesap ağı (Membadan görünüş).....	50
Şekil 4.21. Alpaslan II Barajı dolusavağı hesap ağı (Kanal görünüş)	51
Şekil 4.22. Alpaslan II Barajı dolusavağı hesap ağı (Enerji kırıcı görünüş)	51
Şekil 4.23. Alpaslan II Barajı dolusavağı DesignModeler akışkan etki alanı(suyüzey).....	53
Şekil 4.24. Alpaslan II Barajı dolusavağı DesignModeler katı etki alanı (katıyüzey)	53
Şekil 4.25. Kurulum başlangıç ayarlama sayfası.....	54
Şekil 4.26. Alpaslan II Barajı dolusavak kurulum bölümü.....	55
Şekil 4.27. Genel ayarlamalar	56
Şekil 4.28. Sıcaklık (derece) değişikliği.....	56
Şekil 4.29. Türbülans modeli.....	57
Şekil 4.30. Alpaslan II Barajı dolusavak modelleme Fluent veritabanı.....	57

Şekil 4.31. Fluent veritabanına su-akışkan ekleme.....	58
Şekil 4.32. Su-akışkan düzenleme	58
Şekil 4.33. Akışkan hacmi.....	59
Şekil 4.34. Akışkan hacmi birinci aşama (hava).....	60
Şekil 4.35. Akışkan hacmi ikinci aşama (su).....	60
Şekil 4.36. Alpaslan II Barajı dolusavak sınır şartları.....	61
Şekil 4.37. Alpaslan II Barajı dolusavak modeli $Q=5953 \text{ m}^3/\text{s}$ için hız değeri.....	62
Şekil 4.38. Alpaslan II Barajı dolusavak modeli hacim oranı.....	62
Şekil 4.39. Alpaslan II Barajı dolusavak modelleme kalan ekranlar.....	63
Şekil 4.40. Alpaslan II Barajı ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) dolusavak başlatma.....	63
Şekil 4.41. Alpaslan II Barajı dolusavak modeli uzantı.....	64
Şekil 4.42. Alpaslan II Barajı hız konturu.....	65
Şekil 4.43. Kontur seçim aşaması.....	65
Şekil 4.44. Hesaplamayı çalıştırma.....	66
Şekil 4.45. Eşik ve deşarj kanalı üzerindeki basınç çizgisi ($Q=6480,15 \text{ m}^3/\text{s}$) (kenar).....	68
Şekil 4.46. Eşik ve deşarj kanalı üzerindeki basınç çizgisi ($Q= 5890,93 \text{ m}^3/\text{s}$) (kenar).....	68
Şekil 4.47. Eşik ve deşarj kanalı üzerindeki basınç çizgisi ($Q= 4898,36 \text{ m}^3/\text{s}$) (kenar).....	68
Şekil 4.48. Eşik ve deşarj kanalı üzerindeki basınç çizgisi ($Q=4292,06 \text{ m}^3/\text{s}$) (kenar).....	68
Şekil 4.49. Eşik ve deşarj kanalı üzerindeki basınç çizgisi ($Q= 3525,91 \text{ m}^3/\text{s}$)(kenar).....	69
Şekil 4.50. Eşik ve deşarj kanalı üzerindeki basınç çizgisi ($Q= 2486,75 \text{ m}^3/\text{s}$)(kenar).....	69
Şekil 4.51. Eşik ve deşarj kanalı üzerindeki basınç çizgisi($Q= 1610,45 \text{ m}^3/\text{s}$) (kenar).....	69
Şekil 4.52. Eşik ve deşarj kanalı üzerindeki basınç çizgisi ($Q= 852,05 \text{ m}^3/\text{s}$) (kenar).....	69
Şekil 4.53. Hız büyüklüğü.....	71
Şekil 4.54 Alpaslan II Barajı ($Q:3204 \text{ m}^3/\text{s}$) dolusavak hız büyüklüğü	71
Şekil 4.55. Toplam basınç.....	72
Şekil 4.56. Alpaslan II Barajı ($Q:3204 \text{ m}^3/\text{s}$) dolusavak toplam basınç.....	72
Şekil 4.57. Alpaslan II Barajı ($Q:3204 \text{ m}^3/\text{s}$) çözüm XY planı.....	73
Şekil 4.58. Alpaslan II Barajı ($Q:3204 \text{ m}^3/\text{s}$) XY kayıt.....	73
Şekil 4.59. Alpaslan II Barajı ($Q:3204 \text{ m}^3/\text{s}$) dolusavak hız büyüklüğü(m/s)	74
Şekil 4.60. Alpaslan II Barajı ($Q:3204 \text{ m}^3/\text{s}$) dolusavak statik basınç(Pa)	74
Şekil 4.61. Alpaslan II Barajı ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) dolusavak yapısı hızın vektörel gösterimi....	75
Şekil 4.62. Alpaslan II Barajı $Q:5953 \text{ m}^3/\text{s}$ için basınç değerleri.....	75
Şekil 4.63. Alpaslan II Barajı $Q:5953 \text{ m}^3/\text{s}$ için hız değerleri.....	76
Şekil 4.64. Alpaslan II Barajı ($Q:5953 \text{ m}^3/\text{s}$) dolusavak statik basınç(Pa).....	76
Şekil 4.65. Alpaslan II Barajı ($Q:5953 \text{ m}^3/\text{s}$) Dolusavak Hız Büyüklüğü(m/s)	77
Şekil 4.66. Alpaslan II Barajı dolusavak taban kotları.....	78

Şekil 4.67. Alpaslan II Barajı dolusavak yapısı	78
Şekil 4.68. Alpaslan II Barajı ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) basınç grafiği ve dolusavak yapısı	81
Şekil 4.69. Alpaslan II Barajı ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) hız ve dolusavak yapısı.....	81
Şekil 4.70. Dolusavak kenarı boyunca oluşan basınç çizgisi ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) (Ansys-Fluent-Sayısal hesaplama)	82
Şekil 4.71. Dolusavak kenarı boyunca oluşan basınç çizgisi ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) (Fiziksel deneyler).....	82
Şekil 4.72. Alpaslan II Barajı eşik üzerindeki basınç çizgisi ($Q= 5952,85 \text{ m}^3/\text{s}$) (kenar) (fiziksel deney-sayısal hesaplama).....	84
Şekil 4.73. Dolusavak kenarı boyunca oluşan basınç çizgisi $Q=5952,85 \text{ m}^3/\text{s}$) (Fiziksel deney).....	85
Şekil 4.74. Dolusavak kenarı boyunca oluşan basınç çizgisi $Q=5952,85 \text{ m}^3/\text{s}$) (Ansys-Fluent-Sayısal hesaplama).....	85
Şekil 4.75. Alpaslan II Barajı ($Q=5952,85 \text{ m}^3/\text{s}$) hız ve dolusavak yapısı.....	86

SİMGELER VE KISALTMALAR

Sembol	Anlamı	Birim
A	Kesit alan	(m ²)
R	Kütle oranı	(-)
t	Zaman	(s)
x	Akış yönündeki koordinat	(m)
V	Hacim	(m ³)
ε	Rejeneratör etkinliği	(-)
λ	Isı iletim katsayısı	(W m ⁻¹ K ⁻¹)
ρ	Yoğunluk	(kg m ⁻³)
b :	Savak genişliği	(m)
Cd :	Debi katsayısı	(-)
Cv :	Hız katsayısı	(-)
Cs :	Savak katsayısı	(-)
F :	Akışkan hacmi	(m ³)
g :	Yer çekimi ivmesi	(m ² /s)
h :	Savak membrasındaki akım yüksekliği	(m)
L :	Savak boyu	(m)
P :	Basınç	(Pa)
Q :	Debi	(m ³ /s)
u :	Hız vektörünün x bileşeni	(m/s)
V :	Hız vektörü	(m/s)
v :	Hız vektörünün y bileşeni	(m/s)
w :	Hız vektörünün z bileşeni	(m/s)
P _{atm} :	Hava basıncı	(kPa)
P _{vap} :	Suyun buhar basıncı	(kPa)
P _{wat} :	Akım basıncı	(kPa)
ρ_{wat} :	Suyun yoğunluğu	(kg/m ³)
V _{wat} :	Akış hızı	(m/s)
σ :	Kavitasyon indeksi	(-)
HT:	Atmosfer basıncının da dahil olduğu mutlak su yükü	(mss)
HV:	Su buhar basınç yükü	(mss)

Re :	Reynolds sayısı
RANS :	Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes
RKE :	Realizable k- ϵ türbülans modeli
RNG :	Renormalization Group k- ϵ türbülans modeli
RSM :	Reynolds Stress türbülans modeli
SKE :	Standart k- ϵ türbülans modeli
SST :	Shear Stress Transport k- ω türbülans modeli
MKW :	Modified k- ω türbülans modeli
HAD :	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
2D :	İki boyutlu
3D :	Üç boyutlu
VOF :	Volume of Fluid
CFD :	Computational Fluid Dynamics
FVM :	Finite Volume Method
PISO :	Pressure implicit splitting of operator
SIMPLE :	Simi-implicit method for pressure-linked equation
Fr :	Froude sayısı
DNS :	Direct Numerical Simulation
MMF :	Mixture Multiphase Flow
FAVOR :	Fractional Area/Volume Method

1. GİRİŞ

Barajlar, çok eski tarihlerden beri insanlığın su ihtiyacını karşılamak ve tarımsal alanların sulanması amacı ile inşa edilen su yapılarıdır. Günümüzde modern barajlar gelişmekte olan ülkelerde enerji üretiminde, ülkelerin tarımsal hayatı için ve taşkın önleme amacıyla inşa edildiklerinden stratejik öneme sahiptirler. Barajları oluşturan yapıların tasarımları yapım amaçlarına göre değişiklik gösterse de baraj yapısı vadiyi kapatan baraj gövdesi ve diğer tesislerden oluşur.

Dolusavaklar, taşkın sularının baraj yapısını etkilemeden mansaba güvenli bir şekilde aktarılmasını sağlayan yapılardır. Serbest alıslı (kontROLSÜZ) ve kapaklı (kontrollü) olmak üzere iki farklı çeşit inşa edilebilmektedir. Serbest akışlı dolusavaklar karşıdan alıslı, kuyulu, sifonlu, labirent, yandan alıslı, basamaklı ve tehlike savakları şeklinde sınıflandırılmaktadır. Kontrollü dolusavaklar kullanıldığı kapak türüne göre silindirik kapak, düşey düz kapak, radyal kapak, çatı kapak ve sektör kapaklı dolu savaklar şeklinde isimlendirilmektedir. Kapaklı dolu savaklar kapaksızlara göre maliyet bakımından daha ekonomiktir. Bunun yanında, membadaki su seviyesini daha hassas ayarlama ve daha yüksek deşarj kapasitesine sahip olma gibi avantajlara sahiptir [1].

Alpaslan II Barajı ve hidroelektrik santrali (HES), Türkiye’de, Doğu Anadolu Bölgesi’nde, Muş ilinde, Fırat nehrinin ana kollarından Murat nehri üzerinde Muş kent merkezine yaklaşık 34 km uzaklıkta ve Murat nehrinin 1267 m talveg kotunda projelendirilmiştir. Projenin tamamlanması ile yıllık 780 GWh/yıl elektrik enerjisi üretimi planlanmaktadır. Söz konusu Barajın kuruluş amacı Muş İlini taşkından korumak, Muş Ovasını sulamak ve enerji üretimi sağlamaktır. Baraj tipi kil çekirdekli kaya dolgu olarak projelendirilmiş olup talvegden olan yüksekliği 99m’dir. Şüt kanalı olası en büyük taşkın hidrografi ve enerji kırıcı havuz 10000 yıl tekerrürlü taşkın hidrografi pik değeri olan 3204 m³/s kullanılarak boyutlandırılmıştır. Şüt kanalı boyunca gerçekleştirilen standart adım metodu ile su yüzü hesabında taşkın öteleme sonucunda bulunan maksimum debi değeri 5952,85m³/s kullanılmıştır. Alpaslan II Barajı’nın dolusavağı sol sahile yerleştirilmiş olup karşıdan alıslı, ogee profilli, radyal kapak kontrollü bir dolusavaktır. Toplamda beş radyal kapak tasarımı ile yapılmış ve enerji kırıcı havuzludur.

Bu çalışmada, Alpaslan II Barajı'nın sol sahile yerleştirilmiş olup karşıdan alışı, ogee profilili, radyal kapak kontrollü dolusavak yapısını hidrolik açıdan değerlendirmek için literatürde deneysel çalışmalar ile uyumlu sonuçlar verdiği bilinen Ansys-Fluent yazılımı tercih edilmiştir. Laboratuvarında hazırlanmış dolusavak modeli üzerinden elde edilmiş deneysel veriler, aynı tasarıma sahip modelin sayısal hesap yöntemleriyle elde edilen verilerinin doğrulanmasında kullanılmıştır. Dolusavak modeli ile etkileşim durumundaki akımı idare eden ana denklemler, sonlu hacimler yöntemine dayalı Ansys-Fluent sayısal hesaplama programı ile sayısal olarak çözümlenmiştir.

DSİ-TAKK (Devlet Su İşleri-Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol) dairesi başkanlığınca yapılan fiziksel model deney sonuçlarının çeşitli debilerde ölçülen hız ve basınç değerleri Ansys-Fluent yazılım programı ile sayısal çözümler sonrası elde edilen basınç ve su yüzü değerleri karşılaştırılmıştır. Sayısal verilerde dolusavak üzerinden geçen su yüzey profili olarak Akışkan hacimler yöntemi ile hesap edilmiştir. Fiziksel deneylerde ise su yüzü profili için standart adım yöntemi kullanılmıştır.

Öncelikle dolusavak modeli projede verilen bilgiler doğrultusunda birebir aynı olacak şekilde Autocad çizim programı ile iki boyutlu (2D) olarak çizilmiş olup modelle aynı boyutlarda model elde edilmiştir. Elde edilen model iki boyutlu olduğundan dışa aktarılıp uzantısı “.iges” olacak şekilde kayıt edilmiştir. Bunun sebebi Ansys-Fluent programının eski sürümlerinde “.dwg” dosyaları doğrudan okunamamaktadır. Ansys-Fluent okuma işlemi yapılırken SpaceClaim bölümünde okuma işlemi yapıp model programa aktarılmalıdır. Aktarılan model üzerinde yüzey oluşturma aşaması bu bölümde gerçekleştirilebilir. Su olan bölge ve katı bölge olarak tanımlanmalıdır. Eğer düzenleme yapılacaksa DesignModuler bölümünde çizgiler veya diğer durumlarda değişiklikler yapılabilmektedir. Sonrasında ağ bölümüne geçilir. Burada aktarılan model üzerinde sınır koşulları tanımlanmıştır. Meshing bölümünde model hücrelere bölünüp ağ işlemi gerçekleştirilmiştir. Ağ kalitesi kontrol edilmiştir. Ağ işlemi ile elde edilen hücrelerin her biri için başlangıç bölümünde sınır şartları verilmiştir. Ve program çalıştırılmış zamana bağlı iterasyonlar gerçekleştirilmiştir. Çözüm kısmında model üzerinde temel denklemler sonlu hacimler yöntemine dayalı Ansys-Fluent yazılım programı ile çözülmüş ve sonuç elde edilmiştir. Elde edilen veriler Microsoft Excel yazılım programı yardımı ile grafiksel olarak düzenlenmiş ve DSİ-TAKK

(Devlet Su İşleri- Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol) dairesi başkanlığından elde edilen tablo ve verilerle kıyaslama yapılmıştır.

Dolusavak deşarj kanalı boyunca ve enerji kırıcı havuzda basınç ve hız karakteristikleri;

- Olası en büyük taşkın ötelenmiş pik debi değeri olan 5952,85 m³/s için ve
- 10000 yıl tekerrürlü taşkın debisi (3204 m³/s) için incelenmiştir.
- Dolusavak eşik yapısı ve takip eden deşarj kanalı üzerinde 12 noktada Km=0+000-0+166,63 m arasında farklı su yüklerinde basınç ölçümleri yapılmıştır. 15 m, 14 m, 12,5 m, 11,5 m, 10 m, 8 m, 6 m ve 4 m su yükleri için eşik üzerinde kenar boyunca oluşan basınç çizgileri hesapları yapılmıştır.

2. GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR VE GENEL TERİMLER

2.1. Geçmiş Çalışmalar

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği akışkanların davranışlarını inceleyen bir sayısal yöntemdir. HAD analizi teorisi her geçen süre içinde gelişmekte olup ve sürekli olarak dünyanın çeşitli bölgelerinde birçok bilimsel çalışma bu alanda yürütülmektedir. Doğruluk ve güvenilirlik konusunda önemli noktalara gelinmekte olup çok fazla problem HAD analizleri ile önceden saptanılmakta ve çözüm bulunmaktadır.

Savage ve Johnson (2001), Ogee dolusavak üzerindeki çözümlerde hata oranının çok az hatta %0 olduğunu görmüşlerdir. Bu nedenle çalışmalarını fiziksel model ile nümerik model arasındaki farklılıkları, avantaj ve dezavantajları belirlemek amacıyla yapmışlardır [2].

Tabbara ve diğ. (2005), 2004 yılında yaptıkları ogee profilili dolusavak üzerindeki çalışmalarını, Ansys-Fluent programını kullanarak basamaklı dolusavaklar üzerinde yapmışlardır. Yine bu çalışmalarında basamaklı dolusavak üzerinde karakteristik özellikleri incelemişler ve HAD yazılımlarının çok güçlü olduklarını belirtmişlerdir [3].

Gümüş ve Kırkgöz (2014), laboratuvarındaki bir dolusavak modelinin akış halindeki hızları ve su yüzü profilini ölçmüşlerdir. Fiziksel deney ile aynı özelliklerde olan akımı idare eden temel denklemleri Ansys-Fluent programı ile Sonlu Hacimler yöntemi ile sayısal olarak çözmüşlerdir. Sayısal modellemede, Standard k- ϵ , Renormalization-group k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans kapatma modellerini kullanmışlar. Nümerik model bulgularının doğrulanmasına yönelik olarak deneysel bulgularla yapılan karşılaştırmalar, Renormalization-group k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modellerinden elde edilen nümerik bulguların birbirlerine çok yakın, ve her iki modelin de hız alanı ve su yüzü profilinin hesaplanmasında Standard k- ϵ modeline göre daha iyi sonuçlar verdiğini görmüşlerdir [4].

Tiğrek ve diğerleri (2015), Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği uygulamalarının olasılıklarını Fluent sayısal hesaplama programını kullanarak üç örnek üzerinde

incelemişlerdir. İlk örnekte bir dolusavağın havalandırıcılarının performansını, ikinci örnekte türbin kondüvi ve dinlendirici havuz, üçüncü örnekte ise sediment dip savağı incelemişlerdir. Her üç örnekte açık kanal olduğundan akışkan hacimleri yöntemini kullanmışlardır. Elde edilen veriler bilinen ve kabul edilmiş tasarım yöntemleriyle boyutlandırılan yapıların hidrolik akım koşulları sayısal benzetim yöntemiyle incelemişler ve akabinde nümerik modelleme çözümleri sonucunda yapıların şekli ve boyutlarının yeniden tasarlanmasına karar vermişlerdir [5].

Aköz ve diğerleri (2018), laboratuvar kanalında, dolusavak mansabında bulunan enerji kırııcı yapı ile etkileşim halindeki serbest yüzeyle akımın hız alanı Laser Doppler Anemometresi (LDA) ile ölçmüşlerdir. Deney koşullarındaki iki-boyutlu türbülanslı akımlar için Sonlu Hacimler Yöntemine dayalı Ansys-Fluent sayısal hesaplama programı ile denklemleri nümerik olarak çözmüşlerdir. Nümerik hesaplamalarda RSM türbülans kapatma modeli kullanmışlar ve su yüzü profillerini Akışkan Hacimleri (VOF) yöntemi ile belirlemişlerdir. Sayısal hesaplamalardan elde edilen su yüzü ve hız profillerini deneysel ölçümlerle karşılaştırmışlardır. Sayısal modelde elde edilen bulgularının deneysel olarak doğrulanması kısmında yaptıkları karşılaştırmalarda, RSM türbülans modelinin incelenen akım probleminde hız alanı, su yüzü profili ve enerji kaybının belirlenmesinde başarılı olduğu sonucuna varmışlardır [6].

İkinciogulları ve diğerleri (2018), çalışmalarında klasik yan savakların yerine labirent yan savakları kullanmayı ve bunların hidrolik karakteristiklerini nümerik çözümlerle belirlemek istemişlerdir. Aynı savak açıklığı için klasik ve labirent yan savakların debi değerlerini Flow-3D yazılımı kullanılarak karşılaştırmışlardır. Klasik ve labirent yan savaklar için üç farklı nap yükünü (0.80, 1.00 ve 1.60 m) kullanmışlardır. Birde labirent yan savaklar için üç farklı savak açısı (20°, 30° ve 40°) göz önünde tutularak dokuz adet model üzerinde çalışmışlardır. Bu şekilde toplamda on iki adet 3D nümerik model oluşturmuşlar ve debi değerlerini karşılaştırmışlardır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği analizlerinde türbülans modeli olarak LES (Large Eddy Simulation) modelini kullanmışlar. Her iki model için de çözüm ağının boyutları 0.10 m alınarak, klasik yan savaklar için 5,180,000 adet, labirent yan savak için ise 5,700,000 adet hücreye sahip yüksek çözünürlüklü yapısal mesh kullanmışlardır. Elde edilen verilere göre, aynı savak açıklığı için trapez labirent yan savakların klasik yan savaklara oranla yaklaşık %80 oranında daha fazla debi deşarj edebildiğini

gözlemişlerdir. Bu nedenle aynı miktarda debiyi daha az bir açıklıkta geçirilebileceğinden, labirent yan savakların kullanımının daha ekonomik olacağını belirtmişlerdir. Birde labirent yan savaklar için savak açısı düştükçe, efektif savak uzunluğu arttığı için, deşarj edilebilen debi miktarında da artış olduğunu görmüşlerdir [7].

Gümüş ve diğerleri (2018), bir dolusavak modelinde yan duvarların akım alanına olan etkisini ölçmek amacıyla iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) nümerik analiz sonuçlarını yapılan çalışmada ele alınan koşullar içinde en yüksek eğimde ve en büyük debi durumunda deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Dolusavak akımını idare eden temel denklemleri Sonlu Hacimler Yöntemi ve Realizable $k-\epsilon$ türbülans modeli ile 2D ve 3D sayısal olarak çözmüşlerdir. Kanal boyunca elde ettikleri deneysel 13 farklı hız alanını 2D ve 3D sayısal model sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Şüt kanalı orta ekseninde akım alanına yan duvarların etkisinin Ortalama Karesel Hata parametresi kullanıldığında hata değerinin düşük olduğunu belirlemişlerdir [8].

Telkiran ve diğerleri (2019), Mersin Dereyurt gölet örneğinde kontrolsüz (kapaksız) olarak modellenen dolusavağın üzerinden geçen akımın profili taşkın öteleme hesapları sonucunda elde edilen maksimum debiye bağlı olarak standart adım yöntemi (SAY) ve sonlu hacimler yöntemi kullanılarak hesaplamışlardır. Model (RSM) türbülans modelleri kullanarak, sonlu hacimler yöntemine dayalı ANSYS-Fluent programı yardımıyla sayısal olarak çözmüşlerdir. Su yüzü profilinin sayısal hesabında Akışkan Hacimler Yöntemi (VOF) kullanmışlardır. SKE, MKW, SST ve RSM türbülans modellerinden elde edilen akım profillerinin SAY ile hesaplanan akım profiliyle oldukça uyumlu olduğu görmüşler. Bununla birlikte ortalama karesel hata (OKH) kriteri kullanılarak yapılan niceliksel karşılaştırmalardan, RSM türbülans modelinin diğer türbülans modellerine göre az da olsa daha başarılı olduğu sonucuna ulaşmışlardır [9].

Aydın ve Kaplan (2019), Ilısu Barajı dolusavak havalandırıcılarının 1982 ilk tasarımı ile 2010 revize modelinin performanslarını Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemi kullanılarak incelenmişlerdir. İlk olarak 1982 ilk tasarımının üç boyutlu HAD analizlerini yapmışlar ve havalandırıcı performansının yetersiz olduğunu tespit etmişlerdir. Daha sonra, 2010 revize tasarımının sayısal modellemesini yaparak

havalandırıcı performansı üzerinde çalışmışlardır. Her iki tasarım için detaylı bir şekilde HAD sonuçlarını elde etmişler ve karşılaştırmalı olarak değerlendirmişler. HAD analizlerinden elde ettikleri sonuçlara göre 2010 revize tasarımın havalandırma performansının çok daha iyi olduğunu tespit etmişler ve bu tasarımın dolusavak şut kanallarını kavitasyon hasarından olabildiğince koruyabileceği sonucuna varmışlardır [10].

Kumcu ve Uçar (2020), Adana il sınırları içerisinde Köprü Barajı hidrolik yapısının modellemesi aşamasında, projeyi etkileyen parametre değerlerinin tümünün sayısal olarak belirtilmesi mümkün olamadığından, yapım maliyeti oldukça yüksek olduğu için bu yapılarda hatalardan kaçınmak ve en iyi çözümü bulmak için deneysel tasarım çalışmaları yapılarak projenin uygunluğunun test edilmesi olasıdır. Bu gaye ile, Köprü Barajı dolusavak yapısının da deneysel tasarım çalışmaları yapılmıştır. Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı (TAKK) hidrolik laboratuvarında yürütülen fiziksel deneyler 1/60 model ölçeği ile inşa edilmiştir [11].

Aydın ve Özdemir (2022), çalışmalarında dolusavak yapısında beton yüzeyinde oluşan kavitasyon hasarı ve dolusavak havalandırıcılarının kavitasyon üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu gaye ile Muş Alpaslan II barajı dolusavağı modelinin üç boyutlu sayısal modeli hazırlanıp farklı Froude sayılarında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri gerçekleştirmişlerdir. Sonrasında farklı bir havalandırıcı tipi olan alttan alıslı havalandırıcı modele yerleştirilerek orijinal havalandırıcılara benzer şekilde HAD analizleri gerçekleştirmişler ve sonuçları kıyaslama yapıp, her iki havalandırıcının da kavitasyon hasarından yeterince korunduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca elde edilen sonuçları literatürdeki farklı tip ve yöntemlerle elde edilen havalandırıcı sonuçları ile de karşılaştırmışlardır. [12].

2.2. Genel Terimler

2.2.1. Baraj

Baraj, eski dönemlerden beri insanların su (temel) gereksinimini karşılamak ve tarım bölgelerinin sulanması ve günümüzde de elektrik üretimi amacıyla inşa edilen su yapılarıdır. Şekil 2.1’de sayısal hesaplama yaptığımız Muş Alpaslan II barajına ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 2.1. Muş Alpaslan II Barajı

Günümüzde modern barajlar yapıları stratejik olarak önem taşımaktadırlar.

Çünkü;

- Enerji üretiminde gelişmekte olan ülkelerde büyük etki sahibidirler.
- Ülkenin zirai faaliyetleri için çok fazla önem arz etmektedirler.
- Taşkın önleme sebebiyle inşa edildikleri için yıkılmaları durumunda büyük alanlara zarar verecek ve su baskınları yaşanacaktır.

Hidroelektrik enerji üreten barajlar, diğer enerji üretim çeşitlerine göre daha çevre dostudur ve ülkenin enerji üretiminin en doğal yoludur. Çok büyük alana sahip barajlar, bulunduğu bölgede iklim değişikliğine sebep olmakta ve ekolojik dengeye zarar verebilmektedir ve bu nedenle son dönemlerde büyük barajların inşaları durdurulmuştur.

Genellikle çok yağış alan kesimlerde taşkın önleme sebebiyle bağlamalar, barajlar ve göletler inşa edilmektedir.

Barajlardan tarımsal arazilere açılan kanallarla su aktarılır ve sulama işlemi yapıldığı için zirai arazilerin sulanmasında büyük bir önem taşımaktadırlar.

Projemizde Alpaslan II Barajı dolusavak yapısı ile ilgili sayısal çözümler yapılmıştır. Baraj yapısı ile ilgili genel bilgiler aşağıda yer almaktadır.

Yeri : Muş

Akarsu : Murat

Amacı : Taşkın koruma, sulama, enerji

2.2.1.2. Barajların yapım amacı

- İçme ve kullanma suyu temini
- Sanayi suyu kullanımı
- Sulama suyu
- Hidroelektrik üretimi
- Su ürünleri üretimi
- Mesire alanı oluşturma

2.2.1.3. Barajın bölümleri

- Baraj gövdesi: Vadilerin kapatılarak baraj gölü oluşumunu sağlayan yapılardır. Beton, kaya, toprak
- Baraj gölü: Baraj gövdesinin gerisinde suların biriktiği kısımdır. Baraj gölünün boşaltılamayan bölümüne ölü hacim, kullanılabilen bölümüne faydalı hazne hacmi denilir.
- Su alma yapısı: Barajdaki suyu almaya yarayan yapıdır.
- Dip savak: Zorunlu olduğunda baraj gölünün tamamen boşaltılmasını sağlayan tesis.
- Dolu savak: Barajın alamayacağı fazla gelen suların boşaltılmasına yarayan kanallardır. Üstten aşmalı, yandan çevirmeli ve kuyu tipi dolu savaklar uygulanır.
- Çevirme (Derivasyon) tesisleri: Akarsu yatağı tabanında kuru zeminde çalışmayı sağlamak amaçlı, inşaat süresince akarsuyu yatağından uzaklaştıran açık veya kapalı iletim sistemleridir.

2.2.1.4. Baraj türleri

- **Beton barajlar:** Genel olarak ağırlık barajlarıdır. Baraj gölü sularının itme gücüne ağırlığı ile karşı koyarlar.
 - a)Ağırlık barajları: Geniş kanyon vadiler için uygulanan barajlardır.
 - b)Kemer barajları: Akarsuyun geliş yönüne (membra) doğru kavisli tek duvar şeklinde yapılır. Kavisli yapısından dolayı kemer barajlar yapıldığı yerlerde yamaçların sağlam olması gerekmektedir çünkü kavisli yapısı su basıncını yamaçlara iletir.
 - c)Payandalı barajlar: Geniş kanyonlara genellikle uygulanan ve az malzeme ile yapılabilen ekonomik barajlardır. Suların itme kuvvetine payandaları ve eğimli veya düz beton gövde ile temele aktarırlar.
 - d)Silindirle sıkıştırılmış beton baraj: Vibrasyonlu silindir ile sıkıştırılan beton bant sistemi veya kamyonla taşınır.
- **Dolgu barajlar:** Geçirimsiz, heterojen tabanlı, geniş vadilerde kullanılan yapılardır. Malzeme baraj yeri çevresinden alınır. Genelde çakıl, kum, kil ve silt gibi malzemelerdir ve ağır makineler ile sıkıştırma işlemi yapılır.
 - a)Toprak: İnce tabakalı veya üniform gövdeli yapılabilen malzemenin %50'sinin toprak olduğu barajlardır.
 - b)Kaya: Kullanılan malzemenin %50'sinde fazlasının kaya olduğu sızdırmazlık için beton, kil, asfalt gibi malzemelerin kullanıldığı barajlardır. Baraj alanına yakın malzeme bulunabilirse kaya gövdeli barajlar yapılabilir.
 - c)Toprak+kaya: Toprak ve kayaların birlikte kullanıldığı baraj tipi [13].

2.2.1.5. Alpaslan II Barajı Baraj Gövdesi

Alpaslan II barajının gövde yapısı hakkında veriler aşağıda sırayla verilmiştir.

Tipi :Kil çekirdekli kaya dolgu

Kret Kotu : 1371 m

Yükseklik : 99 m (talvegten), 116 m (temelden)

Kret Uzunluğu : 800 m

Kret Genişliği : 16 m

Gövde Memba Şevi : 2,45 Y : 1,00 D

Gövde Mansap Şevi : 2,25 Y : 1,00 D

2.2.2. Dolusavak

Dolusavak, barajlarda biriken fazla suların bir su setinden kontrollü olarak aşağı aktarılmasını ve barajın genellikle nehir yatağı üzerinde kurulan barajlarda bağlandığı nehir yatağına doğru akmasını sağlayan yapılardır. Dolusavaklar, suyun barajın gövdesine ve yapının diğer kısımlarına zarar vermeden ve aşınmalara sebep olmadan boşaltılmasını sağlarlar. Dolusavaklar, genel anlamda baraj gövdesinin üzerinde, barajın bir veya iki yanında, tabanda, yamaç içinde veya rezervuarda olabilirler ve bulundukları yere ve şekline göre isimlendirilirler [14]. Şekil 2.2’ de Muş Alpaslan II barajının dolusavak yapısının bitmiş faaliyet halindeki görseli bulunmaktadır.



Şekil 2.2. Muş Alpaslan II Barajı dolusavak yapısı
Üç önemli görevi vardır.

Bunlar;

1. Fazla suyun mansaba aktarılmasını gerçekleştirerek barajın güvenliğini sağlamak.
2. Baraj haznesinde bulunan su yüksekliğini kontrol etmek.
3. Baraj haznesindeki su birikiminin düzenlenmesini sağlamak.

Dolu savaklar, barajların deşarjı için kullanılır. Buradan aktarılan su çevredeki bahçe ve tarla sulamalarında kullanılabilir. Dolu savakların çeşitleri mevcuttur.

Üstten Kapaklı Dolu Savak: Elle ve otomatik olarak açılıp kapanabilen bu savaklar barajın üzerindeki köprü niteliğindedir. Bu tür savaklar da barajın üstü tamamen su altında kalır.

Üstten Akan Dolu Savak; Baraj membasındaki suyun mansaba aktarılmasını sağlayan basit bir savak yapısıdır.

Yandan Çevirmeli Dolu Savak; Barajın kenarında uzanan kanal şeklindeki savaklardır. Kuyu Tipi Dolu Savak; Bu tür savaklar barajın içinde yer alırlar. Koni şeklindeki bu savak baraj suyu seviyesindedir. Savak açılarak barajın fazla suyunu alttaki kanala akıtır.

Dip Savak; baraj gölündeki biriken fazla suyun veya baraj dibine çöken maddeleri boşaltmayı sağlayan savaklardır.

Tehlike Savağı; Su seviyesi barajda tehlikeli boyutlara ulaştığı durumlarda çalıştırılarak boşaltılan sistemlere denir.

2.2.2.1. Alpaslan II Barajı Dolusavak Yapısı

Alpaslan II Barajı Dolusavak yapısına ait bilgiler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Tipi : Karşıdan alıslı, Radyal kapaklı, Enerji kırıcı havuzlu

Yeri : Sol sahil

Kapak Tipi : Radyal kapak

Yaklaşım Kanalı Kotu : 1350 m

Dolusavak Eşik Kotu : 1355,50 m

Kapak Adedi : 5

Kapak Genişliği : 11 m

Dolusavak Genişliği : 71 m

2.2.3. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği , mühendislikte çeşitli analiz türleri kullanılmaktadır. En çok kullanılanları; Yapı analizi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, katı sıvı etkileşimi ve akustik/gürültü analizleridir. Akışkanlar mekaniği problemlerinin çözüm ve analizi için sayısal denklem ve algoritmaların kullanıldığı bir akışkanlar mekaniği bilimine Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği denir. Sıvı ve gazların katı yüzeyler ile etkileşimleri bilgisayar aracılığı ile simülasyon yapılır. HAD simülasyonlarının güvenilirliği kullanılan matematiksel denklem ve sayısal yöntemlere bağlıdır. Çoğunlukla, paralel bilgisayarlar kullanılarak HAD simülasyonları yapılır.

Tasarım sırasında; sistem ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla bazı sayısal hesaplamalar ve yaklaşımlardan yararlanılmakta ve elde edilenler tasarım temelini var etmektedir. Tasarım aşamasında kullanılan bilgisayar destekli mühendislik yöntemleri ise (sonlu elemanlar ve sonlu fark yöntemi gibi) sayısal çözümler sunmaktadır. Sayısal hesaplama yöntemlerinde çoğunlukla hata olabileceğinden, bu alandan en verimli şekilde yararlanmak için analiz sonuçlarını kontrol etmek, kıyaslamak gibi amaçlarla yanlışı anlamaya çalışarak bir hata yönetimi yaklaşımı kullanmak büyük önem taşımaktadır. Bilgisayar destekli mühendisliğin ana gayesi model sonuçlarının teyit edilmesi ve/veya diğer sečeneklerin sonuçlarının karşılaştırılmasının yapılp bu alan içindeki uygulamalarda kullanılan yöntemler; standart bir nümerik ortamında oluşturulan basit hesaplayıcılardan, donanımlı paket programlara kadar türlü matematik araçlarını içermektedir.

HAD modellemesi bir veya daha fazla alt temel fen alanını bünyesinde taşıyacak şekilde betimlemeler ve bu dönemlerin sayısal sonuçlarının bilinmesini gerektirmektedir. Bunun dışında tasarlanmak istenen modele özğü özel sınır şartlarının da doğru tahmin edilmesi veya gerekli durumlarda bilinmesi gereken, betimleme zamanından itibaren yapılan kabulleri de göz önünde tutarak bütünsel bir hata yönetimi zorunlu duruma gelmektedir.

HAD uygulamalarının çok çeşitliliği sadece temel bilimlere başvurudaki zenginlik ile sınırlı kalmayıp, bunun dışında çok fazla kurallı bir alan olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Mesela, momentum ve ısı transferinin sadece fiziksel tasvirleri değil, sayısal modellerinin ve bunlara benzer matematiksel yaklaşımların da önemi göz önünde bulundurulduğunda; etkin bir faydalanma için matematik ve sayısal yöntemler konusunda da belirli bir egemenlik gerekmektedir. Ayrıca birçok olayda başvuru hesaplamalı yöntemlerinden azami olarak yararlanmak, fakat bilgi işlem alanıyla etkin bir iş ortaklığı ve olay-donanım gereksinimlerinin kurulmasıyla mümkün olmaktadır [15].

2.2.4. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analiz Süreci

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği programları genellikle üç ana aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar, işlem öncesi (pre-processor), çözüm (solver) ve işlem sonrası (post-processor) aşamalarıdır. İşlem öncesinde (pre-processor), çözülecek akış probleminin girdi parametreleri oluşturulmaktadır. Çözüm aşamasında (solver), akış denklemleri ayrıştırılarak tüm sayısal hücreler için çözüm gerçekleştirilmektedir. Her akış parametresi, her hücre için hesaplanmaktadır. Dolayısıyla, hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonu sonucunda büyük miktarda veri üretilmektedir. Bu verilerin elle işlenmesi mümkün değildir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği paketlerinin çoğunluğunda, büyük miktardaki bu veriyi analiz edebilmek için görselleştirme ve işlem sonrası (post-processing) araçlar geliştirilmiştir.

Bununla birlikte, hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin öğrenilme ve uygulama aşamaları araştırıldığında; bu alandan aktif ve verimli yararlanmak için en kritik noktanın; var olan mühendislik sürecinin doğru bir şekilde etüt edilmesi, hangi aşamasında, ne gaye ile, nasıl bir sonuçla ve yöntemle hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinin kullanılması gerektiğinin tespiti olduğu görülmektedir. Bu manada, hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin analizlerinin en önemli ve etkileyici aşaması olan problem tespiti kısmında ele alınması gereken konular ilgili bölümde belirtilmiştir.

Diğer bir yandan, bilhassa endüstriyel alanlarda, en çok görülen yanlış durumlarda ise hesaplamalı akışkanlar dinamiği de içerisinde olmak üzere bilgisayar destekli mühendislik uygulamalarının direk bir modelleme uygulaması olarak görülmesi gelmektedir. Diğer bir deyişle; analizler aracılığıyla yapılmış ya da yapılmakta olan modellemenin ispatlanması, revize edilmesi ya da modelleme seçeneklerinin kıyaslanması gerekirken, genellikle ana mühendislik model yaklaşımları ve ilgili hesaplama yöntemleri göz önüne alınmadan, çözümleme programları aracılığıyla modelleme yapılmaktadır.

2.2.4.1. Problem Tespiti

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerine başlamadan önce problemin belirlenmesi en önemli kısımdır. İlk olarak uygulama sonucu olarak ne beklenildiği açık bir şekilde ortaya konmalı ve tüm süreç boyunca karşılaşılan sıkıntılarla (katı modellerin elde edilememesi, gerekli sınır koşullarını tanımlayamama, bilgisayar kaynaklarının yetersizliği vb.) beraber, yalnızca kontrol altında, yönetilebildiği sürece istekler değiştirilmelidir.

Çoğu analiz sürecinde, farklı nedenlerle tasarlama ve görselleştirmede görülen sınırlamaların analiz sonucunda elde edilen verileri değiştirdiği izlenirken, bu sürecin farkında olunmaması veya bu duruma göre önlem alınmaması, tüm etkinliklerin anlamsız bir durum almasına neden olacaktır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulamalarından yararlanılması düşünülen birçok modelleme aşamasında; sayısal yöntemler, el hesaplamaları, deneysel veriler veya literatür araştırmalarının aynı hassasiyette, aynı zamanda kimi zamanlarda uygulamaya göre daha güvenilir sonuçlar ürettiği görülmektedir. Bu nedenle; her çeşit tasarım çalışmasına başlamadan önce; seçenekler ve çoğu zaman çok daha az maliyetli olan yöntemlerin olması ve var olan duruma uygunluğu sorgulanıp kontrol edilmelidir.

En uygun yöntemin hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulamaları olduğu değerlendirilmesi yapılan durumlarda, ilerleyen adımda benzetilecek modelleme ya

da sistemde oluşan fiziki aşamalar kontrol edilmeli ve hangilerinin uygulama modeline ekleneceği belirlenmelidir. Momentum, türbülans, ısı transferi, faz değişimi vb. her çeşit aşamanın birbirlerine ve toplam performans etkilemesine etkileri dşnlmeli , ihmal olabilecekler varsa sıralanmalıdır. Bu sırada uygulamaya oranla çok az süre alacak analitik n hesaplardan yararlanabileceği gibi, basitleştirilmiş ve kısa zamanda çözülecek uygulamalar da devam edilebilir. Uygulama mühendisliği aşamasında, alınan her bir kararın zleme zamanları açısından önemli sonuçlar oluşturabileceği dşnlmeli ve mesela bir aylık bir karmaşık denemeyi ortadan kaldırmak adına birkaç saatlik uygulama hesapların ya da birkaç günlük fikir verici basitleştirilmiş analizlerin önemi göz önünde bulundurulmalıdır. Analize konu olacak fiziksel süreçlerle ilgili kullanılacak sayısal yaklaşımların; alternatif tasarımlar arasından belirlenip seçilen tasarımın var olan yazılımda olup olmadığı ve tasarımda girilen girdilerin detaylı bir şekilde incelenmeleri gerekmektedir.

Uygulama sonucunda istenilen hassas çözüm ve bu durum için kullanılacak kaynaklar program aşamasında analiz eklenmesi değerlendirme yapılırken önemli bir kavramdır. Uygulama aşamasında tartışılmalı; hassasiyet açısından hem sektörel, hem de uygulamaya özgün kaygılar göz önünde tutulmalıdır. Bu durumda, kullanılacak bilgisayar, insan ve zaman kaynakları da belirlenmeli ve istekler ile kaynaklar arasında uyum olmadan tasarıma başlanmamalıdır. İlk olarak kolaylaştırılmış tasarımlar ile beklenti-kaynak uyumu sağlamak oldukça önemli bir yöntemdir, bu denge olmadan başlanan analizlerin çoğunluğu, eksik kalmakta ve mühendislik sürecine ufak bir yarar bile sağlamamaktadır.

Problem belirlenmesi aşamasında önemli bir diğer basamak zmlemesi yapılacak fiziki modelleriyle ilgilidir. Bazı projelerde fiziki modeller mevcut bile değilken, çözümlenmesi düşünülen birçok projede ise çözüme uygun tasarımlar bulunmamaktadır. Genelde canlandırma ya/ya da üretim amaçlı yapılan mekanik çizimler, doğrudan hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulamalarına uygun olmamakta, akış hacminin çıkarılması, çözümlenmesi mümkün olmayan bölgelerin dışarıda bırakılması ya da tasarımların birleştirilip ayrıştırılması gibi işlemler gerekmektedir. Analiz sonucunda kullanılan fiziksel modellerin kalitesi, amaçlanan hassas duruma cevap oluşturabilecek hassasiyette temsil edebilir olması olarak

özetlenebilir. Bu durum gözetlendiğinde; tüm analiz sürecinin verimli sonuçlar üretmesi önünde engel teşkil edebileceği göz önünde bulundurularak, fiziksel modeller de analiz öncesinde detaylı olarak incelenmelidir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümlemelerinde problem belirlenmesi süreci kaynak kullanımı açısından çok önemlidir. Sırasıyla; yazılım lisansları, yüksek işlem gücüne sahip donanımları ve nitelikli mühendislik altyapısı gereksinimleriyle beraber maliyeti oldukça yüksek faaliyetlerdir.

Bu anlamda, problemin belirlenmesi aşamasının sonunda kısa bir değerlendirme manasında ‘gerçek fiziksel modelin analiz ile beklenen hassasiyet ve zamanda canlandırabildiği’ tekrar sorgulanmalı ve analiz yapılmasına nihai olarak bu noktada karar verilmelidir [16].

2.2.4.2. Ön İşlemler

Model geometrisi, matematiksel ağ (mesh), fiziksel aşamalar ve uygulama analiz ayarları ön işlemleri oluşturmaktadır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözüm aşamasında kullanılan geometri yalnızca ilgilenilen bölgeye ait olmalıdır ve bu bölgeler dışındaki tasarımlar yer aldığı durumda çok büyük bir zaman kaybı yaşanmaktadır. Bu durumun dışında gerekmeyen bölgeler, boşluklar çözümde yer almamalıdır. Geometride basitleştirme işlemi yapıldığında bilhassa bu bölgelere dikkat edilmelidir. Çünkü çözüm aşaması, matematiksel ağ oranı ve kalitesi önemli değişiklik gösterebilir. Çözüm aşaması yapılmadan önce model analize uygun hale getirilerek gerek akış hacminin çıkarılması gerek parçaların birleştirilmesi/ayrılması yapılmalıdır. Kullanılacak geometrinin gerek olmadıkça tek parça olarak kalması ve kullanılan tasarım programından yüksek kalitede dışa aktarımı analizin kalitesi, kolaylığı ve verimliliği açısından çok önemlidir.

Analiz uygulamaları çözüm alanını ayrıştırarak hesaplamalarını yaparlar. Bu ayrıştırmalardan en çok kullanılanları sonlu eleman ve sonlu hacim yöntemleridir. Ayrıştırma yapılırken var olan tasarımın bölgelere bölünmesi gerekir. Bölünen her bölge kendi içinde bir bütün olmakla beraber içerdiği tüm fiziksel ve kimyasal

sonuçlar birbiri ile aynıdır. Bu bölünen her bir bölgeye nümerik ağ elemanı denir. Matematiksel ağ, doğru ve hassas zm yapmak için en önemli unsurlardan biridir[16].

Nümerik ağ, zaman ve bilgisayar açısından düşünüldüğünde en çok etki eden unsurdur. Bu sebeple özellikle istenilen ve yüksek değişimlerin olduğu bölgede hassas elemanlar kullanılmalıdır. zme başlanılmadan önce bu konuda bilgi araştırması yapmak ve aynı zmlerler üzerinde kullanılan matematiksel ağ elemanlarını (meshleme) irdelemek proje başlangıç aşamasında hem kullanılacak matematiksel ağın miktarı ve kalitesi hakkında bilgi verecek hem de yol gösterici olacaktır.

Kullanılan matematiksel ağ tipine bağlı olarak matematiksel ağ oluşturulunca keskinlik, en-boy oranı gibi parametreler kullanılarak matematiksel ağ kalitesi hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Bilhassa türbülanslı analizlerde (dış akış gibi) analiz başlangıcından önce Reynolds sayısı hesabı ve buna bağlı olarak Y^+ yönünde analiz hesabı yapılmıştır. Hem zmn doğruluğu ve hassasiyeti hem de analiz süresini etkilemesi adına dikkat edilmesi gereken bir durumdur. Sonuç analizine geçilmeden önce özellikle matematiksel ağdan bağımsızlık elde ederek, sonuçların matematiksel ağ miktarı ve kalitesine göre anlamlı miktarda değişmediğinden emin olunması sonuçların güvenilir olduğunu sağlamaktadır.

Analiz sürecine başlanılmadan önce fiziksel süreçlerin doğru benzetimlerle görselleştirilmesi analiz doğruluğunu direk etkileyen en önemli nedendir. Kullanılan malzemelerin özellikleri, kullanılacak denklemlerin belirlenmesi ve sınır koşulları bu süreç içerisindedir. Kullanılacak her bir denklem (ısı transferi, hareket, türbülans vb.) zm aşamasını direk etkileyeceği için bu konuda titiz oluşturulmalıdır.

Örneğin türbülans denklemlerinin açılması ve doğru türbülans modelinin seçilmesi durumudur. zm başlangıç aşamasında matematiksel ağ kısmında Reynolds Sayısı hesaplanarak türbülans hakkında fikir sahibi olunmalıdır. Bu hesaplama sonrasında türbülans yoğunluğu hakkında fikir sahibi olmakla beraber kullanılacak türbülans modeli hakkında da bilgi verecektir. Doğru türbülans modelinin kararı için

en sık başvurulanan başka bir yöntemde literatür taraması yapılmasıdır. Bu duruma ek olarak farklı modeller kullanarak türbülans modelinden bağımsızlık elde edilmesi de yapılmalıdır.

Çözüm programları matematiksel çözümler yaptığı için analiz ayarları çözümün hassasiyetine direk etki ettiği için kullanılan fiziksel aşamaları hesaba katarak doğru çözüm seçimi yapılmalıdır. Kullanılan paket programın içerisinde limitler ve kısıtlar yer alabilir. Bu sebeple fiziksel süreçler göz önünde tutularak bu işlem yapılmalıdır. İstenilen hassasiyete bağlı olarak şema seçimleri yapılmalıdır. Yakınsama ölçütleri belirlenirken hedeflenen hassasiyet mertebesi dikkate alınmalıdır[16].

2.2.4.3. Çözüm

Ön işlemler sonrasında analiz aşamasına geçilmekte, bir başka söylemle, kullanılmakta olan hesaplama araç veya paket programı tekrarlamalı bir şekilde hesaplamalara başlatılmaktadır. Analiz aşamasında, kullanıcı tarafından hem fiziksel hem nümerik açılardan sonuçların kontrol edilmesi, değerlendirilmesi ve gereken durumlarda müdahale edilmesi gerekmektedir.

İterasyonlar arası değişim ve zamana bağlı çözümlerde sırasıyla zaman adımlarında elde edilen sonuçlar arasındaki farklar oranlanarak yakınsama değerlendirmesi yapılmalıdır. Amaçlanan hassasiyet durumuna göre, kullanılan paket programın içerisinde kriterleri oluşturulabilir ve uygulamanın sonuca ulaştığı anda iterasyonlar durdurularak çözüm sona erdirilebilir ya da bir sonraki zaman adımına geçilebilir.

Çözüm aşamasında ve sonunda kriterlerin sağlanıp sağlanmadığı da ayrı bir inceleme konusudur. Nümerik yöntemler, mesela hiçbir zaman mutlak kütle korunumu sağlamayacak olmakla beraber, amaçlanan tasarımla tutarlı bir kütle korunum dengesi elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Çoğunlukla kullanılan bir başka analiz yöntemi ise nümerik ağdan bağımsızlıktır. Bu anlamda; birbiri ile aynı fiziksel tasarım, sınır koşulları ve aynı ayarlar kullanılarak,

birbirinden farklı yoğunlukta nümerik ağlar ile çözümler yinelenmeli ve sonuçların proje hassasiyet beklentisinden en az değiştiği nümerik ağ eşiği belirlenmelidir. Hedeflenen hassasiyetin sağlandığı en düşük sayıda sayısal ağ konfigürasyonunun tercih edilmesi ideal seçimdir. İlk olarak matematiksel yöntemlerde çoğunlukla hata olacağı unutulmamalı ve hatanın olabildiği kadar değil, gerektiği kadar düşürülmesi temel yaklaşım olmalıdır.

2.2.4.4. Son İşlemler

Analiz işlemi tamamlandıktan sonra hesaplamaların kontrol edilip sonuçların alındığı bölümdür. Uygulama kuralı olarak; son aşamaya başlanmasıyla beraber öncelikle elde edilen verilerin ne kadar doğru, şartlara ve beklentilere uygun olduğu irdelenmelidir. Tahmin edilemeyen fiziki veya sayısal çözümler bir sürecin ya da farkında olunmayan bir tasarlama hatasının sonuçlar üzerinde önemli oranda bozucu etkisi olabileceği hep göz önünde tutulmalıdır. Bununla birlikte, nümerik yöntemler uygulayan en gelişmiş paket programların dahi deneysel sonuçların gerçekçiliği üzerine kontrol mekanizmaları bulunmamaktadır veya oldukça sınırlıdır.

Çözüm neticesinin doğru ve güvenilir olduğunun teyit edilmesine müteakip olarak; çözüm aşamalarının özel gayesine göre son işlem sonuçları oluşturulup raporlanmalıdır. Hız, basınç ve sıcaklık eş değer yüzeyleri, hız vektörleri, akış çizgileri ve zamana bağlı animasyonlar, en sık kullanılan son işlem nesneleri olup, uygulamaya bireysel olarak birçok farklı son işlem sonucu elde edilebilir. Yapılan işin niteliğine göre son işlem elemanlarının seçimi, niteliği ve niceliği; özellikle farklılıklar göstermektedir. Akademik/bilimsel araştırma, ticari fizibilite, kavramsal tasarım doğrulama veya karşılaştırma, detay tasarım performans inceleme, özgün tasarım değerlendirme ve benzeri birçok farklı amaca göre elde edilebilecek analizlerin son işlem çıktıları ve raporlamaları da değişiklik gösterecektir [16].

2.2.4.5. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Temel Denklemleri

En temel denklemlerden türlü varsayımlarla basitleştirilmiş denklemlere hesaplamalı akışkanlar dinamiği temel denklemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Momentumun Korunumu Kanunu

Navier Stokes Denklemleri

Euler Denklemleri

Tam Potansiyel Denklemi

Bernoulli Denklemi

Potansiyel Denklemi / Laplace Denklemi

- HAD Simülasyonları

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği simülasyonlarında, çözülen akışlar aşağıdaki özelliklere sahip olabilirler:

- 2-boyutlu (2D) / 3-boyutlu (3D) / 4-boyutlu: 3-boyutlu ve zamana bağlı (3D and unsteady)
- Daimi (Steady-state) / Zamana bağlı (Unsteady)
- Seyreltilmiş (Rarefied) / Sürekli Ortam (Continuum)
- Viskoz olmayan (Inviscid) / Viskoz (Viscous)
- Dönmeli (Rotational) / Dönmesiz (Irrotational)
- Sıkıştırılmaz (Incompressible) / Sıkıştırılabilir (Compressible)
- Doğrusal (Linear) / Doğrusal olmayan (Nonlinear)

- Sayısal Ayırıklaştırma Yöntemleri

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile akış çözümlerinde farklı sayısal ayırıklaştırma yöntemleri kullanılabilir:

- Sonlu Farklar Yöntemleri (Finite Difference Methods)
- Sonlu Hacim Yöntemleri (Finite Volume Methods)
- Sonlu Eleman Yöntemleri (Finite Element Methods)
- Spektral Yöntemler (Spectral Methods)
- Ağsız Yöntemler (Meshless Methods)

- Sayısal Yöntemler (Numerical Methods - Approximate Solution Methods)

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile akış çözümlerinde probleme uygun farklı sayısal yöntemler kullanılır:

- Zamanda ilerleme yöntemleri (Zamana bağlı problem)
- Yinelemeli yöntemler (Daimi problem)
- Akı hesaplama yöntemleri (Sonlu Fark veya Sonlu Hacim)

• Sınır Koşulları (Boundary Conditions)

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile akış çözümlerinde probleme uygun farklı sınır koşulları kullanılır:

- Duvar Sınır Koşulu (Wall Boundary Condition)
- Serbest Akış Sınır Koşulu (Freestream Boundary Condition)

• Başlangıç Koşulları (Initial Conditions)

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile akış çözümlerinde probleme uygun farklı başlangıç koşulları kullanılır:

- Başlangıç Akış Alanı Koşulu (Initial Flow Field Condition)
- Başlangıç Türbülans Koşulları (Initial Turbulence Conditions)

• Çözüm Ağları (Computational Grids) ve Çözüm Ağı Oluşturma (Grid Generation)

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile akış çözümlerinde probleme ve kullanılan sayısal yöntemlere uygun farklı çözüm ağları oluşturulur:

- Yapısal Çözüm Ağları (Structured Grids)
 - O-type
 - H-type
 - C-type
 - C-H type
 - Multi-Block

Yapısal Olmayan Çözüm Ağları (Unstructured Grids)

Karışık/Hibrit Çözüm Ağları (Mixed/Hybrid Grids)

Üstüste Çözüm Ağları (Overset/Chimera Grids) [15].

- Türbülans Modelleme (Turbulence Modeling)

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile akış çözümlerinde probleme, akış ile ilgili varsayımlara ve kullanılan sayısal yöntemlere uygun farklı türbülans modelleri kullanılır:

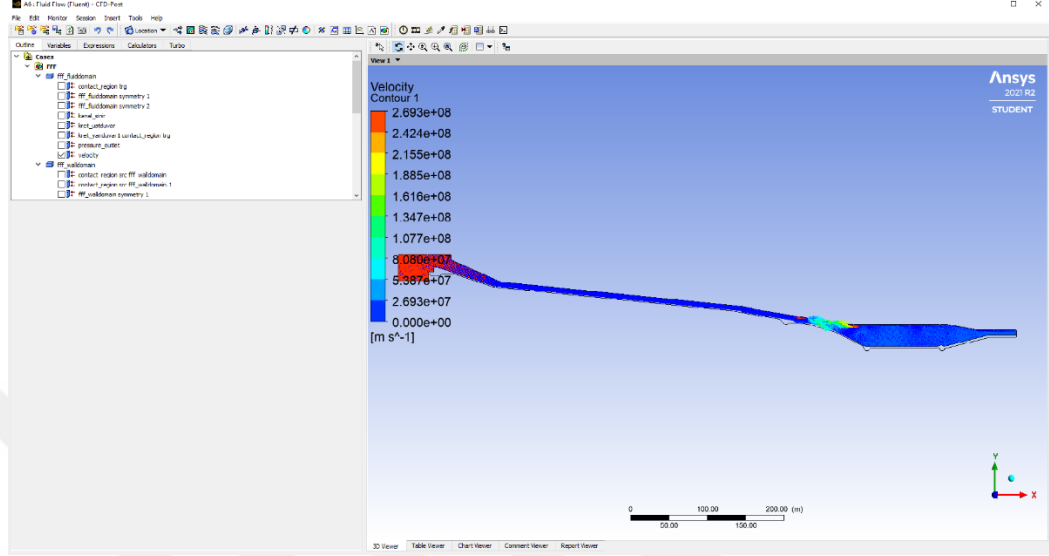
- DNS
- LES
 - SGS
- RANS
 - SA
 - k-epsilon
 - k-omega
 - k-omega-SST
 - RSM [15].

2.2.5. Ansys Fluent

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği veya İngilizce'deki karşılığı olan “Computational Fluid Dynamics (CFD)” mühendislerin akış hesaplarını çözmede uyguladıkları uygulamalı mühendislik tasarlaması alt başlığında değerlendirilen sayısal bir yöntemdir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği alanında birçok yazılım geliştirilmiş ve en önemli yazılım Ansys Fluent'dir.

Fluent uygulaması akış analizi yapabilen bir yazılım programıdır. Ansys Fluent akış analizi ile, farklı faz seviyelerinde analiz yapma özelliği olan yazılım ile uçak kanadındaki hava akışından, endüstriyel fırınlardaki yanmaya kadar, kabarcık platformlarından yağ alanlarına kadar, kan akışından hava akışına kadar, türbülans modellemeden ısı transferine kadar, buzdolabı simülasyonundan fan analizine kadar çok fazla alanda başarılı olarak uygulanmış bir çözüm yazılım programıdır. Ansys Fluent Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği alanında lider analiz yazılımıdır.

Şekil 2.3’ te ekran arayüzünün verildiği akış analizleri konusunda başkomutan olan Ansys Fluent sayısal hesaplama programı akademik çalışmalarla devamlı olarak güvenilirliği ispatlanmış ve sürekli geliştirilen bir yazılımdır.



Şekil 2.3. Ansys Fluent akış analizi

2.2.5.1. Ansys Fluent Akış Analizi Kapsamı

Ansys Fluent sayısal hesaplama programı akış, türbülans, ısı transferi ve endüstriyel uygulamalardaki modelleme becerisine gereksinimi olan fiziksel tasarımlarda kullanılan bir yazılım programıdır. Bu gaye ile yapılmış tasarımlar, istatistiki dereceleri, çözüm yöntemleri ve katsayılar bulunmaktadır. Akış tasarımı zor ve yüksek teori bilgisi isteyen bir alan olduğu için ürünlerin geliştirilme süreçlerinde simülasyonları yapılarak ürün geliştirme aşamaları kısaltmakta, kapasiteli bilgisayarlar ileri mühendislik bilgisi ile etkili bir gelişim süreci yürütülebilmektedir.

2.2.5.2. Ansys Hava Akış Analizi

Ansys Fluent yazılım programı kullanılarak ansys hava akış analizi gerçekleştirilebilir. Hava akış analizinde öncelikle ürünün 3D modeli yapılır.

Devamında hazırlanan modeldeki hatalar, eksiklikler, keskin kenarlar, radyüsler ve benzeri durumlar incelenerek hatalar düzeltilir ve geometri iyileştirilir. İyileştirme sonrası 3D model Ansys Meshing yazılımına transfer edilir ve mesh atma işlemi gerçekleştirilir. Mesh atma işleminde meshin kalitesi çok önemlidir. Yüksek kalitede mesh atmak için zaman ve emek harcanması gerekmektedir. Mesh işlemi sonrası Ansys Fluent veya HAD'a geçerek sınır şartları, malzemeler, kontaklar, ve diğer çözüm ayarları yapılır. Zamandan bağımsız (steady) veya zamana bağlı (unsteady) statik analiz işlemi de yapılabilir. Gerekli ayarlamalar ve çözüm izleme ayarları yapıldıktan sonra çözüm aşamasına geçilir. İstenilen oranda benzerlik yakalandıktan sonra analiz sonuçları raporlanarak sunum gerçekleştirilir. Bu süre zarfı hem teorik hem de yazılım bilgisi gerektiren, çok disiplinli çalışma düzeni isteyen ve zaman alan bir süreçtir. Başarılı bir akış analizi gerçekleştirebilmek için yüksek kapasiteli bir bilgisayara da ihtiyaç vardır.

2.2.5.3. Fluent Teknik Özellikleri

Fluent yazılım programı güçlü bir alt yapıya sahip olup, kullanımı kolay ara yüze sahip ve sıkıştırılamaz, orta sıkıştırılabilir ve yüksek sıkıştırılabilir akışlar için bir çözücüdür. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği alanında aktif olarak kullanılan bir yazılımdır. Yüksek kapasiteli çözüm üretme ve çözme yeteneğine sahip olan Ansys Fluent yazılım programı ile ürünler daha yüksek doğrulukta ve çözümde sonuç alabilmektedir. Ansys Fluent kullanarak; kavitasyon, akışkan yapı etkileşimi, yüksek reolojik malzeme, HPC-Akışkanlar, multifaz akışlar, tepkime içeren akışlar ve yanma, şekil optimizasyonu, hava aracı donma simülasyonu, tek fazlı tepkime içermeyen akışlar, ısıl yönetim ve türbülans yapılabilir.

2.2.5.4. Fluent Had Analiz Programının Özellikleri

Ansys-Fluent akış analizi yazılım programının birçok özelliği bulunmaktadır.

1. 2D düzlemsel, 2D eksenel simetrik, 2D döngülü eksenel simetrik ve 3 boyutlu akışların modellenmesi ve simülasyonu
2. Rejim açısından sabit ve geçici rejim

3. Hız rejimleri (düşük subsonik, transonik, süpersonik ve hipersonik)
4. Türbülans modellemesi açısından laminar geçiş veya türbülanslı akış yeteneği
5. Gaz-sıvı, gaz-katı ve sıvı-katı gibi akışkanlar mekaniği açısından serbest yüzey ve çok fazlı akış modelleri
6. Farklı yanma modelleri
7. Çeşitli malzeme modelleri veritabanı
8. Akıştan kaynaklanan gürültü öngörme modeli
9. Hareketli ve deforme olan ağ modelleri yeteneği gibi birçok özellikleri mevcuttur.

2.2.5.5. Ansys Fluent Akış Analizi Yapma Metotları

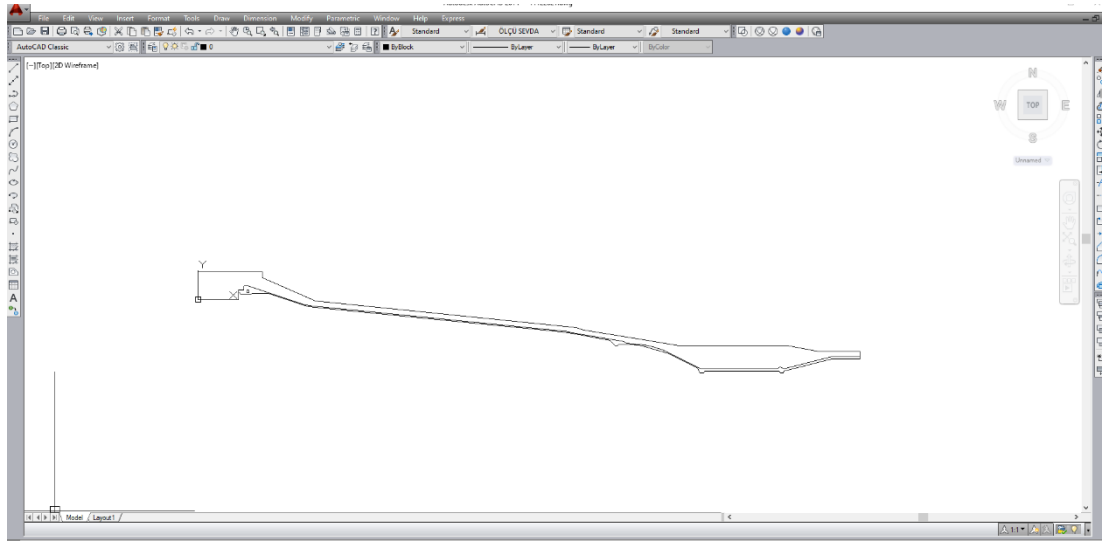
Sayısal uygulama yöntemlerinden olan HAD analiz uygulamaları Ansys Fluent yazılımı ile çok güzel bir ivme kazanmıştır. Akış analizi sonuçları yapısal analiz modülüne transfer edilerek hesaplamalara eklenebilmektedir. Akış hacminin oluşturulması ile başlayan zaman modelin kurulumu ve çözüm işleminin başlatılması, sonrasında da detaylı rapor hazırlanması aşamalarında ilerlemektedir [17].

2.2.6. Autocad

Autocad, bilgisayar destekli bir tasarım (CAD) yazılımıdır. Vektör tabanlı bir program olup teknik resim çizmek için kullanılır. Aslında Autocad programı; çözünürlükten bağımsız, 2-boyutlu ve 3-boyutlu geometrik nesnelerin oluşturulduğu bir veri kümesinden oluşmak alanındaki ilk vektörel çizim programıdır.

Autocad'in dosya biçimi DWG çizim anlamındadır. DWG dosya biçiminin diğer CAD programları tarafından da tanınabilmesi için, yine Autodesk firması tarafından desteklenen DXF isminde bir çizim ara değişim biçimi kullanılmaktadır.

Mühendisler, mimarlar, teknik ressamlar ve teknikerler tarafından genel olarak kullanılan bir bilgisayar destekli teknik çizim ve tasarım programıdır [18]. Şekil 2.4' te Alpaslan II Barajı dolusavak yapısının iki boyutlu yan profil Autocad çizim programı ile modellemesi mevcuttur.



Şekil 2.4. Autocad programı Alpaslan II Barajı dolusavak modellemesi(x-y düzlemi)



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Giriş

Bu bölümde Navier-Stokes ve RANS (Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes) denklemleri ve RNG (Renormalized Group) türbülans modelleri ve Alpaslan II Barajı Ogee Tipi Dolusavak modeli hakkında bilgi verilecektir. Sonrasında Ansys-Fluent yazılım programı anlatılacak ve çalışmada kullanılan k-ε türbülans modeli ve serbest su yüzey akışı için kullanılan VOF (Volume of Fluid Method) metodu açıklanacaktır. Sonrasında ise dolusavak çizim süreci kullanılan çizim programı Autocad hakkında ve elde edilen verilerin tablo ve grafiksel olarak gösterimi için kullanılan Microsoft Excel programı hakkında da bilgi verilecektir.

3.2. Navier-Stokes Denklemleri

Navier-Stokes denklemleri, sıvılar ve gazlar gibi akışkanların hareketini tanımlamaya çalışan denklemlerden oluşur. Bu denklemler; akışkanın içindeki birim kütleyle etki eden momentum (ivmelenme) değişimlerinin, basınç değişimleri ve sürtünme kayıplarına sebep olan viskoz kuvvetlerin (sürtünme gibi) toplamına eşit olduğunu belirtmektedir. Bu viskoz kuvvetler moleküller arası etkileşimlerden meydana gelmektedir ve akışkanın akmaya karşı direncini (viskoz) göstermektedir. Bu şekilde, verilen akışkanın bir bölgesindeki kuvvetler dengesinin dinamik tabiri olduğu belirtilebilir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 \quad (3.1)$$

$$\rho \frac{d\mathbf{V}}{dt} = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \rho \mathbf{g} \quad (3.2)$$

Denklem (3.1) kütlenin korunumunu, denklem (3.2) momentumun korunumu belirtmektedir. Burada $\mathbf{V}$ hız vektörünü, ρ yoğunluğu, $\boldsymbol{\tau}$ gerilme tansörünü, $\mathbf{g}$ yerçekimini, t zamanı, p basıncı göstermektedir. Su sıkışmaz kabul edildiği için yoğunluk değeri sabittir.

Bu sebeple;

$$\frac{d\rho}{dt} = 0 \quad (3.3)$$

Böylece süreklilik ve momentum denklemi aşağıdaki forma dönüşür.

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (3.4)$$

$$\rho \frac{d\mathbf{V}}{dt} = \rho \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} \right) = -\nabla p + \nabla \tau + \rho \mathbf{g} \quad (3.5)$$

Yukarıdaki ifadeler aynı zamanda tansör formatında aşağıdaki gibi gösterilebilirler.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3.6)$$

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (3.7)$$

Bu denklemde üç boyutlu akımlar için $i,j=1,2,3$ değerlerini alır ve sırasıyla x, y, z doğrultularındaki akım bileşenlerini ifade etmektedir. Yapılan çalışmada akışkan sıkışmaz ve Newtonien kabul edildiği için gerilme tansörü, dinamik viskozite katsayısı μ ve şekil değiştirme hızları birbiri ile orantılı hareket eder:

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.8)$$

Bu değer denklem (3.7) de yerine konulursa momentum denklemi aşağıdaki şekle dönüşür.

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \rho g_i \quad (3.9)$$

Süreklilik ve momentum denklemleri kartezyen koordinatlarda net olarak belirtilirse Navier-Stokes denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.10)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \rho g_x \quad (3.11)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \rho g_y \quad (3.12)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \rho g_z \quad (3.13)$$

Serbest yüzeyli akımlarda bu ifadelerde etki eden tek kütleli kuvvet yerçekimi kuvvetidir. Bu durumda ifadelerdeki g_x ve g_y terimleri sıfıra eşittir.

Bu denklem sistemi incelendiğinde bilinmeyenler basınç p ve hız vektörünün u , v , w olmak üzere üç bileşeni ile birlikte dört tanedir. Bununla beraber sistemde bir süreklilik ve üç adet lineer momentum denklemi ile toplam dört adet denklem bulunmaktadır. Böylelikle sistemin bilinmeyen sayısı denklem sayısına eşit olur. Buna karşın sıkışmayan, sabit viskoziteli akışkanlar için geçerli olan bu denklemin genel bir çözümü yoktur. Fakat uygun başlangıç ve sınır şartları altında sayısal yöntemler ile çözülebilirler. Bunun için yoğunluk, viskozite ve yerçekiminin bilinmesi lazımdır. Sonuç olarak denklem (3.11), (3.12), (3.13) ten oluşan hareket denklemleri aşağıdaki gibi kapalı formda da yazılabilir.

$$\rho \frac{dV}{dt} = -\nabla p + \mu \nabla^2 V + \rho g \quad (3.14)$$

Denklem (3.14) ün fiziksel anlamı: birim hacim başına düşen net kuvvet= birim hacim başına basınç kuvveti + birim hacim başına viskoz kuvvet + birim hacim başına kütleli kuvvet şeklindedir.

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

$$\rho \frac{dV}{dt} = -\nabla p + \rho g \quad (3.15)$$

Bu denklemlerde viskozite terimlerinin bulunmamasının yanında sınır koşulları da farklılıklar gösterir. Viskoz bir akışkanın katı bir sınırdaki hız vektörü sıfırdır. Bu da akışkanın katı madde sınırını ne geçebileceği ne de bu sınır üzerinde kayabileceği anlamına gelmektedir.

3.3. Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) Denklemleri

Gerçek akışkanların hareket halinde, akımın durumu Reynolds sayısına bağlı olarak laminar veya türbülanslı akım olabilmektedir.

$$R_e = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (3.16)$$

Bu denklemde V ortalama hızı, L ise karakteristik boyu, ρ yoğunluğu, μ ise dinamik viskozite katsayısını göstermektedir. Reynolds sayısının büyümesi akımın dönmeye karşı duyarlı olduğunu göstermektedir ve açık kanal akımlarında laminar akımdan türbülanslı akıma geçiş için kritik Reynolds sayısı 500' dür. Birçok mühendislik sorunu gibi savak üstü akım da oldukça türbülanslı bir yapıya sahiptir. Bununla beraber çok karmaşık olan türbülanslı akımın yapısı matematiksel olarak tam çözülememiştir.

Türbülanslı akım alanında herhangi bir noktada hız ve basınç gibi akım büyüklüklerinin şiddeti ve yönü zamana bağlı bir şekilde değişebilmektedir. Buna göre hız ve basıncın herhangi bir andaki değeri ortalama ve anlık sapmaların toplamı şeklinde yazılabilir:

$$u = \bar{u} + u', \quad v = \bar{v} + v', \quad w = \bar{w} + w', \quad p = \bar{p} + p' \quad (3.17)$$

Burada u, v, w, p hız ve basınca ait ortalama değerleri, u' , v' , w' , p' ise bunlara ait anlık sapmaları temsil etmektedir. Denklem (3.17) de verilen u, v, w değerleri denklem (3.10) da verilen süreklilik denkleminde yerine yazılırsa;

$$\frac{\partial}{\partial x}(\bar{u} + u') + \frac{\partial}{\partial y}(\bar{v} + v') + \frac{\partial}{\partial z}(\bar{w} + w') = 0 \quad (3.18)$$

Bir Δt için süreklilik denkleminin ortalaması alınır;

$$\overline{\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}} = \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (3.19)$$

ifadesi elde edilir. Denklem (3.19)'daki ifade (3.18) den çıkarılırsa;

$$\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial w'}{\partial z} = 0 \quad (3.20)$$

denklemi elde edilir ki ortalama hız bileşenleri türbülans ve hız sapmalarının aynı süreklilik denklemini sağladığı görülmektedir[19].

3.4. RNG k- ϵ Türbülans Denklemleri

RNG modeli, daha küçük hareket ölçeklerinin etkilerini hesaba katmak amacıyla Navier-Stokes denklemlerini yeniden normalleştirmek için Yakhot ve diğerleri tarafından renormalizasyon grubu (RNG) yöntemleri kullanılarak geliştirilmiştir. Standart k-epsilon modelinde girdap viskozitesi tek bir türbülans uzunluk ölçeğinden belirlenmektedir, bu sebeple hesaplanan türbülans difüzyonu yalnızca belirtilen ölçekte oluşur. Fakat gerçekte tüm hareket ölçekleri türbülans difüzyonuna katkıda bulunmaktadır. Girdabın türbülans üzerindeki etkisi dönen akışlar için doğruluğu artıran RNG modeline eklenmiştir. k- ϵ benzer bir türbülans modeli elde etmek için kullanılabilecek matematiksel bir teknik olan RNG yaklaşımı, üretim terimindeki farklılıklar yoluyla çeşitli hareket ölçeklerini hesaba katmaya çalışan epsilon denkleminin farklılaştırılmış bir formu ile sonuçlanır. RNG teorisi etkili viskozite için analitik olarak türetilmiş diferansiyel formülü sağlayan düşük

Reynolds sayısı etkileri için hesaplanır. Ancak bu özelliğin etkin kullanımı, duvara yakın bölgenin uygun şekilde işlenmesine bağlıdır.

RNG tabanlı k-ε türbülans modeli, "renormalizasyon grubu" (RNG) yöntemleri adı verilen matematiksel bir teknik kullanılarak anlık Navier-Stokes denklemlerinden türetilmiştir. Standart k-ε modelinde olanlardan farklı sabitleri olan bir modelde analitik türev sonuçları k-ε için taşıma denklemleri model ve ilave şartlar mevcuttur.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k U) = \text{div}(\sigma_k \mu_{eff} \text{grad } k) + \tau_{ij} \cdot S_{ij} - \rho \varepsilon \quad (3.21)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \text{div}(\rho \varepsilon U) = \text{div}(\sigma_\varepsilon \mu_{eff} \text{grad } \varepsilon) + C_{1\varepsilon}^* \frac{\varepsilon}{k} \tau_{ij} \cdot S_{ij} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (3.22)$$

$$\tau_{ij} = -\rho \overline{u'_i u'_j} = 2\mu_t S_{ij} - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (3.23)$$

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (3.24)$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.25)$$

Denklem sabitleri Standart k-ε türbülans modelindeki sabitlerden farklıdır.

$$C_\mu = 0.0845 \quad \sigma_k = 1.39 \quad \sigma_\varepsilon = 1.39 \quad C_{1\varepsilon} = 1.42 \quad C_{2\varepsilon} = 1.68$$

ε denklemindeki $C_{1\varepsilon}^*$ terimi aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$C_{1\varepsilon}^* = C_{1\varepsilon} - \frac{\eta(1 - \eta/\eta_0)}{1 + \beta\eta^3} \quad (3.26)$$

$$\eta = \frac{k}{\varepsilon} \sqrt{2S_{ij} \cdot S_{ij}} \quad (3.27)$$

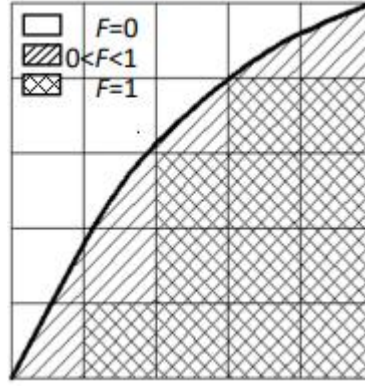
$$\eta_0 = 4.377, \quad \beta = 0.012$$

S_{ij} gerilme tensörüdür. β ise modeldeki ayarlanabilen tek sabittir. Diğer tüm değişkenler modelin analizi içerisinde hesaplanmaktadır. Standart k-ε modelinde

yayınım miktarlarının çok yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle sirkülasyonların oluştuğu bölgelerde türbülans viskozitesinin gereğinden fazla olmasından dolayı girdap hareketleri de azalmaktadır. Model de büyük miktarda deformasyonların olduğu akışların doğrusal olarak tasarlanabilmesi için ϵ denkleminde gerilmeye bağlı bir düzeltme faktörü bulunmaktadır. Düzeltme faktörü büyük gerilimlerin olduğu bölgelerde ϵ 'un yıkımını azaltarak k 'nın sönümlenme miktarını arttırmaktadır, bu duruma bağlı olarak efektif viskozite μ_{eff} de azalmaktadır. Yapılan değişikliklerle birlikte RNG modeli ani gerilimlerin olduğu akışlarda ve yüksek kavisli yüzeylerde k- ϵ Standart modelinden daha duyarlı olabilmektedir. Bunun sonucunda RNG modeli girdaplı ve yüksek kavisli akışların modellenmesinde iyi tahminler yürütmektedir fakat, jet ve duman bulutu (plume) türündeki akışlarda k- ϵ Standart modelinden daha zayıf tahminlerde bulunduğu görülmüştür [20].

3.5. VOF (Volume Of Fluid Method) Akışkan Hacimleri Yöntemi

Birbiri ile karışmayan iki veya daha fazla akışkan arasındaki fazlar arası ara yüzeyin şekli ve oluşumu araştırılmak istendiğinde genellikle sabit bir Eulerian çözüm ağına uygulanabilen VOF modeli kullanılmaktadır [21]. Alpaslan II dolusavak çalışmamızda su-hava ara kesitinin hesabında akışkan hacimleri yöntemi (Volume of Fluid, VOF) kullanılmıştır. VOF yöntemi hücrelerin boş, kısmen ya da tam suyla dolu olduğunu belirlemede kullanılmaktadır. Hacimsel doluluk oranını temsilen bir akışkan hacmi (F) tanımlanır. $F=1$ için ağ elemanı tam dolu, $F=0$ için boş (hava ile dolu) ve $0 < F < 1$ için ağ elemanı kısmen dolu olmaktadır. Akışkan Hacimleri Yöntemi ile serbest su yüzünün hesaplanmasında “Geo-Reconstruct” yaklaşımı kullanılmıştır [22]. Bu yaklaşımda ilk olarak, kısmen dolu her bir hücrenin, doluluk oranı ve onun türevleri ile ilgili bilgilere dayanılarak, hava-su doğrusal ara yüzünün hücre ağırlık merkezine göre yeri belirlenir. Bir sonraki adımda, hesaplanmış doğrusal ara yüzün yeri ve eleman yüzeylerinde hesaplanmış normal ve teğetsel hız bilgileri kullanılarak her bir eleman yüzeyinden taşınan akışkan miktarları hesaplanır. Ayrıca, önceki adımda hesaplanan akışkan miktarları göz önünde tutularak, süreklilik denklemi ile her bir hücrenin hacimsel doluluk oranı belirlenir. Şekil 3.5 bir bölgedeki su-hava arakesitinin doluluk oranına örnek olarak gösterilebilir. Şekil 3.5 üzerindeki sayısal değerler, kesitteki F doluluk oranlarının sayısal değerlerini belirtmektedir.



Şekil 3.5. Ağ elemanlarının doluluk oranı

3.6. Ogee Tipi Dolusavak

Barajlardaki fazla suyun çevresine zarar vermeden kontrol altında aktarılması dolusavaklar ile sağlanmaktadır. Suyun kontrol altında tutulamaması durumunda baraj güvenliği tehlikeye gireceği için güçlü ve sağlam yapılar yapılmak zorundadır. Ogee tipi dolusavaklar en çok tercih edilen dolusavak türlerindendir. Tercih edilmesinin en önemli nedenleri arasında yüksek güvenlik faktörü, sel suyu kontrol kapasitesi ve işlevsel uygunluğudur. Birde ogee tipi dolusavaklar tasarlanırken keskin bir yüzeyden akan suyun aldığı şekle göre taban yapısına şekil verilir. Bu sebeple dolusavaklar maksimum seviyeye yakın verimliliğe sahiptir.

Dolusavak yapımızda kullanılan ogee denklemi aşağıdaki gibidir.

$$X_c = 3,15 \text{ m}; Y_c = 1,25 \text{ m}; R_1 = 6,25 \text{ m}; R_2 = 2,60 \text{ m}; K = 0,51; n = 1,85$$

$$y = -0,0605 x^{1,844} \quad (3.28)$$

3.7. Ogee Kret Deşarj Kapasitesi

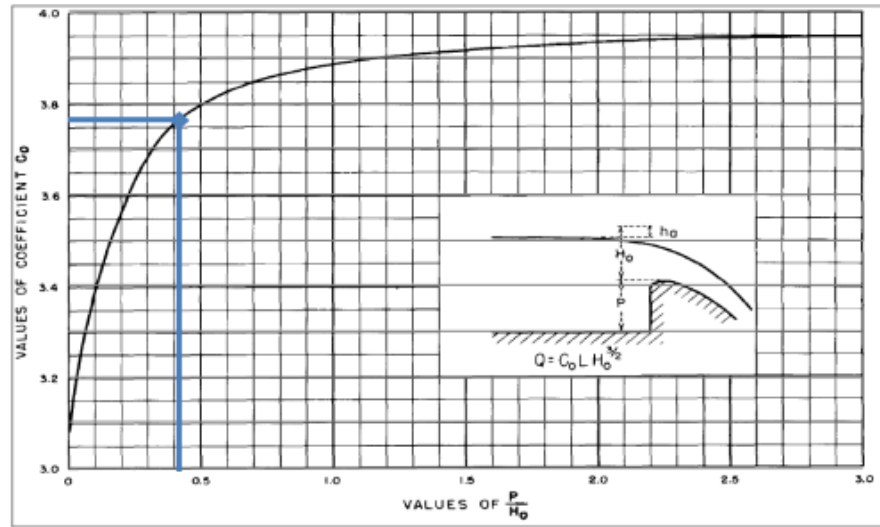
Gövde üstü dolusavak tasarım debisi, hız dağılımının dolusavak üzerindeki akımın (kretten-serbest yüzeye) kesit alanı üzerinde entegre edilmesi ile hesaplanmakta olup ilgili formül aşağıda verilmiştir (Applied Water Resources Engineering, Yanmaz A. Melih, 2006);

$$Q_0 = C_o.L_e.H_o^{3/2} \quad (3.29)$$

Burada Q_0 debi (m³/s), C_0 dolusavak boşaltım katsayısıdır. Boşaltım katsayısı memba yüzü dik ogee profili dolusavaklar için aşağıdaki formülden hesaplanabilir;

$$C_0 = -0.0201 \left(\frac{P}{H_0} \right)^6 + 0.2148 \left(\frac{P}{H_0} \right)^5 - 0.915 \left(\frac{P}{H_0} \right)^4 + 1.982 \left(\frac{P}{H_0} \right)^3 - 2.3081 \left(\frac{P}{H_0} \right)^2 + 1.414 \left(\frac{P}{H_0} \right) + 1.7719 \quad (3.30)$$

Dolusavak için verilen bir yükseklikte, P , boşaltım katsayısı toplam proje yükünün H_0 azalması ile artar. Ayrıca Şekil 3.6’da memba yüzü dik ogee profili dolusavaklar için boşaltım katsayısı hesaplanabilir [23].



Şekil 3.6. Memba yüzü dik olan dolusavaklar için boşaltım katsayısı

Aşağıdaki tablo üzerinde projemizde kullanılan dolusavak yapısına ait kret karakteristikleri mevcuttur. Dolusavak eşik kotu, eşik net uzunluğu, yaklaşım kanalı kotu, normal su seviyesi ve diğer bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3.1. Alpaslan II Barajı Ogee kret karakteristikleri

Ogee Kret Karakteristikleri	
Tasarım Yüğü (H_0)	12.500 m
Dolusavak Eşik Kotu	1355.50 m
Dolusavak Net Eşik Uzunluğu	55.00 m
Yaklaşım Kanalı Kotu	1350.00 m
Normal Su Seviyesi	1368.00 m
Maksimum Su Seviyesi (Dolusavak Nap Üzeri)	1369.30 m
Ön yüz eğimi Y:D	0.00
Açıklık Adedi	5
Ortaayak Kalınlığı	4.00 m
Ortaayak adedi	4
$L=$	$L' - 2 \times (nK_p + K_a) \times H_0$
Ortaayak sıkışma katsayısı K_p	0.00
Yaklaşım sıkışma katsayısı K_a	0.00

3.8. Autocad Çizim Programı

Autocad çizim programı mühendisler, mimarlar, teknik ressamalar ve teknikerler tarafından en yaygın olarak kullanılan çözümlülükten bağımsız, 2-boyutlu ve 3-boyutlu geometrik nesnelerin oluşturulduğu bir bilgisayar destekli teknik çizim ve tasarım programıdır. Autocad'in dosya biçimi DWG'dir. Dışa aktarırken farklı formatlar kullanılabilir. Alpaslan II Barajı dolusavak modelinin 2D(iki boyutlu) ve 3D(üç boyutlu) olarak çizim işlemi Autocad çizim programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Autocad çizim programı ile elde edilen model Ansys-Fluent sayısal hesaplama programına aktarılmıştır. Ansys-Fluent programı ile okuma işlemi yapılabilmesi için hazırlanan modelin dışa aktarılması gerekmektedir. 2D hazırlanan model “.iges” uzantılı olarak kayıt edilmiştir. 3D hazırlanan model ise “.stl” uzantılı olarak dışa aktarılmıştır. Sonrasında Ansys-Fluent programı ile okuma işlemi yapıp aktarım işlemi tamamlanmıştır.

3.9. Microsoft Excel Programı

Excel programı gelişmiş bir tablo programlama yazılımı olup temel olarak istatistik, mühendislik ve hesaplama aracı olarak kullanılabilir. Gelişmiş bir arayüze sahip olup aynı zamanda algoritması sayesinde birçok zorlu görevin üstesinden kolaylıkla gelebilecek kapasiteye sahiptir. Ansys-Fluent programı ile yapılan sayısal hesaplamalar sonucu elde edilen veriler Microsoft Excel programına aktarılmaktadır. Aktarılan veriler istenilen düzende ayarlanıp tablo olarak gösterilmektedir. Tablolardaki veriler grafiksel olarak düzenlenebilmekte ve DSİ-TAKK (Devlet Su İşleri- Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol) dairesi başkanlığından elde edilen veriler ile kıyaslanmaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Giriş

Bu çalışma kapsamında, daha önceden gerçekleştirilmiş Alpaslan II barajı dolusavak yapısına ait 1/70 boyutla küçültülerek yapılan deneysel çalışmalara ait verilere erişilmiştir. Bu veriler DSİ-TAKK (Devlet Su İşleri- Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol) dairesi aracılığı ile elde edilmiştir. Ve sonrasında dolusavak modeli Autocad çizim programında tam ölçüsünde iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) olarak çizilmiştir. Dolusavak modeli ile etkileşim halindeki akımı idare eden temel denklemler, sonlu hacimler yöntemine dayalı Ansys-Fluent, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılım programıyla sayısal olarak çözülmüştür. Çok fazlı akımlar için Volume of Fluid (VOF) metodu kullanılmış ve serbest yüzey modellenirken, tek akışkan ve sıkıştırılmaz akışkan modu kullanılmıştır. İşlem öncesi aşaması; geometrik tasarım, hesap hücrelerinin oluşturulması, sınır koşullarının tanımlanması, başlangıç koşullarının oluşturulması, yüzey ve akışkan özelliklerinin belirlenmesi kısımlarından oluşmaktadır. Türbülans modelinde RANS yaklaşımı tercih edilmiştir. Bunlara ek olarak, türbülans modeli tanımlanması da bu aşama içerisinde gerçekleştirilmiştir. Sayısal modelde RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) denklemleri RNG (Renormalized Group) türbülans modeli kullanılarak, ortogonal hesap hücreleri üzerinde çözülmüştür. Ölçüm alınacak noktalar ve gerekli çıktı dosyalarının seçimi de yine bu aşamada yapılmıştır. Dolusavak tasarımında performans belirleyici nitelikte akımda hız alanının sayısal çözümü yapılmış ve elde edilen sonuçlar DSİ-TAKK (Devlet Su İşleri- Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol) dairesi başkanlığınca yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılarak birbiriyle uyumlu olduğu gözlenmiştir.

4.2. Geometrik Tasarım

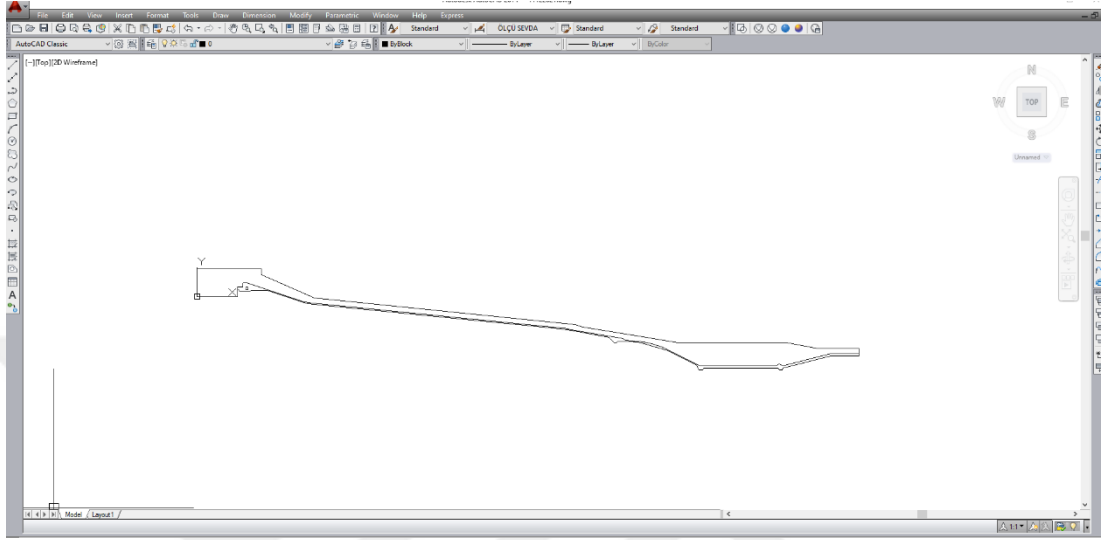
Alpaslan II Barajı kapaklı olarak planlanan dolusavakta taşkınların emniyetli bir şekilde mansaba tahliyesi 5 adet 11 m x 13 m (YxD) ebatlarındaki radyal kapaklar ile sağlanmıştır. Dolusavak genişliği eşik yapısında orta ayaklarla birlikte 71,0 m iken net genişlik 55,0 m olmaktadır. Dolusavak boşaltım kanalı boyunca yan duvarlar 6 m

yüksekliğinde yapılmıştır Başlangıç genişliği 71,00 m olan ve sonrasında 51,20 m'ye daralan deşarj kanalının uzunluğu 539,0 m' dir. Dolusavak deşarj kanalı sonunda teşkil edilen enerji kırıcı havuzda tahliye edilen suyun enerjisi kırılmaktadır. Dolusavak eşik kret noktası baz alınarak (Km=0+000), orta ayaklar Km=0+036,75'de son bulmaktadır. Deşarj kanalı orta ayakların son bulduğu Km=0+036,75' de 71,00 m olan genişlik Km=0+235,00'te 51,2 m' ye daralmaktadır. Km= 0+235,00' den itibaren yapı, enerji kırıcı havuz sonuna kadar 51,2m genişliğinde projelendirilmiştir. Akımı havalandırmak için biri Km=0+400,0' de diğeri Km=0+470,0'de olmak üzere iki adet havalandırıcı teşkil edilmiştir. Deşarj kanalı Km=0+000 ile Km=0+76,40 arasında 0,333 eğime, Km=0+76,40' dan enerji kırıcı başlangıcı olan Km=0+470,00' e kadar ise 0,100'lık eğime sahiptir. Enerji kırıcı yapı Tip II olarak projelendirilmiştir ve Km=0+518,45' den başlayıp Km=0+720,00' de son bulmaktadır. Dolusavağa ait iki boyutlu katı geometri AutoCAD modelleme programı kullanılarak hazırlanmıştır.

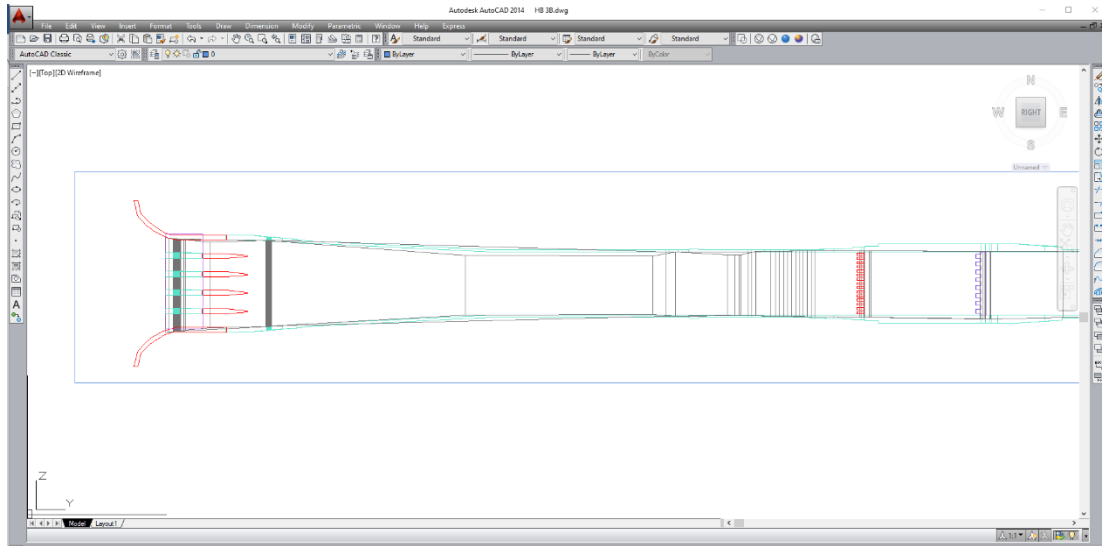
Ansys-Fluent, geometrik modelin tanımlanması için önceki bölümlerde detaylı olarak anlatılan geometrik tanımlama konseptini kullanmaktadır. Dolayısıyla katı cismin konfigürasyonu ile hesap hücrelerinin birlikte düşünülmesi durumunda daha optimum çözümler elde edilmektedir. Bu çalışmada, katı geometri tanımlanırken mümkün olduğunca çözümü hızlandıracak modifikasyonlar yapılmıştır. Bu durum göz önüne alınarak Alpaslan II Barajı dolusavağı iki boyutlu katı geometrisi AutoCAD yazılım programı aracı kullanılarak hazırlanmıştır. Simülasyonlarda herhangi bir ölçeklendirme yapılmamış, bire bir uygulanacak boyutlar kullanılmıştır.

Oluşturulan iki boyutlu katı geometri (.dwg) dosya formatıyla AutoCAD ortamından Ansys-Fluent programına okutularak aktarılmış ve geometrik tanımlamanın ilk aşaması tamamlanmıştır. Ansys-Fluent programlarının eski sürümlerinde (.dwg) uzantılı dosyalar okunamamaktadır. Bu nedenle AutoCAD çizim programında oluşturulan modeller dışa aktarılıp (.iges) uzantılı olarak kaydedilmektedir. (.İges) uzantılı dosyalar Ansys-Fluent yazılım programı ile okunarak SpaceClaim'e aktarılmaktadır. Aktarılan dosya üzerinde düzenleme yapılacaksa DesignModuler bölümünde düzenleme yapıp daha sonra ağ aşamasına geçilebilir.

Oluşturulan üç boyutlu katı geometri (.stl) dosya formatıyla AutoCAD ortamından dışa aktarılmış ve Ansys-Fluent 'den okutularak geometrik tanımlamanın ilk aşaması tamamlanmıştır. Şekil 4.7' de dolusavak modelinin iki boyutlu katı geometrisi (hidrolik kesiti) gösterilmiştir.



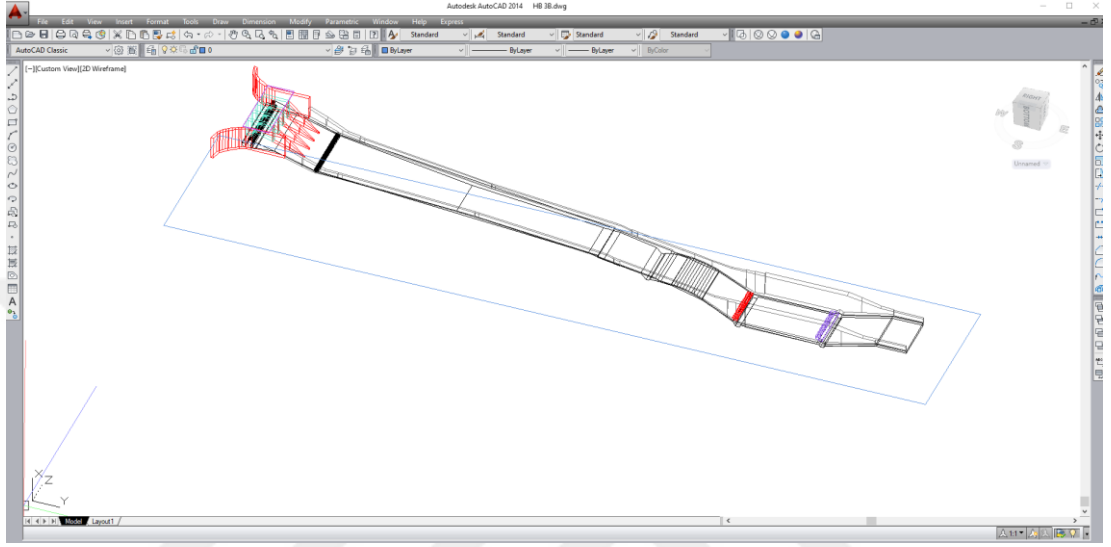
Şekil 4.7. Dolusavak modeli Autocad 2 boyutlu yan profil çizim



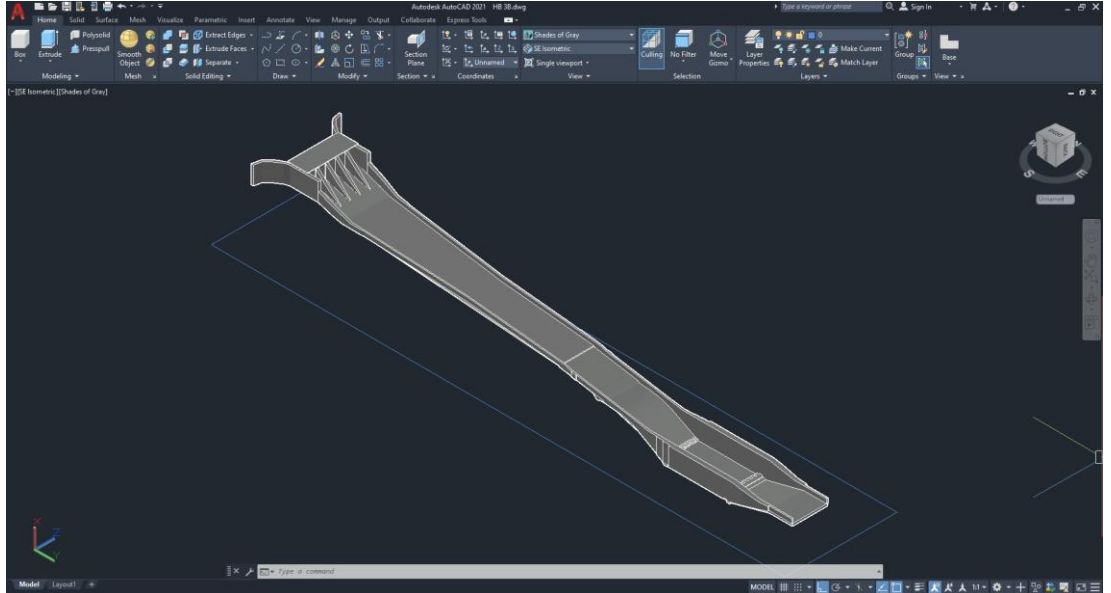
Şekil 4.8. Dolusavak modeli Autocad 2 boyutlu üstten görünüş

Şekil 4.8' de dolusavak modelinin 3 boyutlu üstten görünüşü mevcuttur. Dolusavak modelinin üç boyutlu katı geometrisi (hidrolik kesiti) Şekil 4.9' da gösterilmiştir.

Şekil 4.10’da da dolusavak modelinin 3 boyutlu katı model görünüşü mevcuttur. AutoCAD modelleme programı ile hazırlanan üç boyutlu (3D) dolusavak katı geometrisi AutoCAD çizim programı aracılığıyla export edilerek (.stl) dosya formatında dışa aktarılmıştır. Dışa aktarılan (.stl) uzantılı dosya Ansys–Fluent programı ile SpaceClaim aşamasında sisteme içe aktarılıp programa yüklenmiştir.

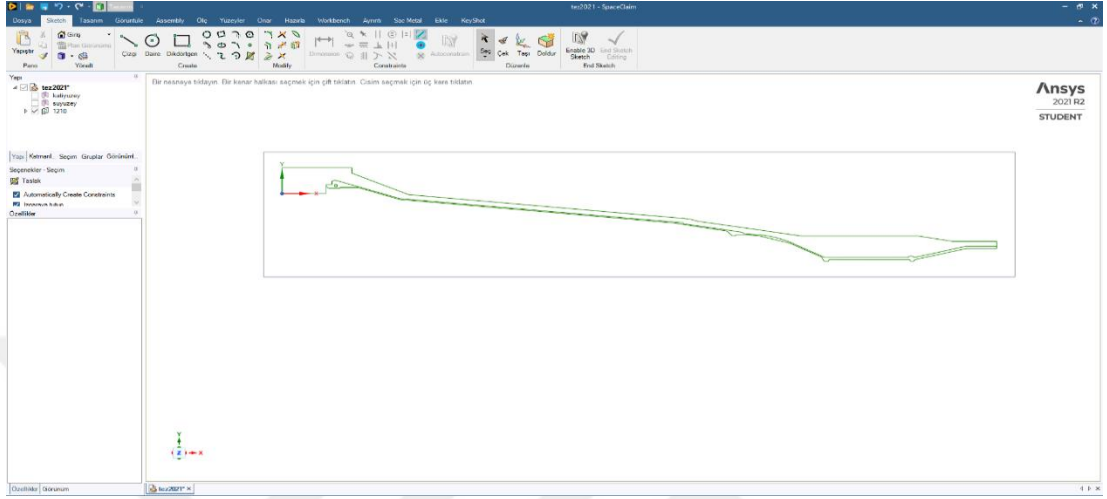


Şekil 4.9. Autocad dolusavak modeli 3 boyutlu çizgisel (kafes) görünüş

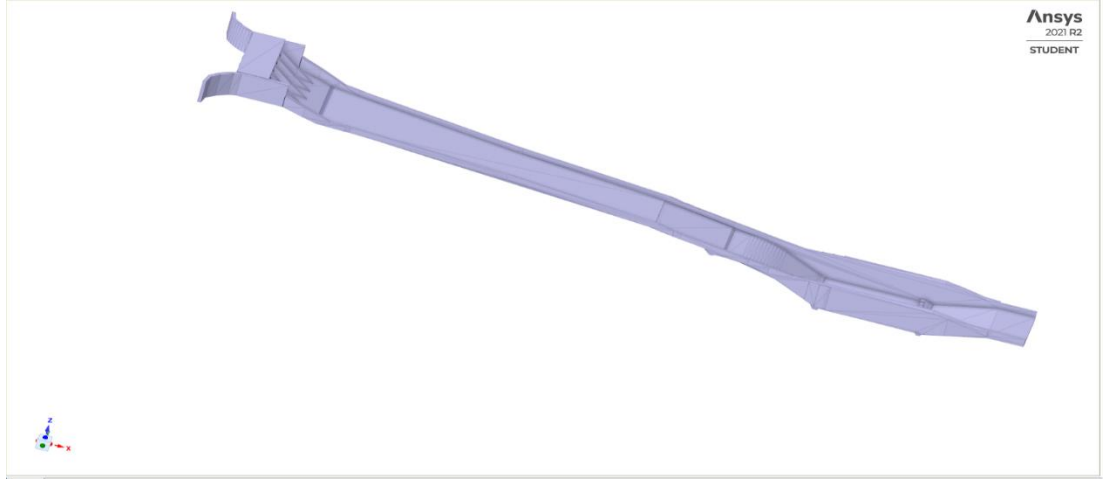


Şekil 4.10. (Autocad) Alpaslan II Barajı dolusavak modeli 3 boyutlu katı görünüş

Ansys-Fluent Programına model tasarım ve dizaynı için kullanılan alanı olan SpaceClaim ve Designmoduler kısmına aktarılan edilen Alpaslan II Barajı dolusavak modelinin iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) hali aşağıda Şekil 4.11 ve Şekil 4.12' te mevcuttur.



Şekil 4.11. (Ansys-Fluent-SpaceClaim)Alpaslan II Barajı dolusavağı 2 boyutlu katı model



Şekil 4.12. (Ansys-Fluent -SpaceClaim)Alpaslan II Barajı dolusavağı 3 boyutlu katı model

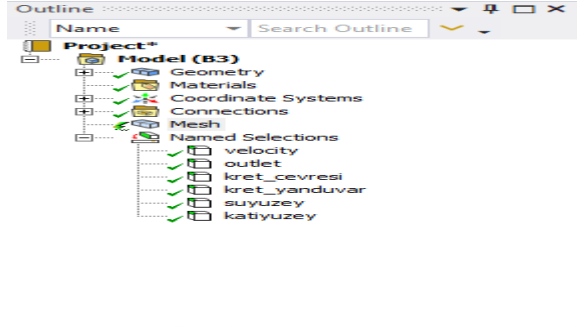
Ansys-Fluent programı katı modeli içe aktarılıp yüzeysel olarak tanıtıldıktan sonra ağ bölümüne geçilmiştir. Fakat 3 boyutlu modelin bu süreçte çözümü mümkün olmadığından çözümler iki boyutlu yapılmıştır. Alpaslan II Barajı dolusavak yapısının plan ve profili sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14' de gösterilmiştir.

4.3. Hesap Ağının Oluşturulması

Ansys-Fluent 'de hesap ağı direkt olarak çözüm süresini ve sonuçlarını etkilemektedir. Hesap hücrelerinin projeye uygun aralıkta oluşturulması, sayısal modelden gerçekçi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Proje için en uygun hesap ağını seçmek, sayısal analizin en önemli konularından bir tanesidir. Hesap ağını sıklaştırarak hücrelerin sayısını arttırmak çözümün hassasiyetini arttıracak gibi çözüm süresini de uzatmaktadır. Bunlara bağlı olarak en optimum çözümün bulunması gerekmektedir. Bu çalışmada, tüm hesap ağı blokları Kartezyen koordinat sistemi içerisinde oluşturulmuştur. İlk olarak hızlı bir yakınsama için kaba bir hesap ağı kullanılmıştır. Yakınsama sağlandıktan sonra kaba hesap hücrelerinin boyutları yavaş yavaş küçültülmüştür. Hesap hücrelerini rafine etme işlemi sırasında ağ metodu olarak en-boy oranı seçeneği kullanılarak yapı geometrisi de kontrol edilmiştir. En-boy oranı seçeneği, oluşturulan hücrelerin genişliğinin yüksekliğine olan orandır. Bu bir yükseklik genişlik ölçütü değildir. Burada önemli olan orandır ve hücre dağılımında boyut oranlarının model içerisindeki dağılımıdır. Hesap hücrelerinin doğru dağılımı açısından bir fikir vermektedir. Sayısal analiz sonuçlarının, hesap ağına ve hücre boyutlarına göre değişmemeye başladığı durumun tespiti doğru sonuçlara ulaşabilmek için çok önemlidir. Bu yüzden sayısal modelleme sonuçlarını değerlendirmeden önce hesap hücrelerini rafine etme işleminin tamamlanması gerekmektedir. Bunlara ek olarak, doğru bir çözüm aranırken, çözüm süresi bakımından da etkili ve optimum bir formülasyon gereklidir. Genellikle küçük hesap hücreleri daha güvenilir sonuçlar vermesine rağmen, bilgisayar belleği ve çözüm süresindeki sınırlamalar bir simülasyonda kullanılacak hesap hücrelerinin sayısını kısıtlamaktadır. Bu amaçla başka ağ aralıkları seçilerek sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Alpaslan II Barajı dolusavağı sayısal modeli üzerinde oluşturulan hesap ağının mansaptan, membadan ve x-y ekseninde görünüşü sırasıyla Şekil 4.19-4.22'de gösterilmiştir.

Aşağıda verilen Şekil 4.15' te tanımlanan kısımlardan hız girişi ifade etmektedir. Hız giriş olarak tanımlanmıştır. Ve hız değeri olarak sınır koşulları girilirken olası en büyük taşkın pik değeri olan $5953 \text{ m}^3/\text{s}$ ile 10000 yıl tekerrürlü taşkın debisi ($3204 \text{ m}^3/\text{s}$) $Q=V \times A$ denklemine kullanılarak elde edilen hız değerleri kullanılmıştır. Çıkış olarak atmosfer basıncı girilmiştir. Onun dışında kret yan duvarları ve üst kısmı iki

farklı şekilde isimlendirilmiştir. Kret_cevresi ve Kret_yanduvar kret çevresini temsil etmektedir. Kanal boyunca su yüzeyi ise suyuzey olarak isimlendirilmiştir. Suyun kanal boyunca temas ettiği katı yüzey yani no-slip hızın sıfır olduğu kısımlar katiyuzey olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 4.15. (Tanımlı Seçimler) Tanımlanan sınır koşulları

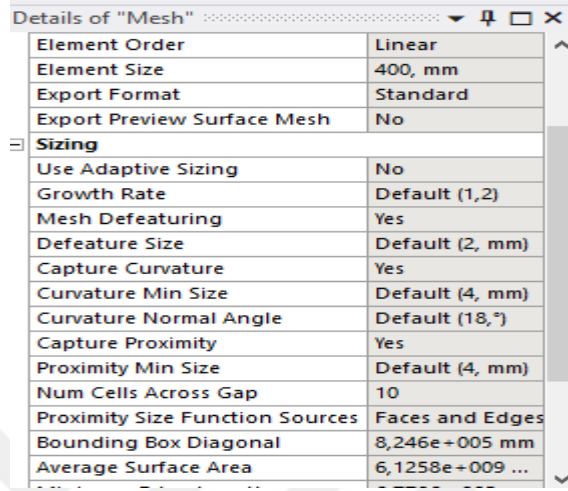
Ağ oluşturma aşamasında yüzeye ağ işlemi yapılmıştır. Eleman boyutu olarak öncelikle 500 mm olarak girilmiş ve bu değer sonra 400 mm olarak küçültülmüştür. En son olarak 300 mm olarak girilmiştir. Eleman boyutlarının küçültülmesi 720 m uzunluğundaki bir şüt kanalı için çok fazla zaman almaktadır. Hücre boyutlarının küçülmesi işlemin doğruluğunu artırıyor olsa bile hücre bölünmesi (ağ işlemi) işlemi çok zaman almaktadır. Bu durum çözüm bölümünde çözümü gerçekleştirip akımın kararlı hale gelmesi de işlemlerin uzamasına sebebiyet verecektir. Bu nedenle optimum çözüm olarak 400 mm eleman boyutu olarak seçilmiş ve hücrelere bölme işlemi yapılmıştır.

Use Adaptive Sizing sekmesi No seçilmiştir. Çünkü uyarlanabilir boyutlandırma kullanılmak istenmemiş programın eleman boyuna şekline göre hücrelere bölmesi istenmiştir.

Num Cells Across Gap : En küçük alana en az yerleştirilecek hücre sayısını temsil etmektedir. Bu değer 10 olarak seçilmiştir.

Capture Curvature ve Capture Proximity değerleri Yes olarak seçilmiştir. Bu seçimler dolusavak modelimizdeki eğimli bölgeleri bilmesi ve hücreleri bu duruma bağlı olarak yerleştirmesi için Yes olarak seçilmiştir.

Aşağıda Şekil 4.16' da dolusavak yapısında kullanılan mesh detayları verilmiştir.



Details of "Mesh"	
Element Order	Linear
Element Size	400, mm
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Sizing	
Use Adaptive Sizing	No
Growth Rate	Default (1,2)
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default (2, mm)
Capture Curvature	Yes
Curvature Min Size	Default (4, mm)
Curvature Normal Angle	Default (18,°)
Capture Proximity	Yes
Proximity Min Size	Default (4, mm)
Num Cells Across Gap	10
Proximity Size Function Sources	Faces and Edges
Bounding Box Diagonal	8,246e+005 mm
Average Surface Area	6,1258e+009 ...

Şekil 4.16. Hücrelere bölme bölüm detayları

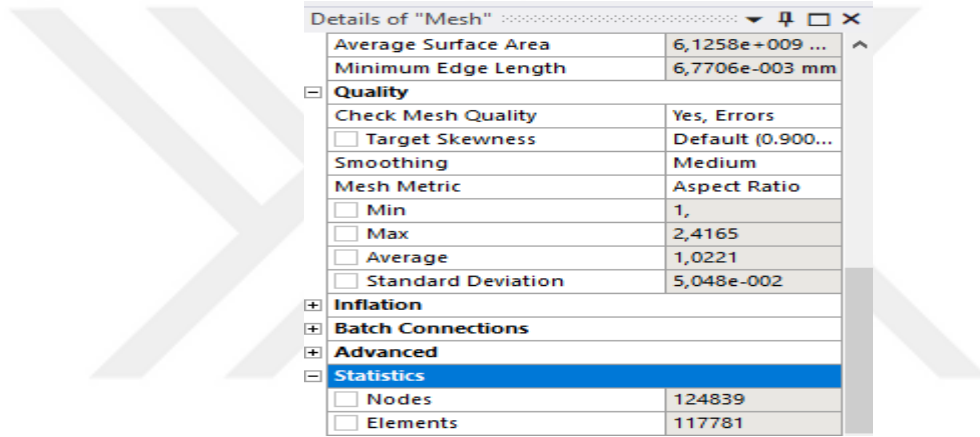
Mesh işlemi sonrası oluşturulan hücrelerin boyutlarının ve kalitesinin ölçümü için Check Element Quality sekmesi “Yes” seçilir. Bu işlemten sonra Mesh Metric kısmında Aspect Ratio seçilir. Aspect Ratio’ dan daha önce de bahsetmiştik şimdi kısaca değinirsek oluşturulan hücrelerin genişliğinin yüksekliğine olan oranıdır. Ve bu orana göre tüm yüzeyde dağılan hücrelerin birbiri ile olan ilişkisi yani max ve min değerlerin hücre sayılarına göre ortalaması ve standart sapma değeri kontrol edilmektedir. Verilen eleman boyutunun ideal olduğuna karar verilecek yöntemlerden biridir.

Aşağıda Şekil 4.17’de projemizde kullanılan mesh kalitesine göre oluşan en-boy oranı değerleri bulunmaktadır.



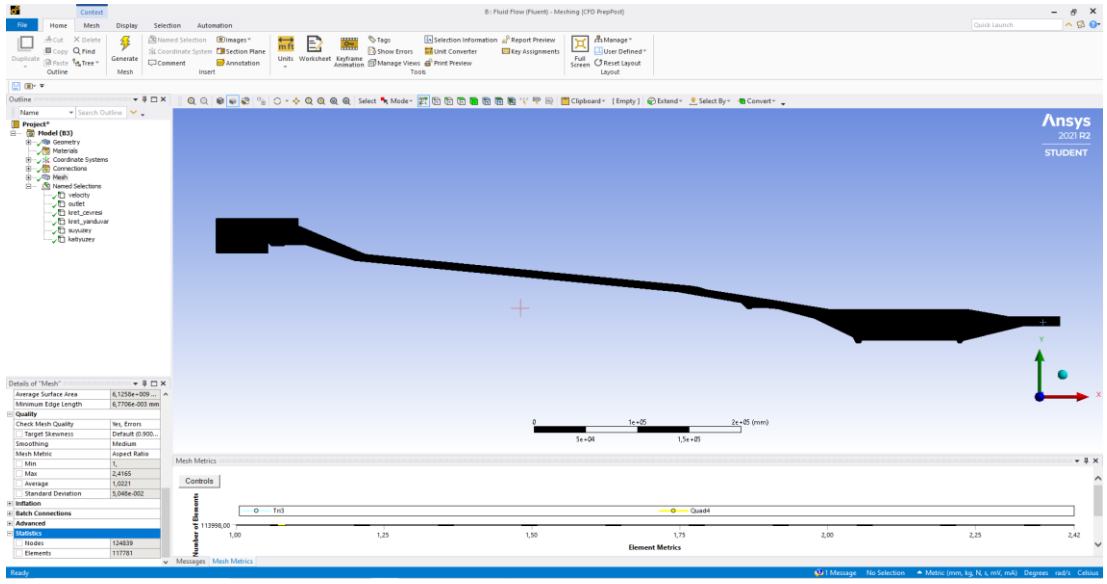
Şekil 4.17. Alpaslan II Barajı dolusavak modeli en-boy oranı değerleri dağılımı

Aşağıda Şekil 4.18’ de dolusavak yapısının mesh kalitesine ait en-boy oranı değerleri ve modelin kaç düğüm ve elemana ayrıldığını gösteren istatistikler bulunmaktadır.

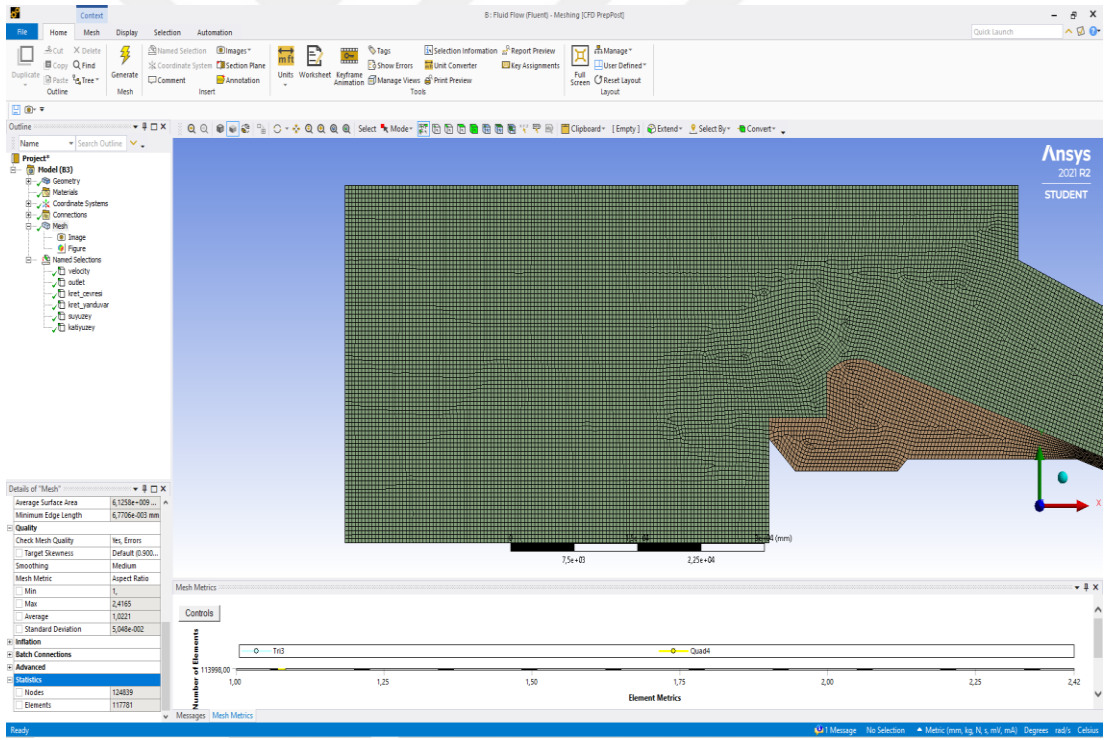


Şekil 4.18. En-boy oranı ve istatistikler

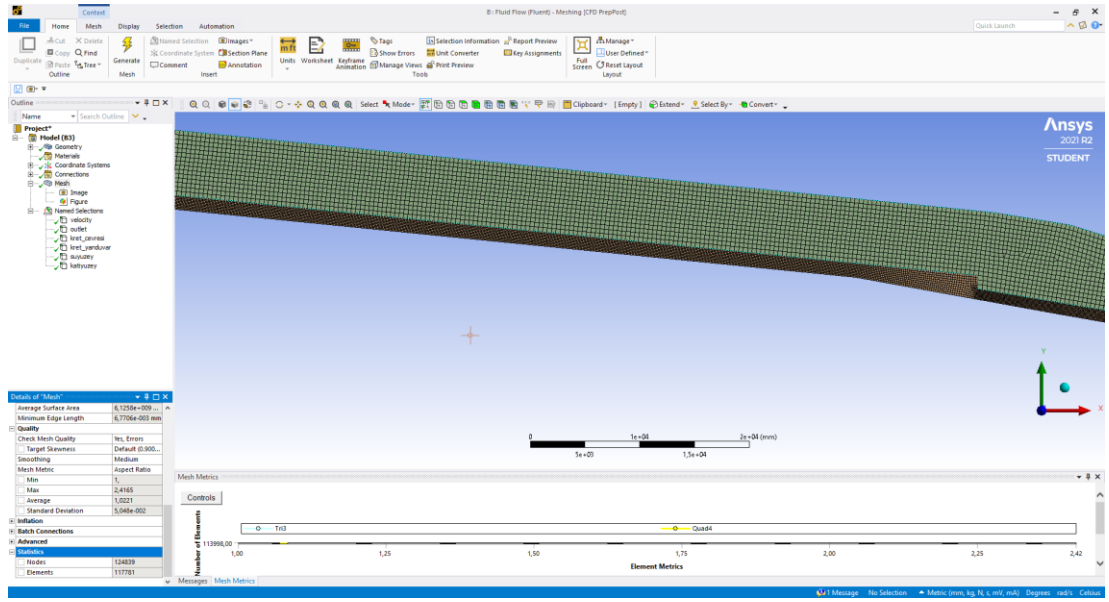
Mesh işlemi tamamlandıktan sonra Alpaslan II Barajı Dolusavak yapısının x-y düzleminden görünümü Şekil 4.19’da gösterilmektedir. Şekil 4.20’de membadan görünüş, Şekil 4.21’de kanal bölgesinin ve Şekil 4.22’de Enerji Kırıcı Havuz kısmı gösterilmektedir.



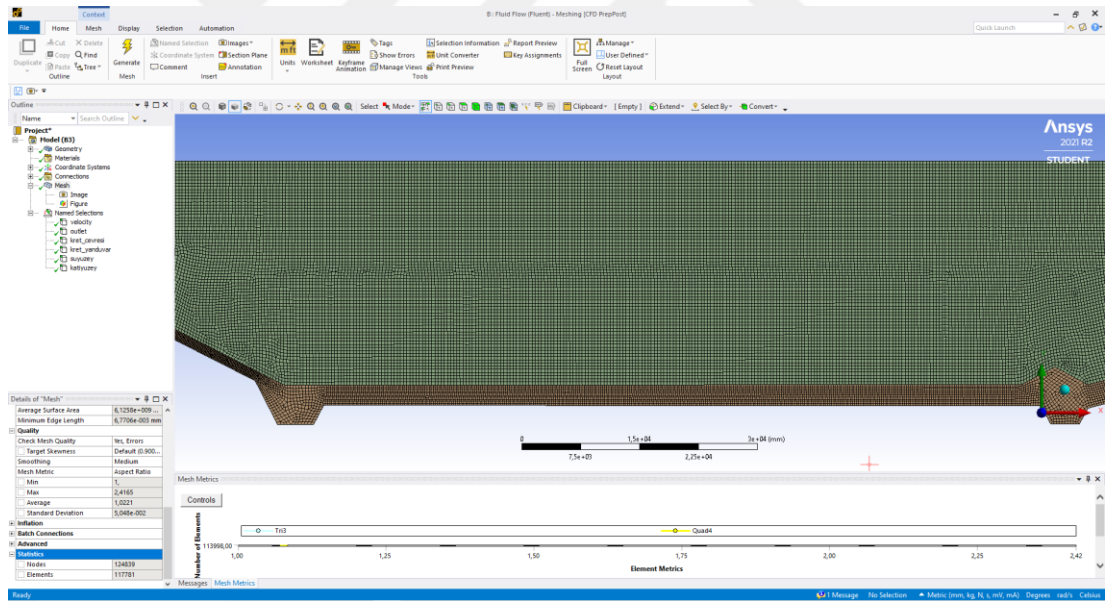
Şekil 4.19. Alpaslan II Barajı dolusavağı hesap ağı (x-y düzlemi)



Şekil 4.20. Alpaslan II Barajı dolusavağı hesap ağı (membadan görünüş)



Şekil 4.21. Alpaslan II Barajı dolusavağı hesap ağı (kanal görünüş)



Şekil 4.22. Alpaslan II Barajı dolusavağı hesap ağı (enerji kırıcı görünüş)

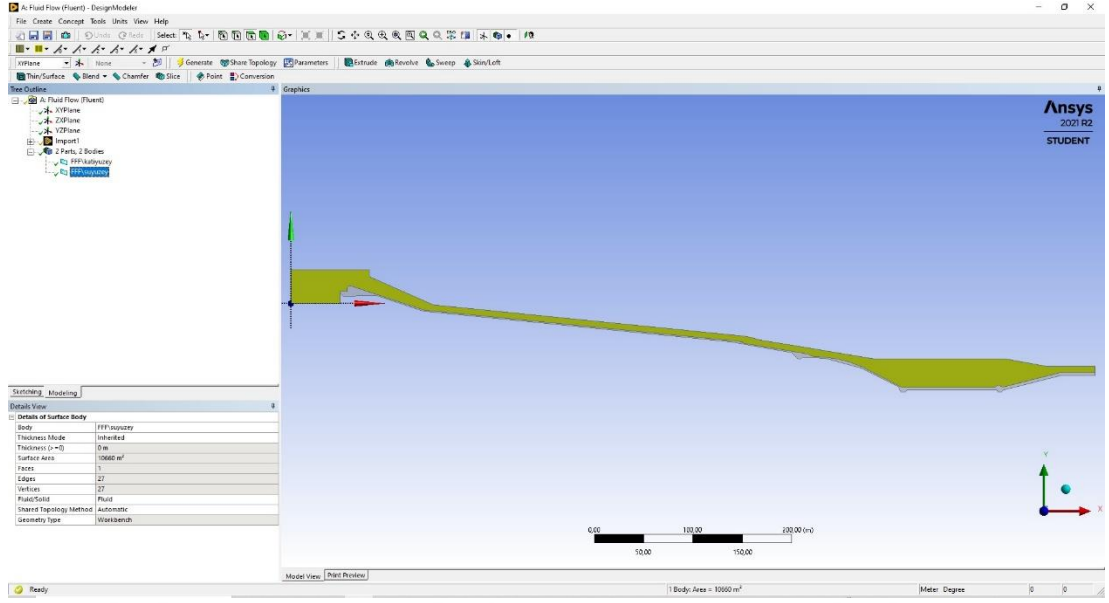
4.4. Sınır Koşulları

Sınır koşulları, sayısal analizin doğru sonuçlar vermesi için gerçek durumla uyumluluk sağlamalıdır. Ansys-FLUENT üç boyutlu çözüm alanını tanımlarken, Kartezyen

koordinatlarda kare ve dikdörtgen hesap hücreleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, her bir hesap hücresi bloğunda dört farklı sınır koşulu bulunmaktadır. Sayısal modelleme çalışmasında rezervuar durumunu ve mansap koşullarını simüle edebilmek için girişte hız sınır koşulu tanımlanmıştır. Çıkış koşulu da basınç olarak tanımlanmıştır, basınç değeri girilmeyerek varsayılan değer olan atmosferik basınçta çalışma gerçekleştirilmiştir (X_{max}). Uygulamanın çözüm bölgesinin üst kısmına sınır şartı olarak simetri verilmiştir. Yerçekiminden dolayı bu sınır koşulunun, herhangi bir etkisi olmadığı için serbest yüzeyde atmosfer basıncının etkili olduğu kabul edilmektedir (Z_{max}). Serbest yüzey, akışkan hacmi (VOF) yaklaşımı ile belirlendiğinden su-hava arakesitinde sıfır kayma gerilmesi ve sabit atmosfer basıncı etkili olmaktadır. Katı sınır yüzeylerinde kaymama (no-slip) sınır koşulu uygulanmıştır (Y_{max} , Z_{min}). Dolayısıyla cidar yüzeylerinde yatay ve düşey doğrultudaki hız bileşenleri sıfır olmaktadır.

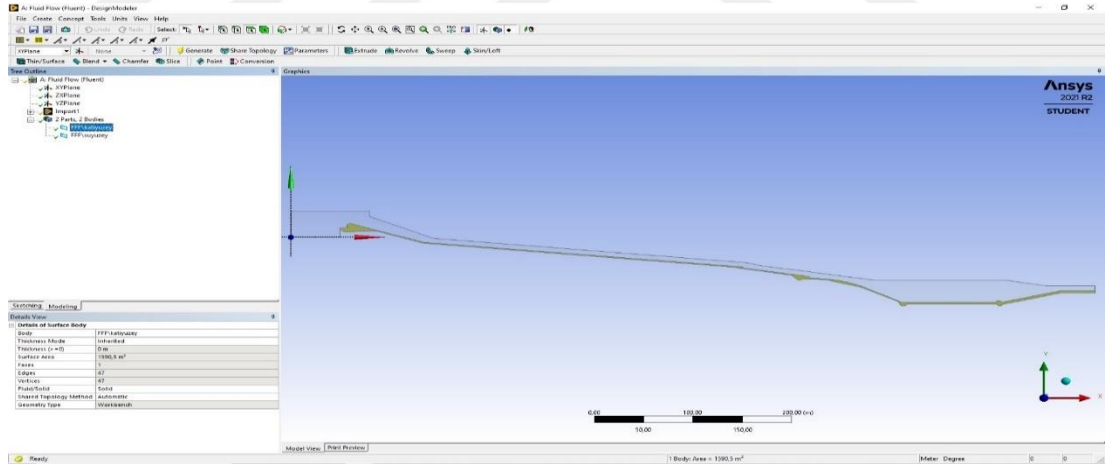
Dolusavak deşarj kanalı boyunca ve enerji kırıcı havuzda basınç ve hız karakteristikler ve kavitasyon hesaplamaları, ayrıca enerji kırıcı havuzun değerlendirilmesi için kullanılan modellerde ise giriş sınır koşulu (X_{min}) hacimsel debi (volume flow rate) olarak tanımlanmıştır ve olası en büyük taşkın pik değeri olan $5953 \text{ m}^3/\text{s}$ ile 10000 yıl tekerrürlü taşkın debisi ($3204 \text{ m}^3/\text{s}$) girdi olarak tanımlanmıştır. Diğer sınır koşulları yine yukarıda tanımlandığı gibi kullanılmıştır.

Alpaslan II Barajı Dolusavak modeli Ansys-Fluent yazılım programının DesignModeler kısmında FluidDomain ve SolidDomain olarak yüzeyler iki parçaya bölünmüştür. Ve böylece suyun akışının sağlanacağı mambadan mansaba doğru su yolu FluidDomain olarak gösterilmiştir. FluidDomain (suyüzey) alanı 10660 m^2 dir ve Şekil 4.23' te gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Alpaslan II Barajı dolusavağı designmodeler akışkan etki alanı (suyüzey)

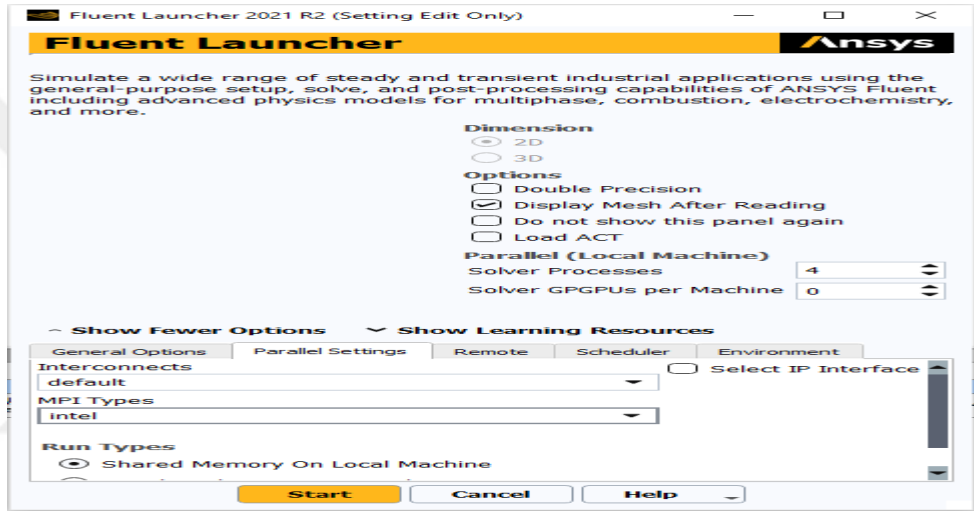
Hızın sıfır olduğu no-slip olarak tanımlanan soliddomain (katıyüzey) alanı ise 1590,5 m^2 dir. Aşağıdaki Şekil 4.24’ te görselde özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.24. Alpaslan II Barajı dolusavağı designModeler katı etki alanı (katıyüzey)

4.5. Setup Aşaması

Ansys- Fluent yazılım programında ağ yapım aşması tamamlandıktan sonra başlangıç kısmına geçilmektedir. Bu kısımda öncelikle işlemlerin (iterasyonlar) hızlı bir şekilde yapılabilmesi adına Parallel (Local Machine) bölümünde Solver Processes kısmını kullandığımız bilgisayarın çekirdek sayısı kadar artırabiliriz. Sonrasında alt kısımda Parallel Settings bölümünde MPI Types sekmesi “intel” seçilmelidir. Bu şekilde işlemlerimiz daha kısa sürede cevap verecektir. Şekil 4.25’ te Alpaslan II Barajı giriş kısmı verilmiştir.



Şekil 4.25. Kurulum başlangıç ayarlama sayfası

Deşarj debileri hesaplanırken başlangıç koşulu olarak belirli hız girişi tanımlanmış ve kapakların tam açıldığı durum için simülasyonlar yapılmıştır. Dolayısı ile simülasyon yaklaşım kanalı içerisinde, kret yapısının alt kısmında y^+ yönü doğrultusunda başlatılmış olup, bu noktadaki rezervuar hacmi dikkate alınarak verilen debi değerine göre hesaplanan hız değeri alt kısımdan su kadar dolu olacak şekilde kabul yapılmıştır. Dolusavakta oluşabilecek kavitasyonu incelemek için oluşturulan modelde ise kuyruk suyu ve kuyruk suyu alt seviyesinde bulunan enerji kırıcı yapı, kuyruk suyu kotuna kadar su ile dolu olacak şekilde başlatılmıştır. Basınç kısmı outlet olarak suyun çıkışına verilmiştir. Herhangi bir değer verilmemiştir.

Dolusavak modeline hız girişi olarak iki farklı çözüm yapılmıştır. Çünkü olası en büyük taşkın pik değeri olan 5953 m³/s ile 10000 yıl tekerrürlü taşkın debisi 3204 m³/s değerlerine hız elde edilmiştir. İki farklı debi için elde edilen hız değerleri için sayısal denklemler Ansys-Fluent yazılım programı ile çözülmüştür.

Şekil 4.26’ da Alpaslan II barajı dolusavak kurulum aşaması gösterilmiştir.

Denklem olarak;

$Q=V \times A$ denklemi kullanılmıştır.

Alan için

Kret Uzunluğu=50 m

Kret Genişliği=12 m

$A=50 \times 12=600 \text{ m}^2$

$Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$ için;

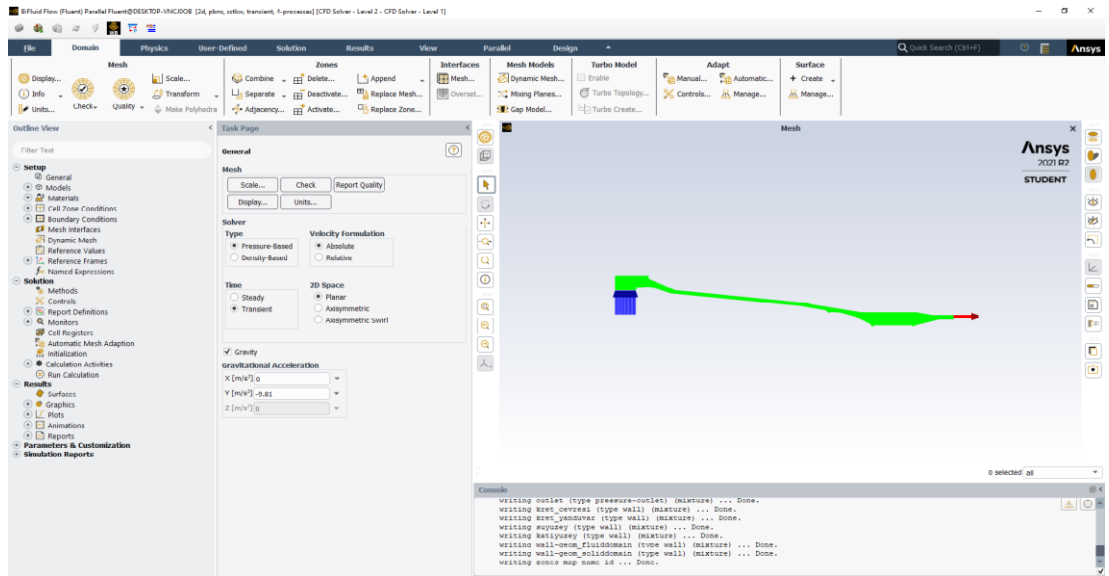
$3204=V \times 600$

$V=5,34 \text{ m/s}$

$Q=5953 \text{ m}^3/\text{s}$ için;

$5953=V \times 600$

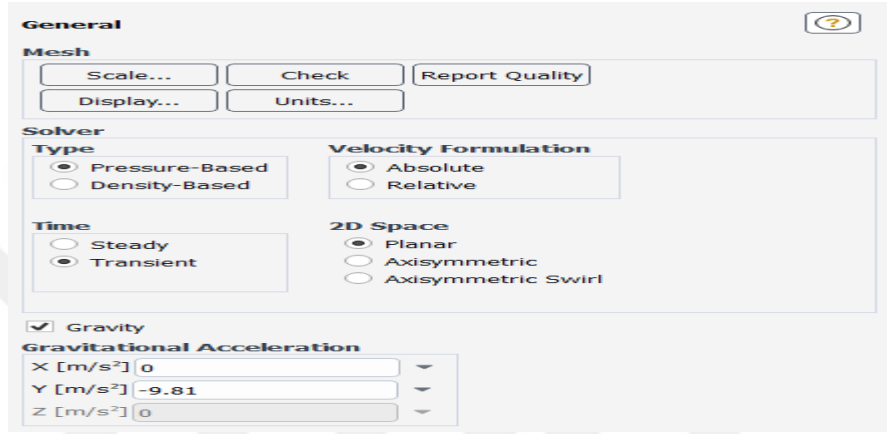
$V=9,92 \text{ m/s}$



Şekil 4.26. Alpaslan II Barajı dolusavak kurulum bölümü

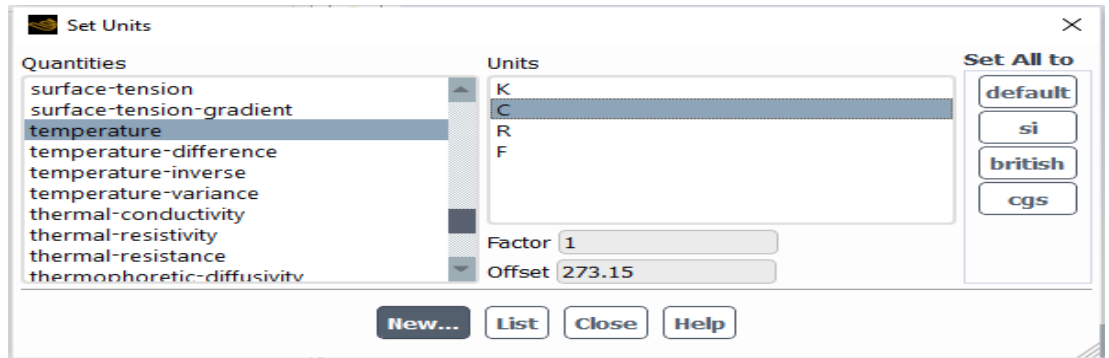
4.6. Fiziksel Özellikler

Dolusavak geometrisinin oluşturulması ve sınır koşullarının belirlenmesinden sonra akımın fiziksel özellikleri tanımlanmıştır. Şekil 4.27’ de görüldüğü gibi Gravity bölümünde yerçekimi z eksenı yönünde $-9,81 \text{ m/s}^2$ olarak girilmiştir. Çözümde tek akışkan ve sıkıştırılamaz akım modu kullanılmıştır. Zamana bağılı olarak değişen akım olacağı için Time kısmı transient olarak seçilmiştir.



Şekil 4.27. Genel ayarlamalar

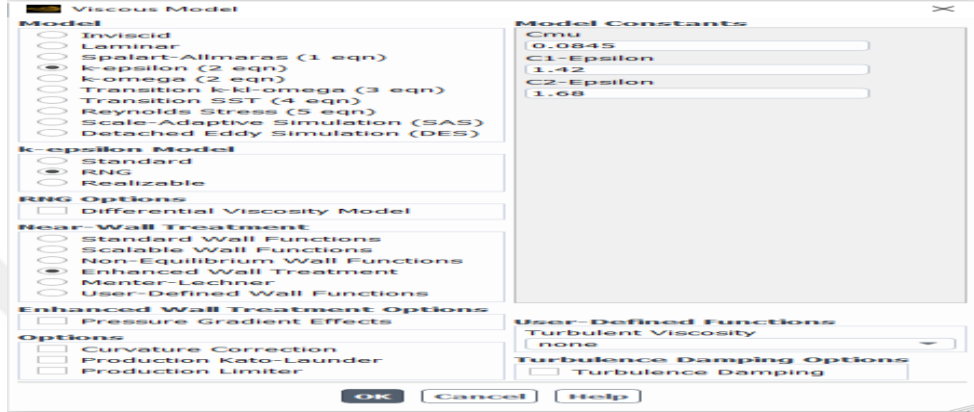
Projemizde suyun sıcaklığı 20°C olarak verilmiştir. Sayısal hesaplama yapılırken sıcaklık bölümünden Kelvin (K) olan sıcaklık birimi Derece (C) olarak değiştirilmiştir. Değişim aşaması Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Sıcaklık (Derece) değişikliği

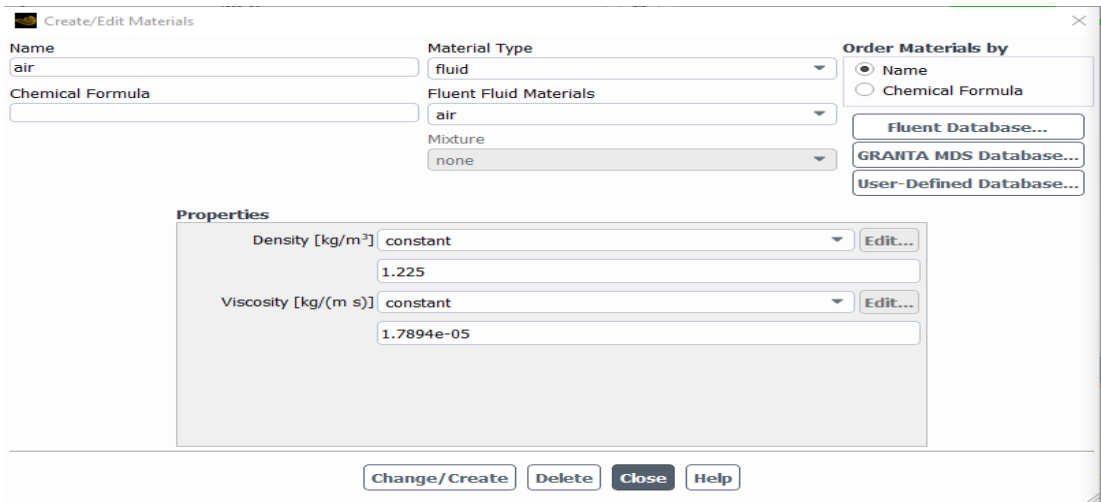
Şekil 4.29’da gösterildiği gibi Viscous Model sayfasında Model olarak k-epsilon RNG türbülans modeli seçilmiştir. Near-Wall Treatment sekmesinde ise Enhanced Wall

Treatment seçilmiştir. Çünkü RNG türbülans modelinde gelişmiş duvar işlemi önemlidir. Girdabın türbülans üzerindeki etkisi dönen akışlar için doğruluğu artıran RNG modeline dahil edilmiştir. k-ε benzer bir türbülans modeli elde etmek için kullanılabilecek matematiksel bir teknik olan RNG yaklaşımı, üretim terimindeki değişiklikler yoluyla farklı hareket ölçeklerini hesaba katmaya çalışan epsilon denkleminin farklılaştırılmış bir formudur.



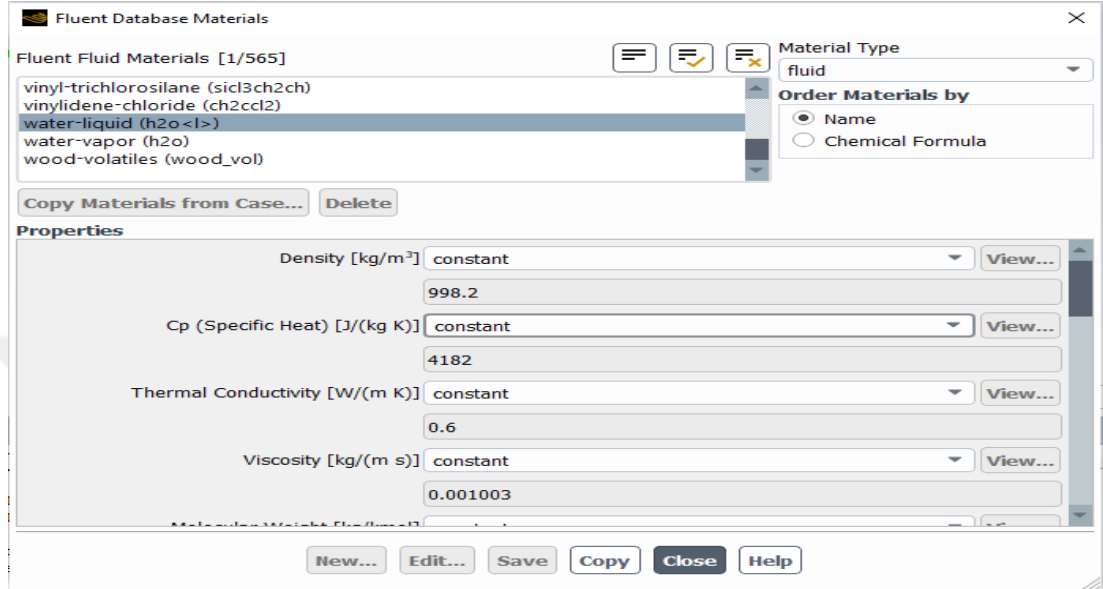
Şekil 4.29 Türbülans modeli

Materials kısmında yeni bir materyal eklenmiştir. Şekil 4.30’da gösterildiği gibi Create New Material seçeneğinden sonra Fluent Database Materials seçilmiştir.



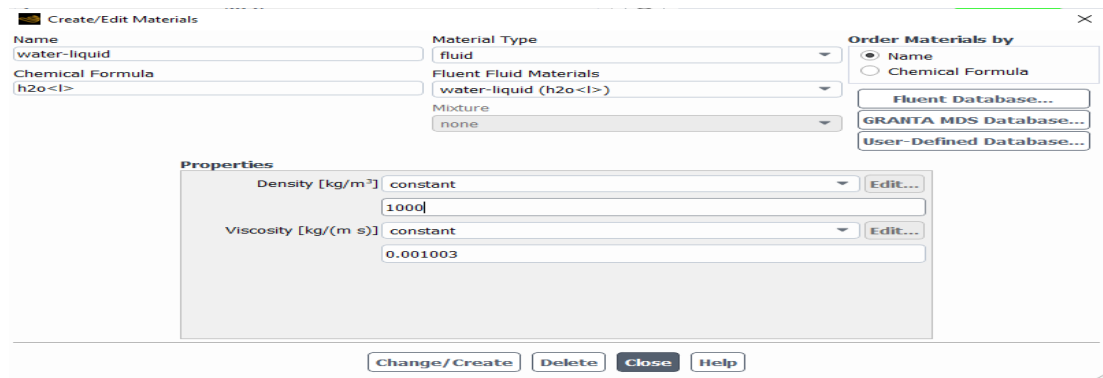
Şekil 4.30. Alpaslan II Barajı dolusavak modelleme fluent veritabanı

Şekil 4.31’de de olduğu gibi Water-Liquid (h2o<|>) yeni materyal olarak seçilmiştir. Yeni seçilen elemana ait özellikler Properties kısmında verilmektedir. Burada kopyalama yani kendi modeleimize ekleme işlemi yapıldıktan sonra üzerinde düzenleme yapılabilmektedir. Bu sayfada öncelikle kopyalama ardından kapat yapılmıştır.



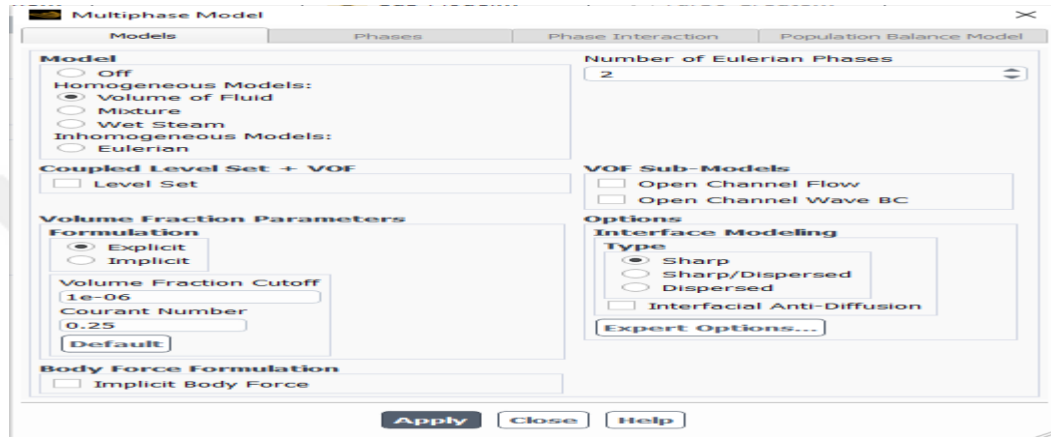
Şekil 4.31. Fluent veritabanına su-akışkan ekleme

Projemizde kullanılan suyun yoğunluğu 1000 kg/m^3 tür. Bu sebeple kopyalanan su elemanı üzerinde düzenlemeler yapılmıştır. Yoğunluk(density) değeri yani yoğunluğu 1000 kg/m^3 olarak değiştirilmiştir. Görsel olarak Şekil 4.32’de gösterilmiştir.



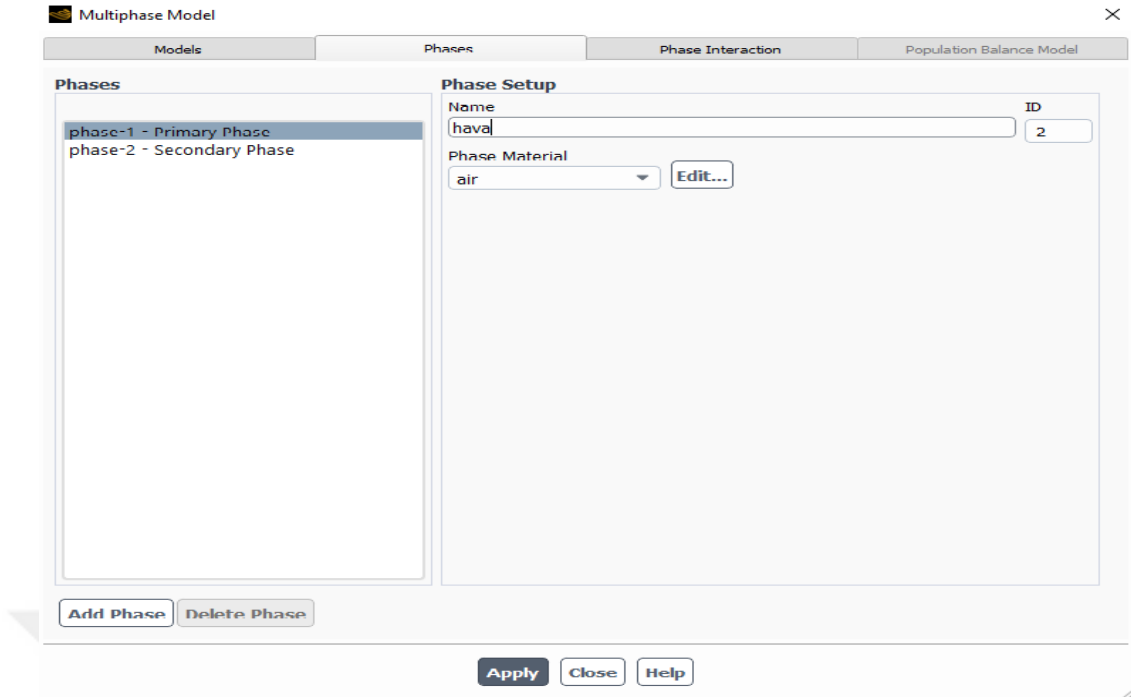
Şekil 4.32. Su-akışkan düzenleme

VOF (Akışkan hacimleri yöntemi) birbiri ile karışmayan iki veya daha fazla akışkan arasındaki fazlar arası ara yüzeyin şekli ve oluşumu araştırılmak istendiğinde genellikle sabit bir Eulerian çözüm ağına uygulanabilmektedir. Alpaslan II Barajı Dolusavak modelinin kanal yüzeyinde su ve hava karışmaktadır. Bu bölgenin çözümü VOF metodu kullanılarak yapılmıştır. Multiphase Model sekmesi açılıp burada model olarak Şekil 4.33’ te olduğu gibi Volume of Fluid seçilmiştir. Formulation kısmında ise Explicit seçilmiştir. Bu seçim suyun sürekli akan bir su olduğunu belirtmektedir.

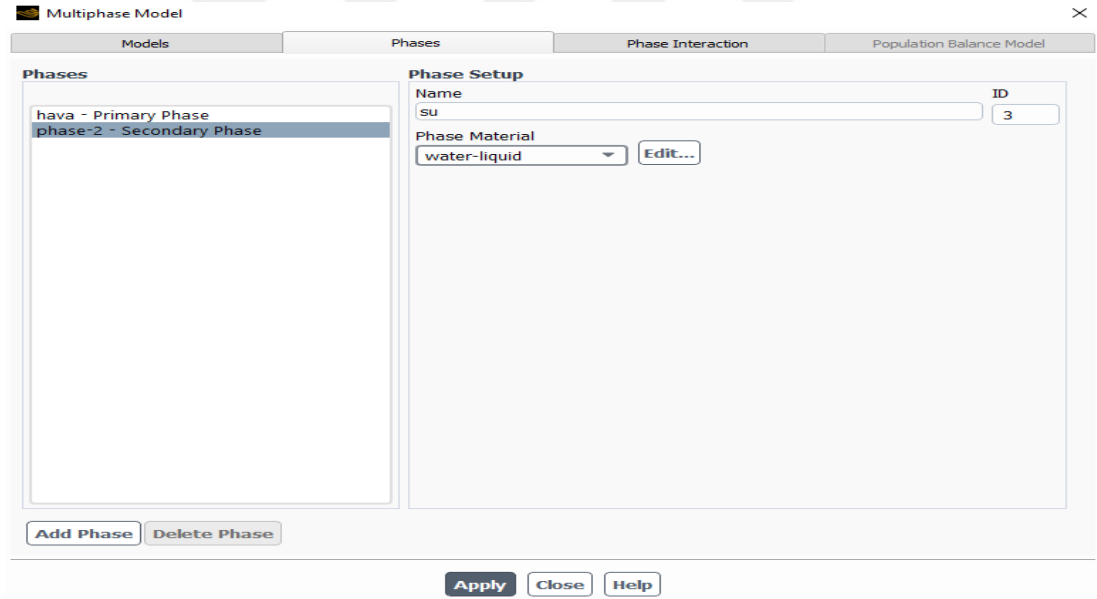


Şekil 4.33. Akışkan hacmi

Alpaslan II Barajı dolusavak modelimizde çözümlemeler yapılırken kanal yüzeyi boyunca su ve hava karışacağından phases kısmında iki durum tanıtılmıştır. Primary Phase olarak hava (air) tanımlanmış ve Secondary Phase olarak ta su (water-liquid) tanımlanmıştır. Şekil 4.34 ve Şekil 4.35’ te Volume of Fluid primary phase (hava) ve secondary phase (su) evrelerine ait görseller verilmiştir.

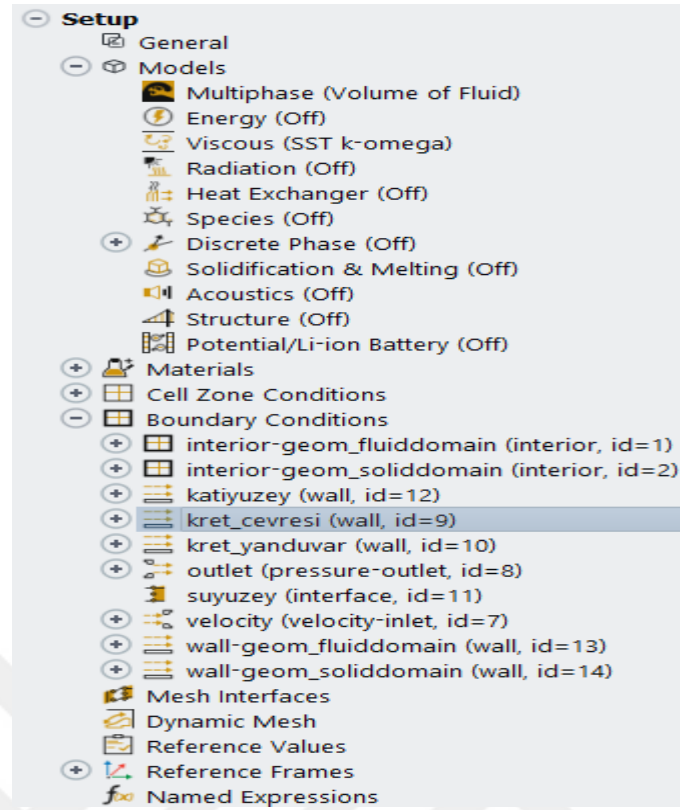


Şekil 4.34. Akışkan hacmi birinci aşama (hava)



Şekil 4.35. Akışkan hacmi ikinci aşama (su)

Boundary Conditions dolusavak modelimizde tanımladığımız fiziki sınır şartları ve yüzeylerin detaylarının belirtildiği kısımdır. Bu aşamada belirtilen sınırlar kontrol edilmeli ve gerekli alanlara eklenmesi gereken veriler eklenmelidir. Şekil 4.36'da Boundary Conditions bölüne ait görsel yer almaktadır.



Şekil 4.36. Alpaslan II Barajı dolusavak sınır şartları

Projemizde elimizde bulunan debiler için hız değerlerimizi hesaplamıştık. Bu aşamada elde ettiğimiz hız değerleri için setup kısmını iki farklı Velocity değeri için çözümledik. $Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $Q=5958,5 \text{ m}^3/\text{s}$ için elde edilen hız değerleri aşağıda verilmiştir. Suyun girişi kretin alt noktası kabul edildiği için y+ yönü hız değeri verilmiştir.

$Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$ için;

$$3204 = V \times 600$$

$$V = 5,34 \text{ m/s}$$

$Q=5953 \text{ m}^3/\text{s}$ için;

$$5958.5 = V \times 600$$

$$V = 9,92 \text{ m/s}$$

Şekil 4.37' de $Q=5953 \text{ m}^3/\text{s}$ için velocity hız değeri y yönünde m/s birimi ile girilmiştir.

Velocity Inlet

Zone Name: inlet Phase: mixture

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential Structure UDS

Velocity Specification Method: Components

Reference Frame: Absolute

Supersonic/Initial Gauge Pressure [Pa]: 0

X-Velocity [m/s]: 0

Y-Velocity [m/s]: 9.92

Turbulence

Specification Method: Intensity and Viscosity Ratio

Turbulent Intensity [%]: 5

Turbulent Viscosity Ratio: 10

Apply Close Help

Şekil 4.37. Alpaslan II Barajı dolusavak modeli $Q=5953 \text{ m}^3/\text{s}$ için hız değeri

Şekil 4.38’ deki görselde verildiği gibi Volume Fraction suyun hacim oranına 1 değeri verilmiştir.

Velocity Inlet

Zone Name: velocity Phase: su

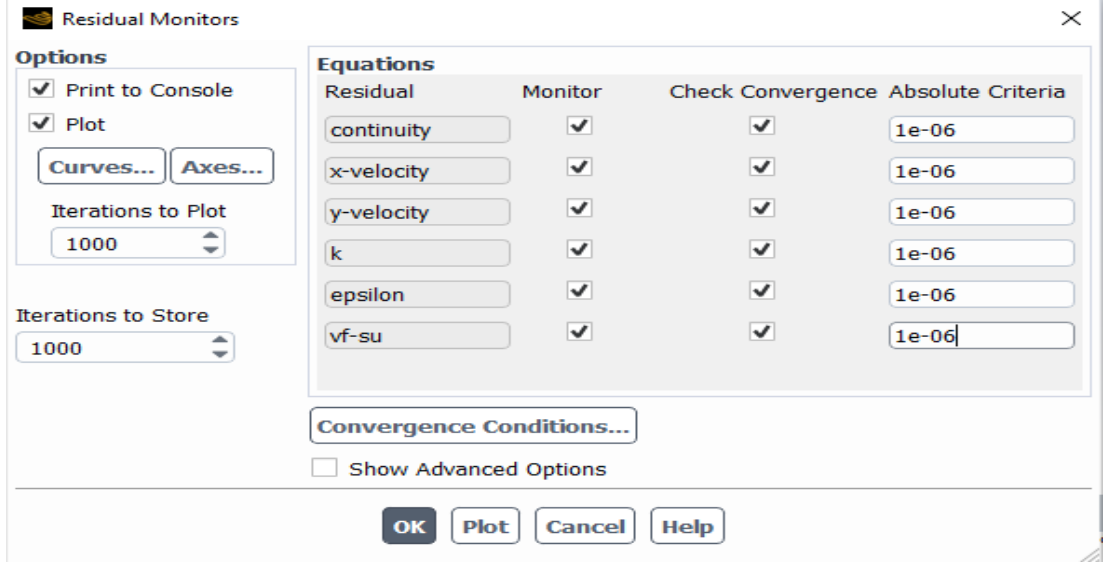
Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential Structure UDS

Volume Fraction: 1

Apply Close Help

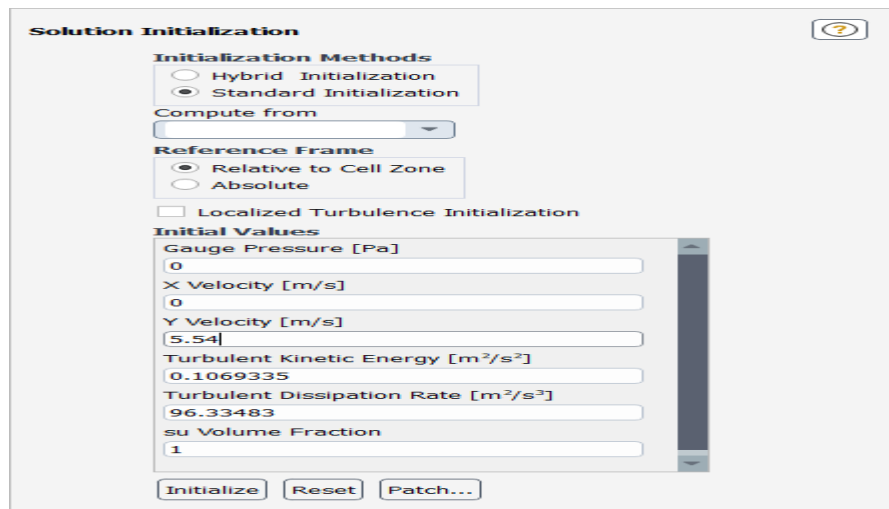
Şekil 4.38. Alpaslan II Barajı dolusavak modeli hacim oranı

Analiz işlemi yapılmadan önce iterasyonların hangi değere kadar ilerleyeceği bu noktaya gelindiğinde değerlerin kabul edilebilir düzeyde olduğu Residual bölümünde ayarlanmaktadır. Şekil 4.39 üzerinde iterasyonların kaç değerini alana kadar devam edeceği belirtilmiştir. Bütün değerler $1e-06$ olana kadar devam edilmesi istenmiştir.



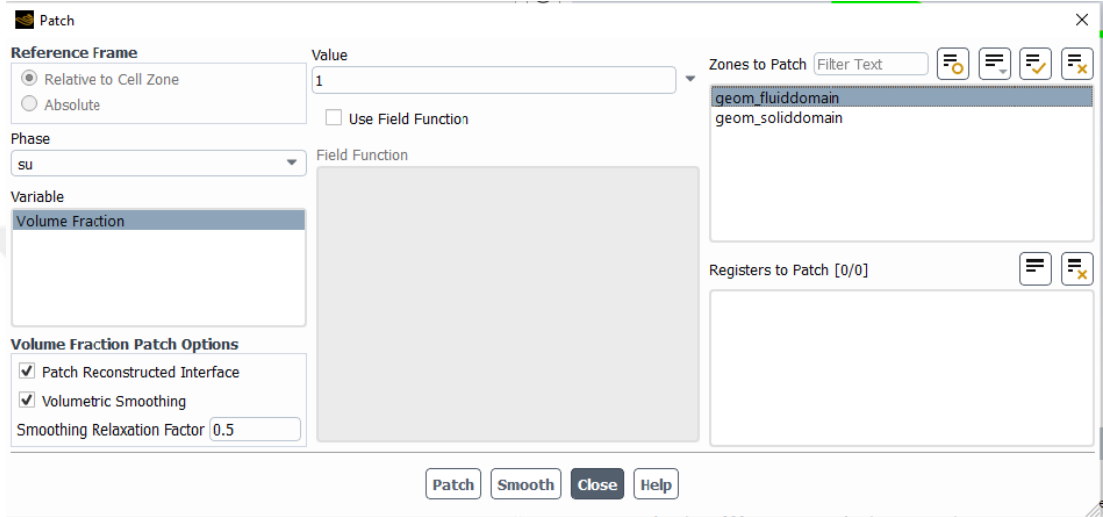
Şekil 4.39. Alpaslan II Barajı dolusavak modelleme kalan ekranlar

Çözüm aşamasına geçilmeden önce yapılması gereken işlemlerden biri de initialization kısmıdır. Initialization method olarak ikiye ayrılır. İlk ve basit olan method herhangi bir değer girmeden yapılacak olan hybrid (melez) methoddur. Sonrasında run Calculation yapıp veriler elde edilebilir. Alpaslan II Barajı dolusavak modeli çözüm aşamasında initialization (başlatma) işleminde Standart initialization seçeneğini kullanmıştır. Compute from yani başlatma kısmı olarak all-zones seçilmiştir. Görsel olarak Şekil 4.40'ta verilmiştir.



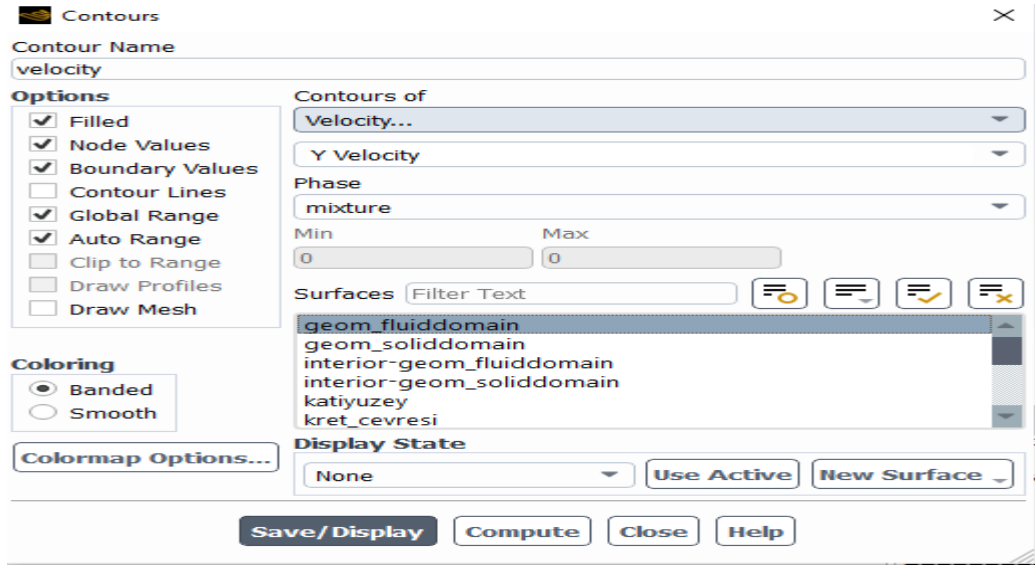
Şekil 4.40. Alpaslan II Barajı ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) dolusavak başlatma

Patch(yama-ekleme) kısmı ise Initialization işlemi tamamlandıktan sonra VOF metodunu eklememizi sağlayan kısımdır. Bu bölümde Phase (faz) olarak su seçilmelidir. Seçilen su değişkeni (variable) olarak Volume fraction (hacim oranı) seçilmiştir. Değeri 1 olarak kabul edilmiştir ve su alanında yani fluiddomain alanda yama işlemi yapılmıştır. Şekil 4.41’de patch aşamasına ait görsel verilmiştir.



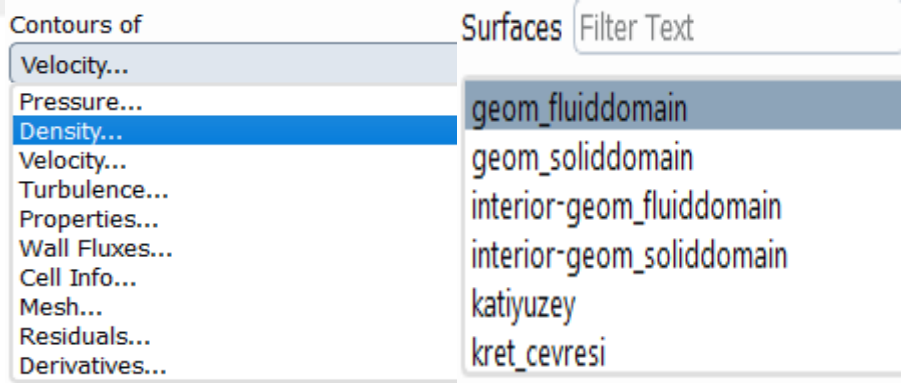
Şekil 4.41. Alpaslan II Barajı dolusavak modeli uzantı

Yama işleminden sonra contour (kontur) oluşturulmuştur. İlk olarak hız değeri için kontur işlemi yapılmıştır. Kontur name için velocity seçilmiştir. Contours of kısmına velocity seçimi yapılmış ve x veya y yönündeki hız değeri ya da hız büyüklüğü (velocity magnitude) seçilip oluşan modelleme kontrol edilmiştir. Phase kısmına mixture(karışık) değeri seçilmiştir. Şekil 4.42’de gösterildiği gibi yüzey olarak fluiddomain kontur işlemi yapılacağı yüzey olarak seçilmiştir.



Şekil 4.42 Alpaslan II Barajı hız konturu

Kontur olarak pressure(basınç), density(yoğunluk), Turbulance(türbülans) ve velocity(hız) vb. seçilebilir. Şekil 4.43'te kontur seçim aşamasına ait görsel verilmiştir. Bu değerler için kontur işlemi yapılabilir. Grafikselsel olarak veriler elde edilebilir.



Şekil 4.43. Kontur seçim aşaması

Son aşama olarak Run Calculation kısmı mevcuttur. Zamana bağlı çözüm olacağı için karşımıza çıkan aşama Şekil 4.44' de olduğu gibidir. Öncelikle tip olarak adaptive(uyarlanabilir) seçilmiştir. Number of Time Steps (zaman adımı sayısı) kısacası her iterasyon için ilerlenecek sayı 5 olarak belirlenmiştir. Max iterasyon 500 olarak belirlenmiştir. Projemiz iki boyutlu (2D) olarak çözüldüğü için bu değerler yeterli gelmiştir. Diğer değerlerde değişiklik yapılmamıştır. Verilerin 1e-06 olana

kadar devam etmesi istenmiş değerler bu seviyeye gelince iterasyonlar durdurulmuştur.

Run Calculation

Check Case... Preview Mesh Motion...

Time Advancement

Type: Adaptive Method: Multiphase-Specific

Duration Specification Method: Incremental Time Steps

Parameters

Number of Time Steps: 5 Global Courant Number: 2

Number of Fixed Time Steps: 1 Initial Time Step Size [s]: 1e-05

Max Iterations/Time Step: 500 Reporting Interval: 1

Profile Update Interval: 1 Time Step Size Update Interval: 1

Settings...

Options

☐ Extrapolate Variables

☐ Report Simulation Status

Solution Processing

Statistics

☐ Data Sampling for Time Statistics

Data File Quantities...

Solution Advancement

Calculate

Şekil 4.44. Hesaplamayı çalıştırma

4.6.1. Türbülans Modeli

Alpaslan II Barajı dolusavağı sayısal analizlerinde türbülans modeli olarak RNG (Renormalized Group) kullanılmıştır. RNG türbülans modelinin geniş uygulanabilirliği bulunmaktadır. Bu modelin özellikle düşük yoğunluklu türbülans akışlarının tanımlanabilmesinde ve güçlü kayma bölgelerine sahip olduğu bilinmektedir. Literatürde yapılan dolusavak sayısal analizlerinin büyük bir çoğunluğunda RNG modeli kullanılmıştır ve iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

4.6.2. Hava Sürüklenmesi Modeli (Air Entrainment)

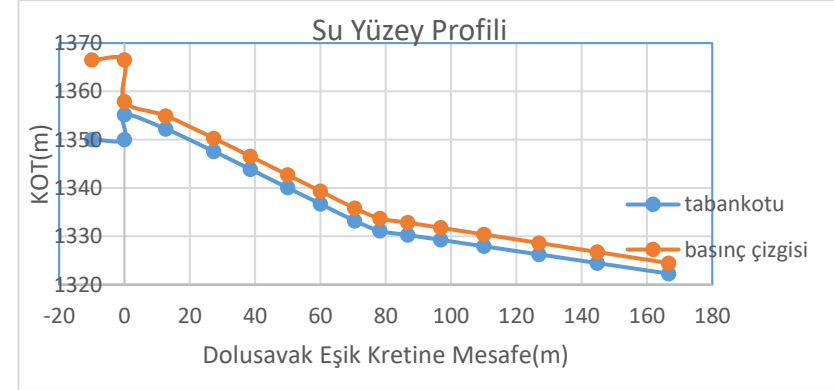
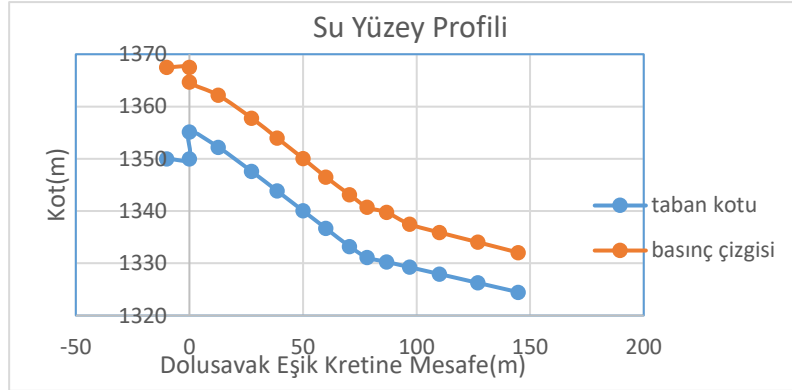
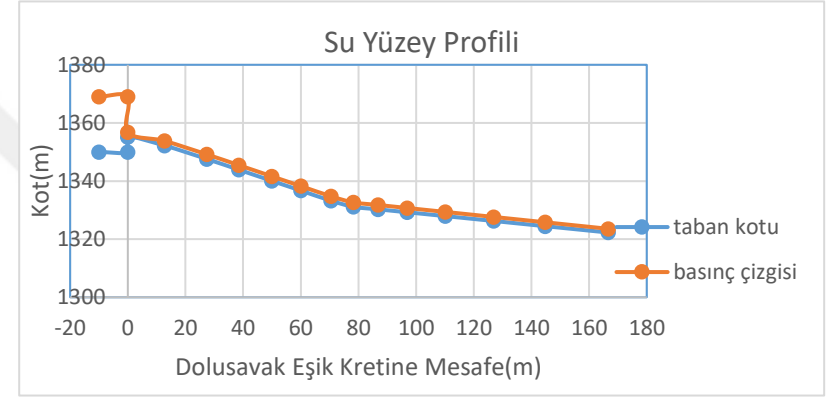
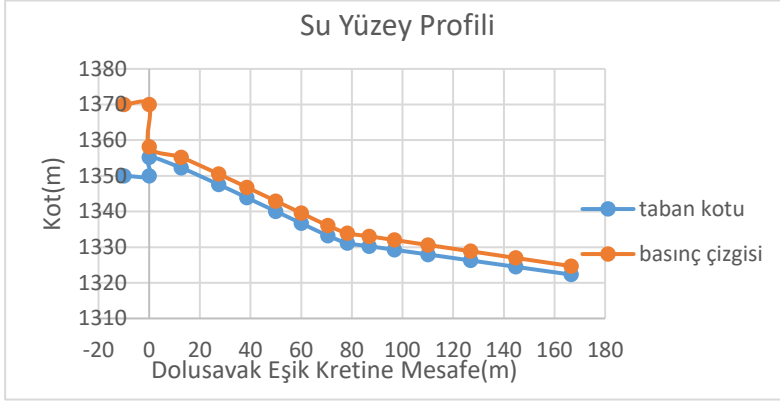
Dolusavak yapılarının karşılaştığı en önemli sorunlardan bir tanesi kavitasyon sorunudur. Kavitasyon problemini çözmenin en kolay ve uygulanabilir yolu akımı havalandırmaktır. Literatürde yapılan araştırmalar sonucunda çeşitli yöntemler kullanarak akımın havalandırılabilirdiği gözlemlenmiştir. 2013 senesinde gerçekleştirilen Alpaslan II Barajı Dolusavak Fiziksel Model sonuçlarına göre boşaltım kanalı boyunca tespit edilen kavitasyon probleminin kanal boyunca tesis edilecek iki havalandırıcı ile giderilmesi uygun bulunmuştur. Bu çalışma kapsamında da önerilen havalandırıcılar, önerildikleri noktalar dikkate alınmak suretiyle değerlendirilmiştir. Bu havalandırıcıların etkinliğini araştırmak için akıma giren havanın miktarının bulunması gerekmektedir. Sayısal analizlerde hava sürüklenmesi (air entrainment) modeli kullanarak akıma girecek hava miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu model iki fazlı çözüm yapmayı gerektirmeyeceği için çözüm süresine çok fazla bir yük getirmemektedir. Modelle birlikte havanın fiziksel özellikleri hesaba dahil edilmiştir. Havanın yoğunluğu $1,255 \text{ kg/m}^3$ olarak alınmıştır.

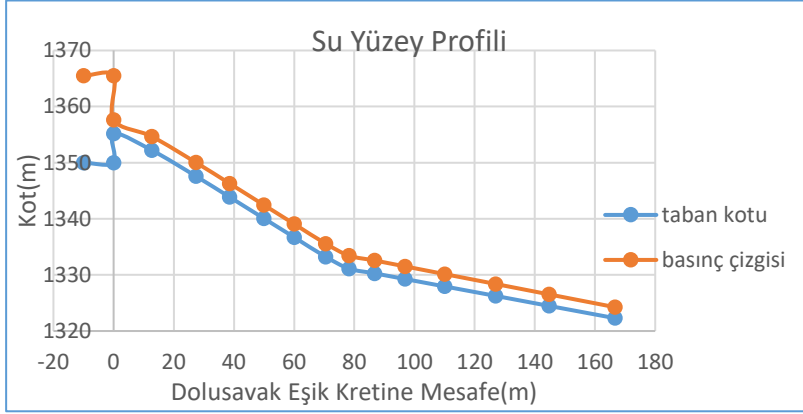
4.6.3. Yüzey ve Akışkan Özellikleri

Bu çalışmada, akışkan olarak 20°C 'de su seçilmiştir. Yoğunluk, viskozite ve sıcaklık gibi akışkan özellikleri sayısal model için bir girdi olarak tanımlanmıştır. Suyun yoğunluğu 1000 kg/m^3 'tür.

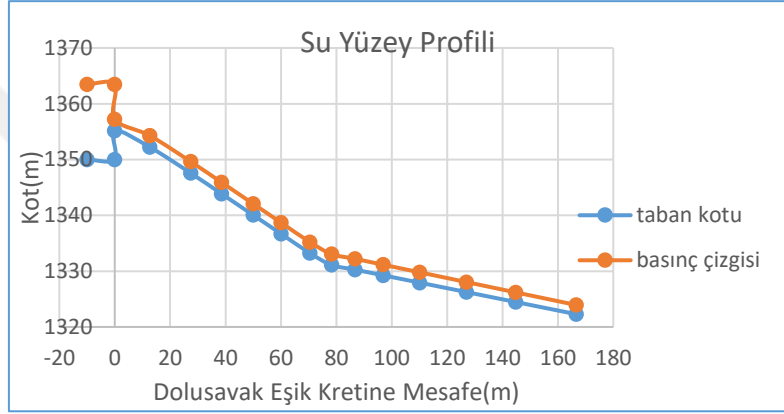
4.6.4. Eşik Yapısı Basınç Ölçümleri

Dolusavak eşik yapısı ve takip eden deşarj kanalı üzerinde 12 noktada $Km=0+000-0+166,63 \text{ m}$ arasında farklı su yüklerinde basınç hesaplandı. 15, 14, 12,5, 11,5, 10, 8, 6 ve 4 m su yükleri için eşik üzerinde kenar boyunca oluşan basınç çizgileri aşağıda verilmiştir.

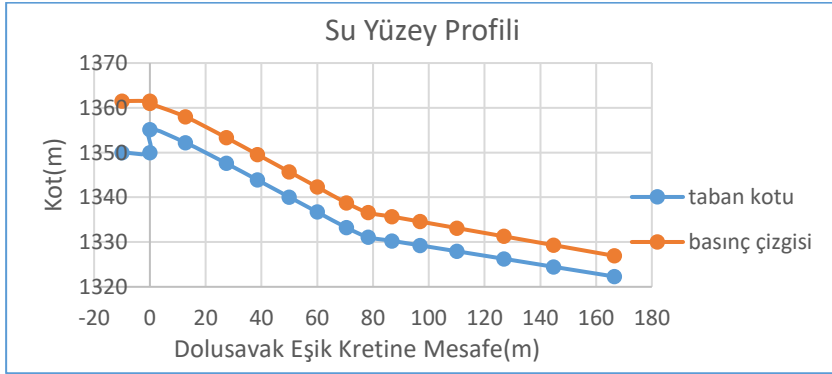




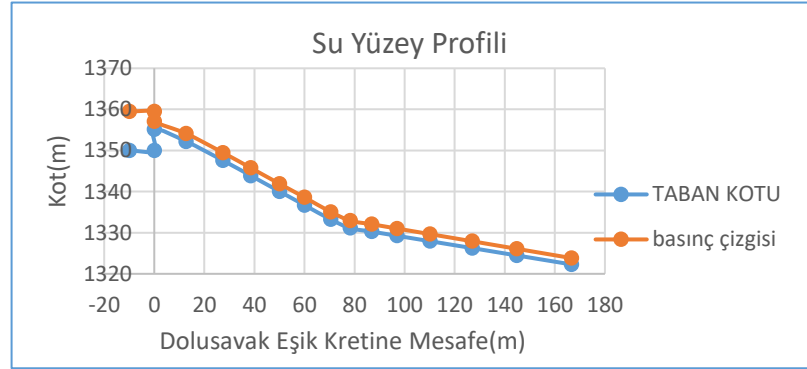
Şekil 4.49. Eşik ve deşarj kanalı üzerindeki basınç çizgisi ($Q= 3525,91 \text{ m}^3/\text{s}$) (kenar)



Şekil 4.50. Eşik ve deşarj kanalı üzerindeki basınç çizgisi ($Q= 2486,75 \text{ m}^3/\text{s}$) (kenar)



Şekil 4.51. Eşik ve deşarj kanalı üzerindeki basınç çizgisi ($Q= 1610,45 \text{ m}^3/\text{s}$) (kenar)



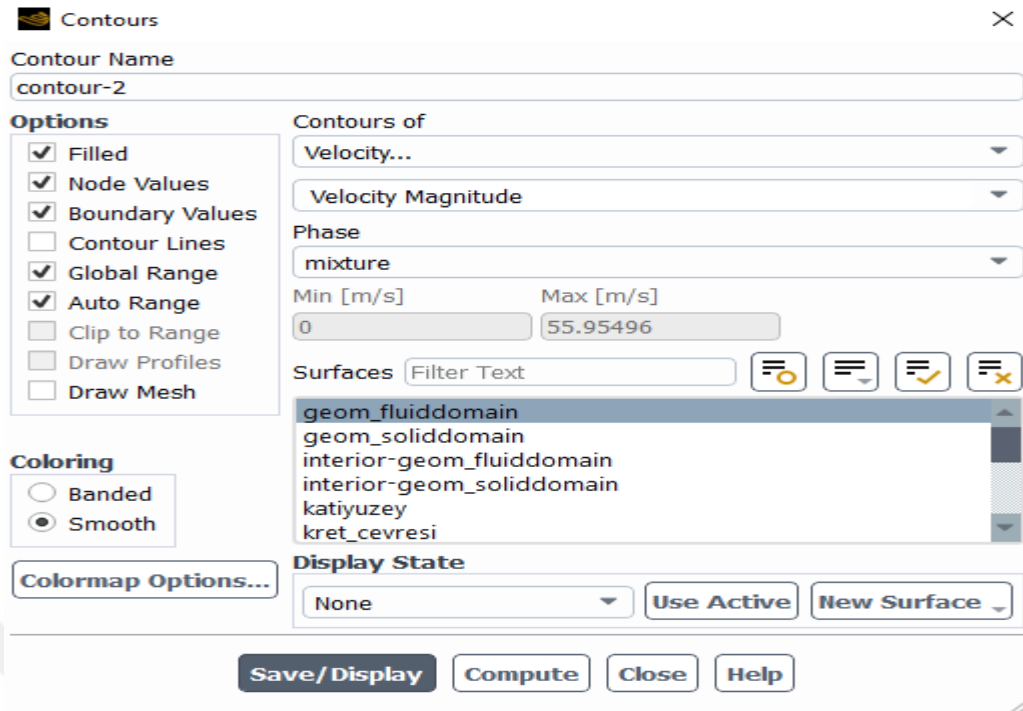
Şekil 4.52. Eşik ve deşarj kanalı üzerindeki basınç çizgisi ($Q= 852,05 \text{ m}^3/\text{s}$) (kenar)

Literatürde yapılan incelemeler sonucunda beton dayanımını olumsuz etkileyebilecek negatif basınç değeri için kritik değer -4 m olarak verilmiştir. Şekil 4.45-4.52 arasındaki grafiklerden de görülebileceği gibi farklı rezervuar seviyeleri için eşik yapısı ve takip eden deşarj kanalı üzerinde kritik değeri aşan negatif basınca rastlanılmamıştır.

4.7. Sayısal Analiz Sonuçları

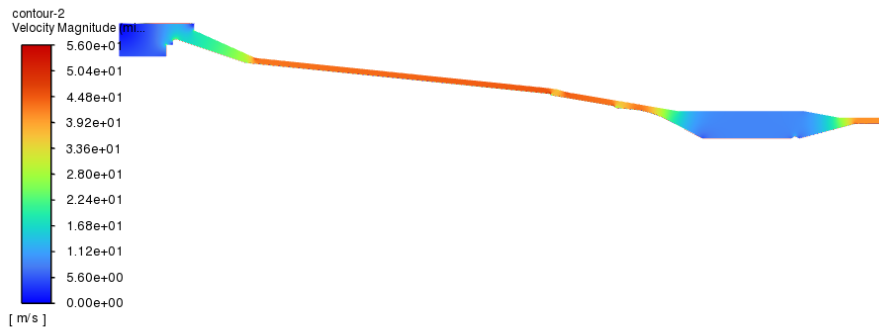
Hesaplamalı akışkanlar dinamiği son yıllarda hidrolik problemlerin çözülmesinde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Gelişen teknolojiyle birlikte bilgisayarlar yardımıyla yapılan üç boyutlu simülasyonlardan gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmektedir. Literatürde özellikle dolusavak için yapılan sayısal analiz çalışmaları incelendiğinde fiziksel hidrolik model deneyleri ile yakın sonuçlar bulunduğu görülmüştür. Alpaslan II Barajı dolusavağı üzerindeki akım sonlu hacimler tekniği ile dolusavak akımlarının analizinde yaygın olarak kullanılan Ansys-Fluent programı ile modellenmiştir. Sayısal modelde RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) denklemleri RNG (Renormalized Group) türbülans modeli kullanılarak, ortogonal hesap hücreleri üzerinde çözülmüştür. Sayısal analiz işleyiş süreci yukarıda anlatılan aşamalardan sonra iki boyutlu simülasyonlar zamana bağlı çözülerek tamamlanmıştır. Öncelikle uygun hesap ağı seçimi yapılarak çözüm için en optimum hesap hücreleri boyutu ve konfigürasyonu belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen hesap ağı kullanılarak model üzerinde detaylı incelemeler yapılmıştır.

Sonuç kısmında görsel olarak suyun akışını hız ve basınç olarak gösterilmektedir. Şekil 4.53 ve Şekil 4.54’ de 10000 yıl tekerrürlü taşkın debisi olan $Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$ değeri için zamana bağlı olarak elde edilen hız seçim aşaması ve değerleri gösterilmektedir. Şekil 4.55 ve Şekil 4.56’ da ise 10000 yıl tekerrürlü taşkın debisi olan $Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$ değeri için zamana bağlı olarak elde edilen basınç seçim aşaması ve basınç değerleri gösterilmektedir.

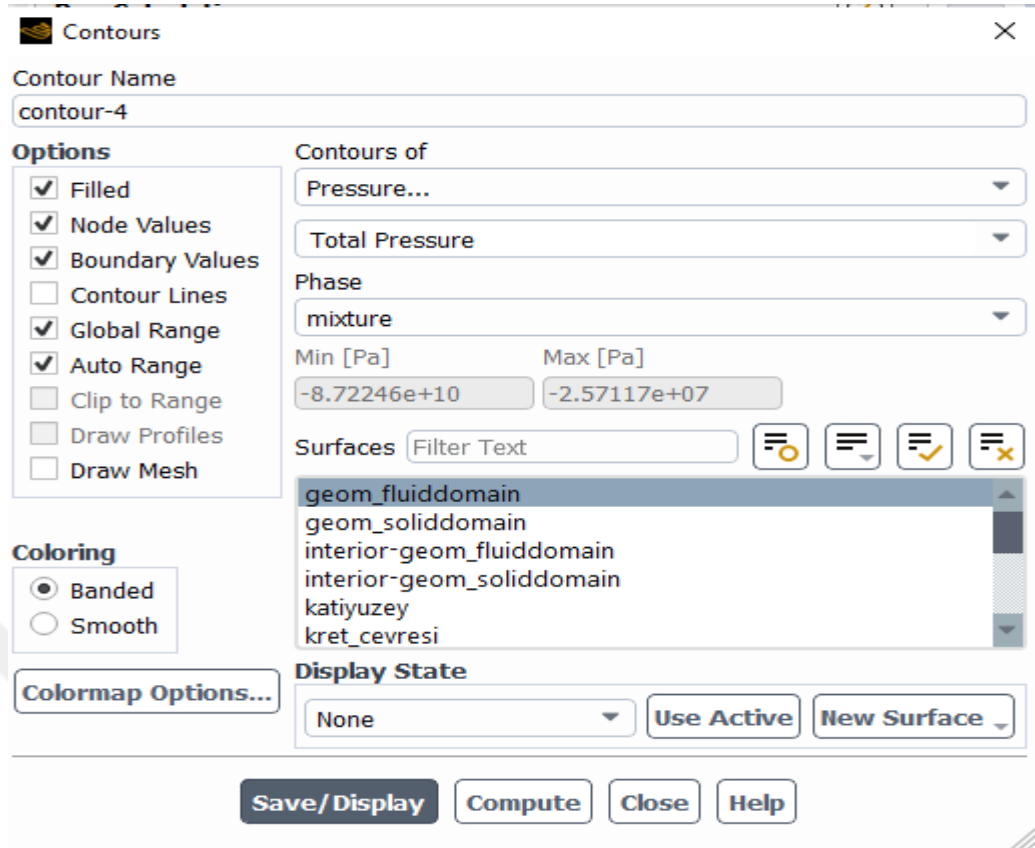


Şekil 4.53. Hız büyüklüğü

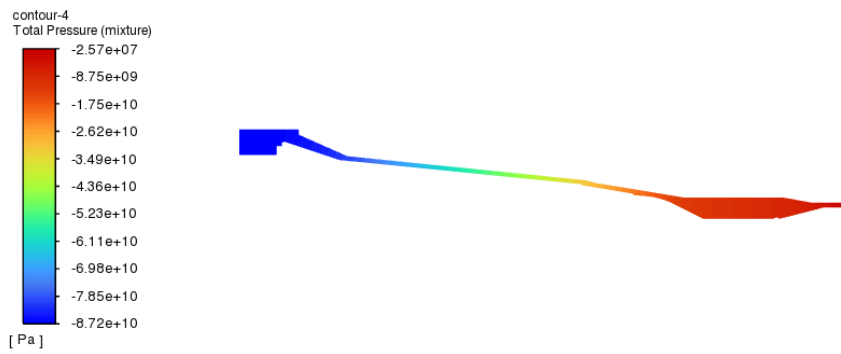
Ansys
2021 R2
STUDENT



Şekil 4.54. Alpaslan II Barajı ($Q:3204 \text{ m}^3/\text{s}$) dolusavak hız büyüklüğü

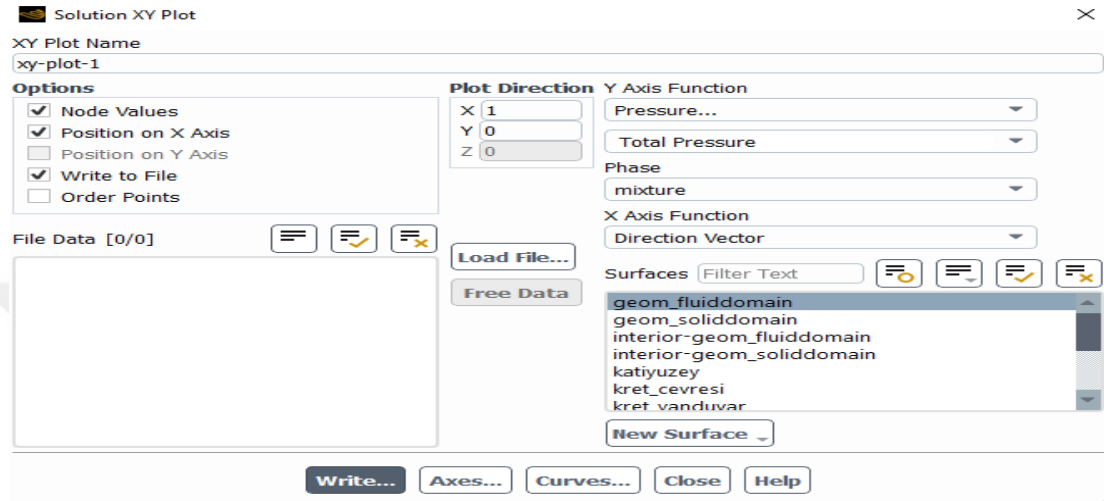


Şekil 4.55. Toplam basınç



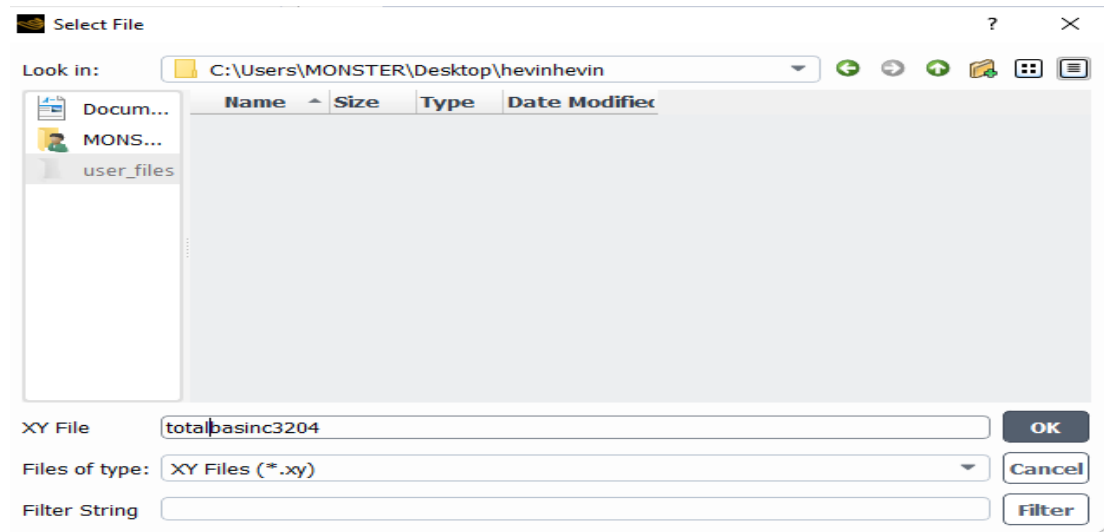
Şekil 4.56. Alpaslan II Barajı ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) dolusavak toplam basınç

Çözüm aşamasına geçilmeden önce Setup kısmında istenilen verilerin Solution XY Plot sekmesinde dosyaya yazılma işlemi yapılabilir. XY Plot Name kısmına isim yazılmalıdır. Y Axis Function kısmına istenilen verilerin ne olacağı seçilir sonrasında hangi yüzey üzerindeki verilerin seçileceği belirlenmelidir. Ve sonra “Write to File” seçeneği seçilir. Şekil 4.57 ve Şekil 4.58’ de XY plot aşaması görsel olarak verilmiştir.



Şekil 4.57. Alpaslan II Barajı ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) solution XY planı

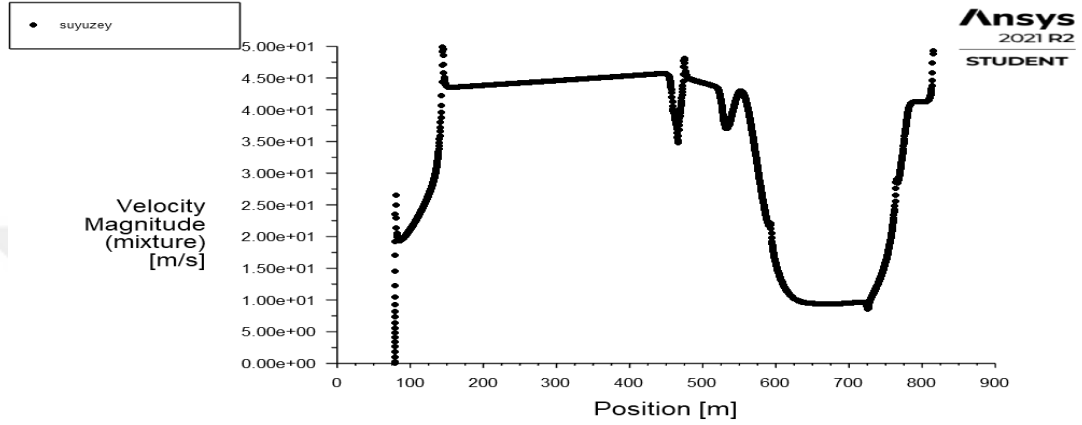
Sonrasında dosya “.xy” formatında kayıt edilmektedir. Kayıt edilen dosya daha sonra Microsoft Excel yazılım dosyası ile kayıt edildiği yerden open ile açılıp gerekli düzenlemeler yapılmaktadır.



Şekil 4.58. Alpaslan II Barajı ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) XY kayıt

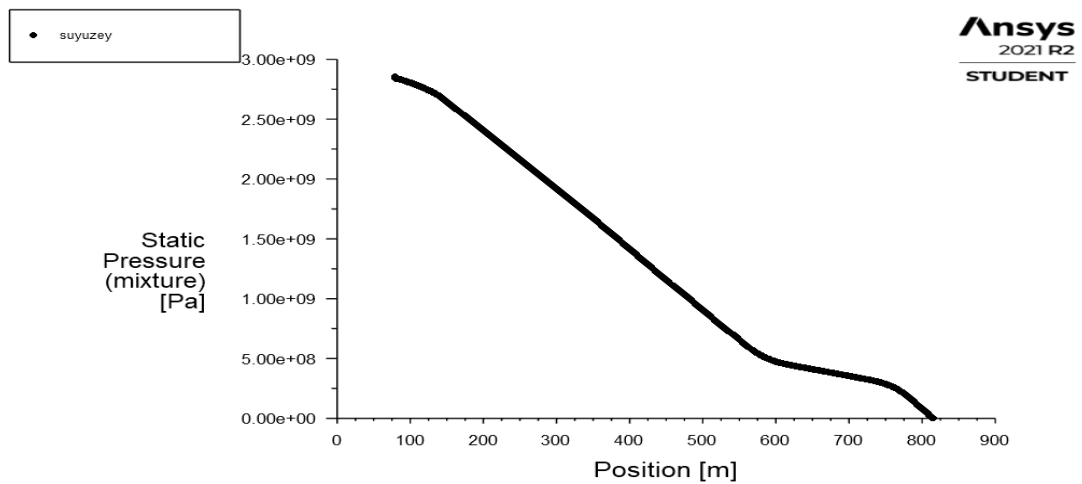
Microsoft Excel yazılım programı ile açılarak elde edilen veriler grafiksel olarak gösterilebilir.

Alpaslan II Barajı 10000 yıl tekerrürlü taşkın debisi olan $Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$ için Ansys-Fluent sayısal yazılım programı üzerinde elde edilen hız grafiği Şekil 4.59' da verilmiştir.



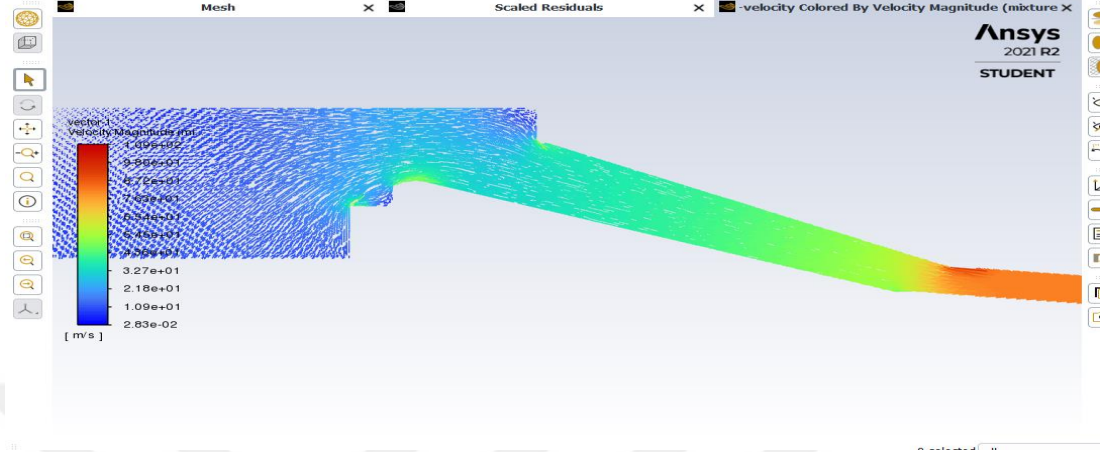
Şekil 4.59. Alpaslan II Barajı ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) dolusavak hız büyüklüğü (m/s)

Alpaslan II Barajı 10000 yıl tekerrürlü taşkın debisi olan $Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$ debi değeri için Ansys-Fluent sayısal yazılım programı ile dolusavak kenarı üzerinde elde edilen basınç grafiği Şekil 4.60'da verilmiştir.



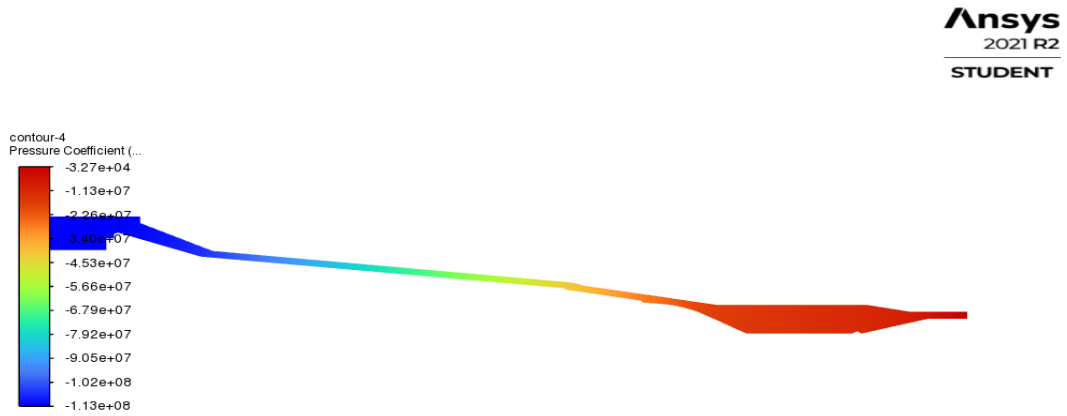
Şekil 4.60. Alpaslan II Barajı ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) dolusavak statik basınç(Pa)

Şekil 4.61’ de 10000 yıl tekerrürlü taşkın debi ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) değeri için elde edilen hızın vektörel gösterimi mevcuttur. Suyun akış yönünde oluşan hız değerine göre renk değiştiren vektörlerden oluşmaktadır.

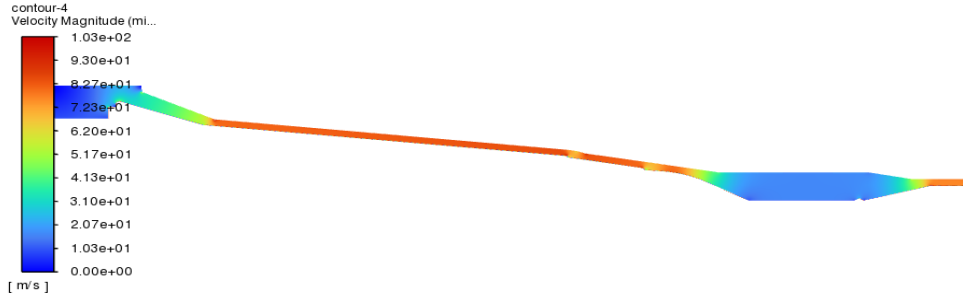


Şekil 4.61. Alpaslan II Barajı ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) dolusavak yapısı hızın vektörel gösterimi

Alpaslan II Barajı olası en büyük taşkın pik değeri olan $Q=5953 \text{ m}^3/\text{s}$ debi değeri için Ansys-Fluent sayısal hesaplama programı aracılığıyla elde edilen basınç ve hız grafiklerinin simülasyonları sırasıyla Şekil 4.62 ve Şekil 4.63’de verilmiştir.

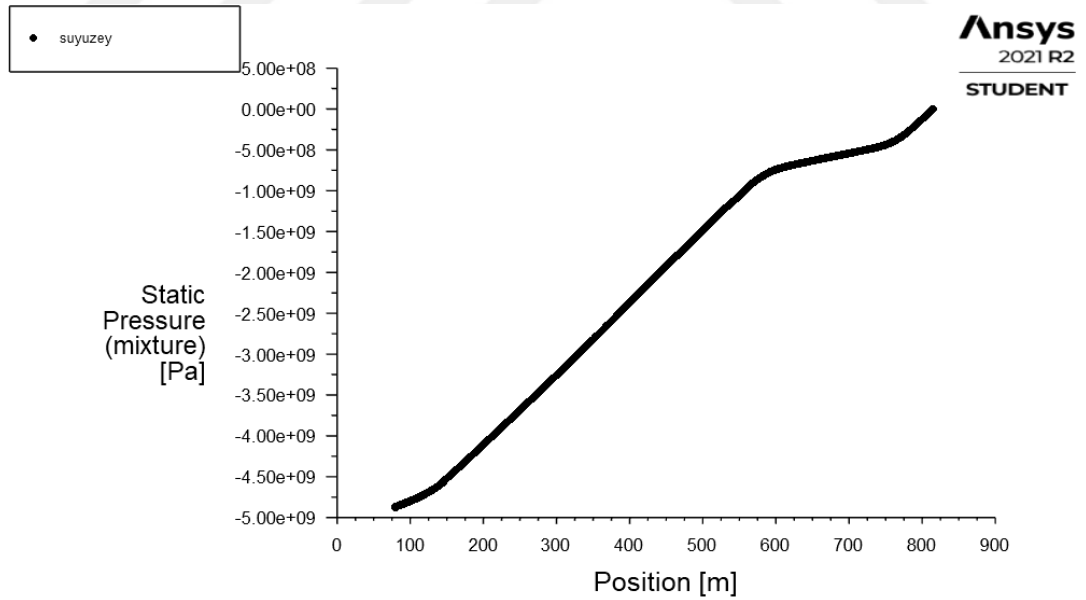


Şekil 4.62. Alpaslan II Barajı $Q:5953 \text{ m}^3/\text{s}$ için basınç değerleri

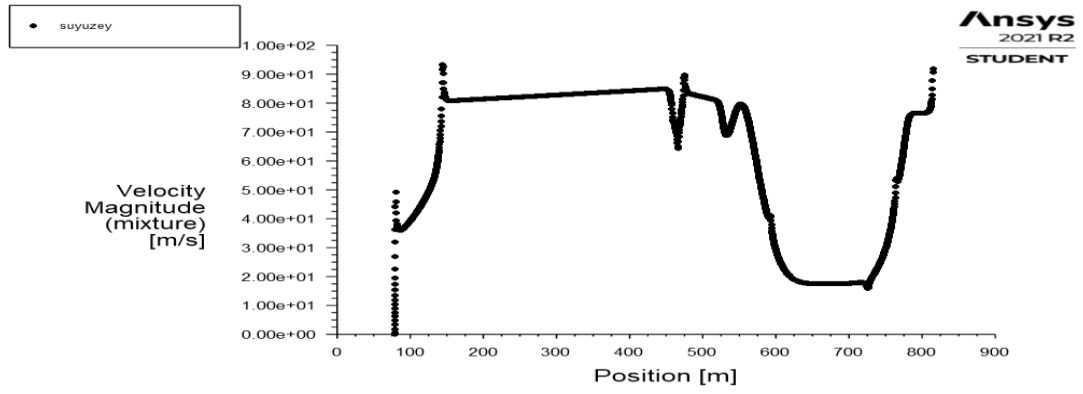


Şekil 4.63. Alpaslan II Barajı Q:5953 m³/s için hız değerleri

Alpaslan II Barajı olası en büyük taşkın pik değeri olan Q=5953 m³/s debi değeri için Ansys-Fluent sayısal hesaplama programı aracılığıyla elde edilen basınç ve hız grafikleri sırasıyla Şekil 4.64 ve Şekil 4.65’de verilmiştir.



Şekil 4.64. Alpaslan II Barajı (Q:5953 m³/s) dolusavak statik basınç(Pa)

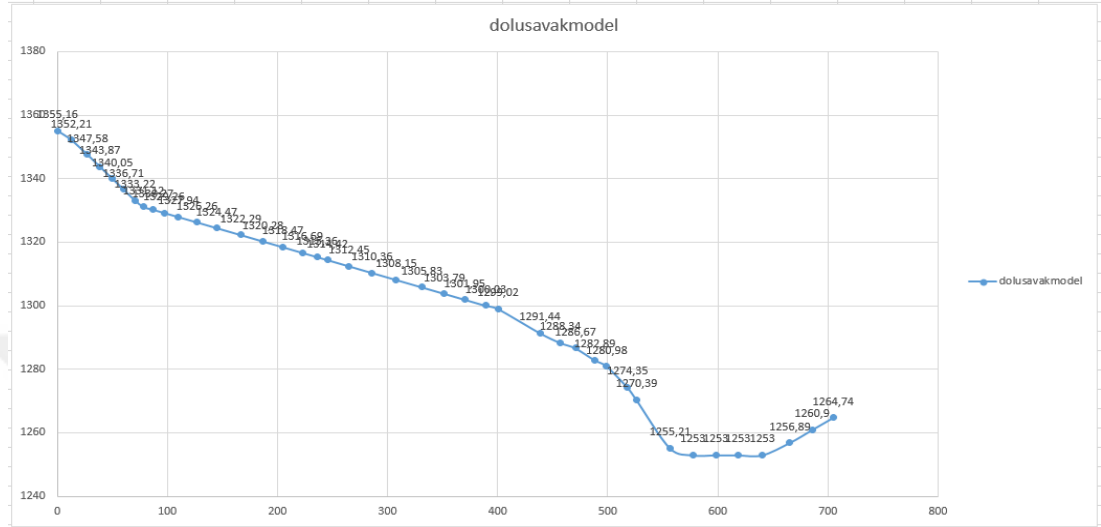


Şekil 4.65. Alpaslan II Barajı (Q:5953 m³/s) dolusavak hız büyüklüğü (m/s)

Çizelge 4.2. Alpaslan II Barajı dolusavak yapısı taban kotları

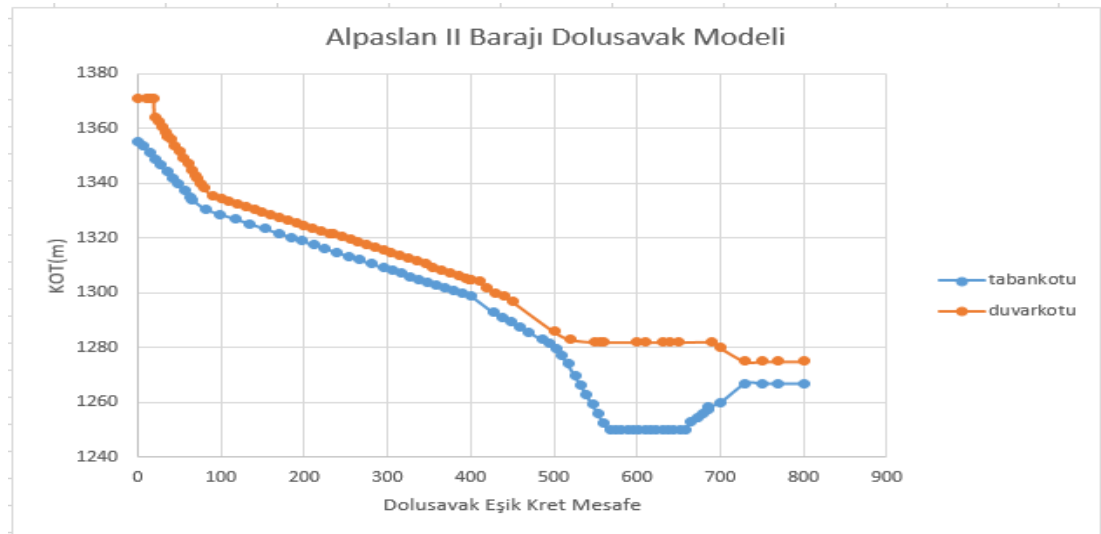
x	y	x devam	y devam
0	1355,16	307,94	1308,15
12,7	1352,21	331,18	1305,83
27,41	1347,58	351,61	1303,79
38,56	1343,87	370,01	1301,95
49,99	1340,05	389,18	1300,03
60,02	1336,71	400,3	1299,02
70,5	1333,22	438,32	1291,44
78,28	1331,12	456,95	1288,34
86,8	1330,27	470,61	1286,67
96,9	1329,26	488,21	1282,89
110,09	1327,94	498,97	1280,98
126,92	1326,26	517,9	1274,35
144,78	1324,47	526,2	1270,39
166,63	1322,29	556,57	1255,21
186,71	1320,28	577,28	1253
204,82	1318,47	598,06	1253
222,59	1316,69	618,09	1253
235,91	1315,36	640,39	1253
245,31	1314,42	665,43	1256,89
265,02	1312,45	685,49	1260,9
285,84	1310,36	704,69	1264,74

Yukarıda verilen Çizelge 4.2’ de Alpaslan II barajı dolusavak yapısına ait veriler tablo formatında bulunmaktadır. Şekil 4.66’da Alpaslan II Barajı dolusavak yapısı taban kotlarının grafiksel gösterimi Microsoft Excel programı aracılığıyla grafik formatında verilmiştir.



Şekil 4.66. Alpaslan II Barajı dolusavak taban kotları

Şekil 4.67’de Alpaslan II barajı dolusavak yapısının taban yapısının ve duvar üst kotunun grafiksel gösterimi gösterilmektedir.



Şekil 4.67. Alpaslan II Barajı dolusavak yapısı

Alpaslan II Barajı ve HES dolusavak model yapısına ait DSİ-TAKK(Devlet Su İşleri- Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol) dairesi başkanlığınca yapılan fiziksel model deney sonuçlarından elde edilen basınç ve hız değerleri olası en büyük taşkın pik debisi olan 5952,85 m³/s debi ve 10000 yıl tekerrürlü taşkın debisi olan 3204m³/s debi için Ansys-Fluent sayısal hesaplama programı ile sayısal çözümler sonrası elde edilen basınç ve hız değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen verilerin fiziksel deney sonucu elde edilen verilerle uyuşmakta olduğu belirlenmiştir.

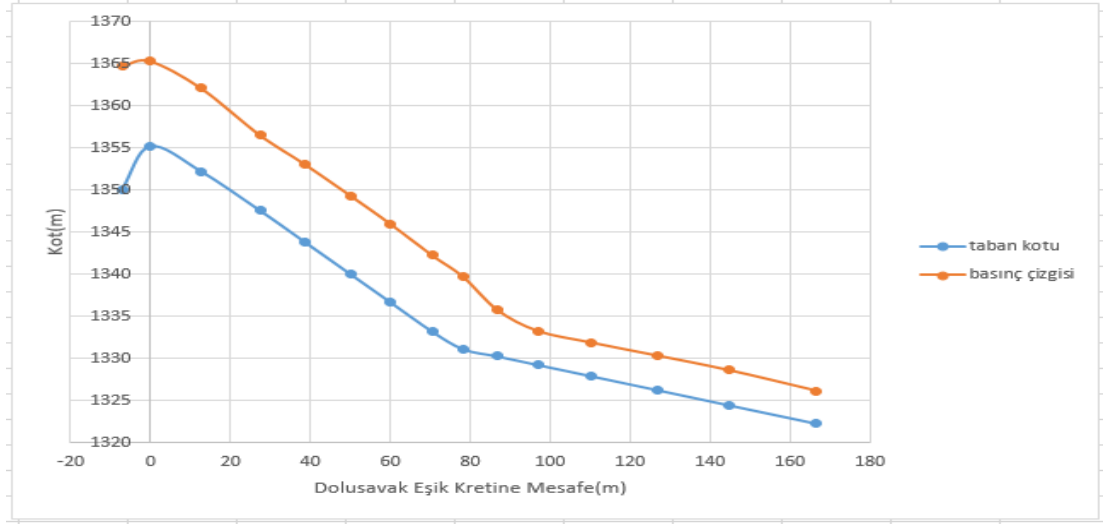
Aşağıda 10000 yıl tekerrürlü taşkın debi (Q=3204 m³/s) ve olası en büyük taşkın pik değeri olan Q=5953 m³/s debisi için fiziksel deney sonuçları tablo ve grafiksel olarak gösterilmiştir. 10000 yıl tekerrürlü taşkın debisi olan 3204 m³/s debi değeri için simülasyon sonucunda dolusavak kenarı boyunca oluşan basınç çizgisi ise Şekil 4.70’de, olası en büyük taşkın pik debisi olan 5952,85 m³/s debisi için dolusavak kenarı boyunca oluşan basınç çizgisi ise Şekil 4.76’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 üzerinde Alpaslan II Barajına Q=3204 m³/s debi değeri için dolusavak eşik kretine 120 m uzaklığa kadar elde edilen basınç değerleri Ansys-Fluent sayısal hesaplama programı aracılığı ile elde edilen basınç (PA) değerleri metre formatına dönüştürölüp tablo üzerinde verilmiştir. Ve bulunan değerler taban üst kotuna eklenerek basınç yükseklikleri elde edilmiştir.

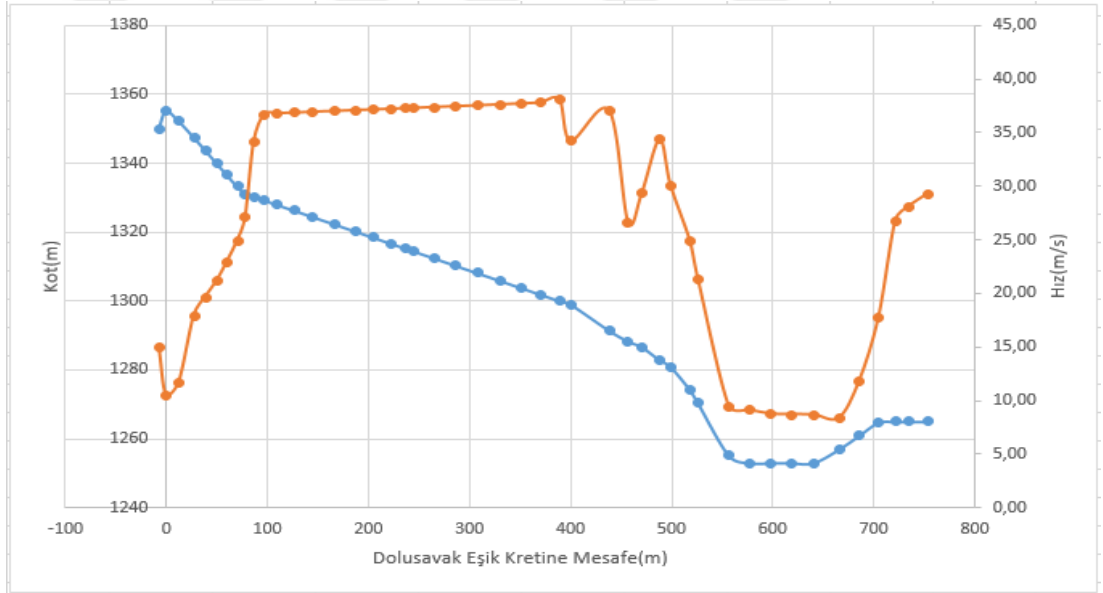
Çizelge 4.3. $Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$ için eşik üzerinde hesaplanan basınç değerleri (kenar)

x	y	P(Pa)	P(m)	y+P(m)
-7	1350	95025,3	9,690151	1364,69
0	1355,16	99120,3	10,10774	1365,268
12,7	1352,21	96847,4	9,875958	1362,086
27,41	1347,58	87672,1	8,940312	1356,52
38,56	1343,87	90338,7	9,212237	1353,082
49,99	1340,05	91192,3	9,299283	1349,349
60,02	1336,71	90936,8	9,273228	1345,983
70,5	1333,22	88520,7	9,026848	1342,247
78,28	1331,12	83949,8	8,560733	1339,681
86,8	1330,27	53873	5,493668	1335,764
96,9	1329,26	39382,5	4,016008	1333,276
110,09	1327,94	38965,9	3,973525	1331,914
126,92	1326,26	40005,1	4,079497	1330,339
144,78	1324,47	40682,8	4,148605	1328,619
166,63	1322,29	38105,2	3,885756	1326,176

Aşağıda Şekil 4.68’ de 10000 yıl tekerrürlü taşkın debisi $Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$ için basınç grafiği yer almaktadır. Çizelge 4.3 tablo aracılığı ile dolusavak eşik kretine 120 metrelik mesafe için elde edilen veriler grafiksel olarak gösterilmiştir. Debi değerine bağlı olarak Hız $V=5.34 \text{ m/s}$ olarak girilmiştir. Hız grafiği Şekil 4.69’da gösterilmiştir. Ansys-Fluent sayısal analiz programı ile sayısal çözümleme sonucu elde edilen basınç değerleri aşağıdaki tabloda dolusavak taban kotu üzerinde verilmiştir.

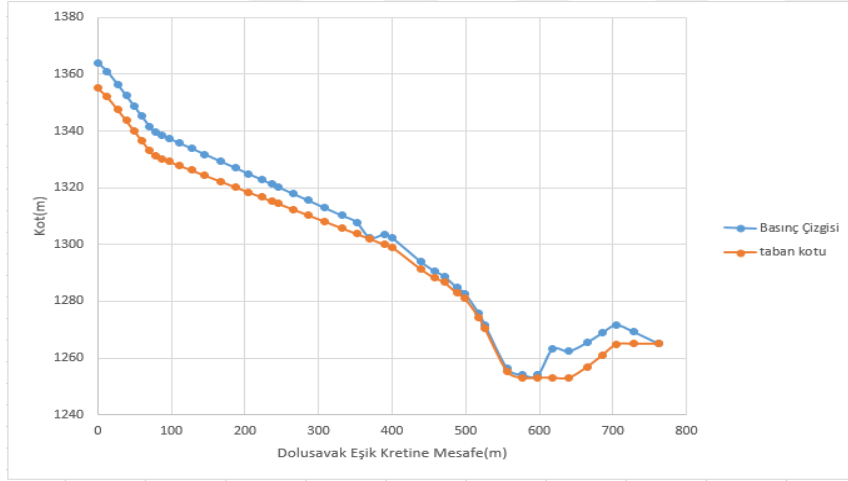


Şekil 4.68. Alpaslan II Barajı ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) basınç grafiği ve dolusavak yapısı

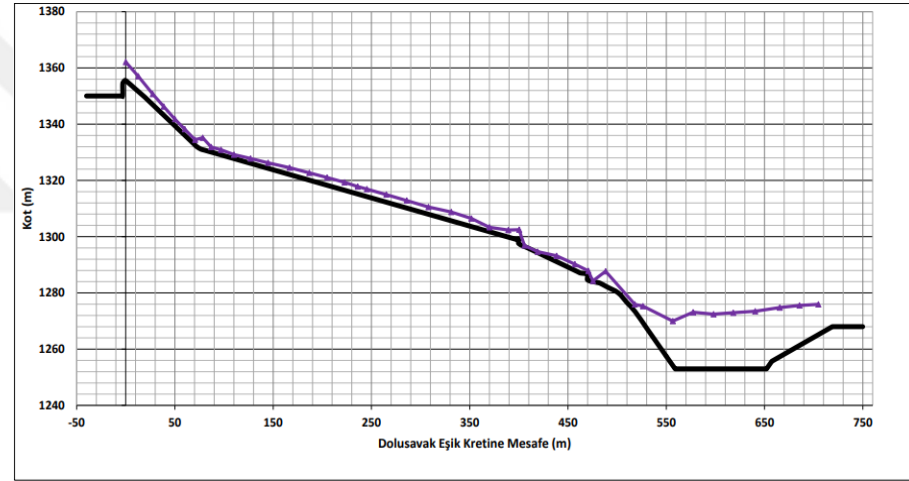


Şekil 4.69. Alpaslan II Barajı ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) hız ve dolusavak yapısı

Yukarıdaki şekilde $Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$ debi değeri için elde edilen giriş hızına göre zamana bağlı olarak değişen hız yapısı gösterilmiştir. Hız yapısı dolusavak üzerinde sayısal olarak çözümlenmiş ve elde edilen veriler tek tek program üzerinde alınarak veriler Microsoft Excel programında tablo olarak düzenlenmiştir. Elde edilen tablo grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.70. Dolusavak kenarı boyunca oluşan basınç çizgisi ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) (Ansys-Fluent-Sayısal hesaplama)



Şekil 4.71. Dolusavak kenarı boyunca oluşan basınç çizgisi ($Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$) (fiziksel deneyler)

Şekil 4.70 ve Şekil 4.71'de 10000 yıl tekerrürlü taşkın debisi $Q=3204 \text{ m}^3/\text{s}$ değeri için kenar üzerinde hesaplanan basınç çizgisi sayısal hesaplama ve fiziksel deneyler gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Q=5952,85 m³/s için eşik üzerinde hesaplanan basınç değerleri deneysel ve fiziksel karşılaştırması ve hata oranı

(1)x	(2)y	(3)Sayısal p(Pa)	(4)Deneysel p(Pa)	(5)Sayısal p(Pm)	(6)Deneysel p(Pm)	(7)Sayısal y+p(m)	(8)Deneysel y+p(m)	Hata oranı (%)
0	1355,16	92022,6	95625,37	9,380489297	9,747744139	1364,540489	1364,907744	0,027
12,7	1352,21	74546,2	79337,84	7,599001019	8,087445464	1359,809001	1360,297445	0,036
27,41	1347,58	88048,1	60037,05	8,975341488	6,119984709	1356,555341	1353,699985	0,211
38,56	1343,87	90073,8	47228,4	9,181834862	4,814311927	1353,051835	1348,684312	0,324
49,99	1340,05	91174,4	38998,93	9,294026504	3,975426096	1349,344027	1344,025426	0,396
60,02	1336,71	90880	36992,74	9,26401631	3,770921509	1345,974016	1340,480922	0,410
70,5	1333,22	88759,1	39660,73	9,047818552	4,04288787	1342,267819	1337,262888	0,374
78,28	1331,12	84313,9	80251,16	8,594689093	8,180546381	1339,714689	1339,300546	0,031
86,8	1330,27	58443,2	31883,31	5,957512742	3,250082569	1336,227513	1333,520083	0,203
96,9	1329,26	33053,2	37741,5	3,369337411	3,847247706	1332,629337	1333,107248	0,036
110,09	1327,94	34626,8	35479,46	3,529745158	3,616662589	1331,469745	1331,556663	0,007
126,92	1326,26	35675,2	28095,66	3,636615698	2,863981651	1329,896616	1329,123982	0,058

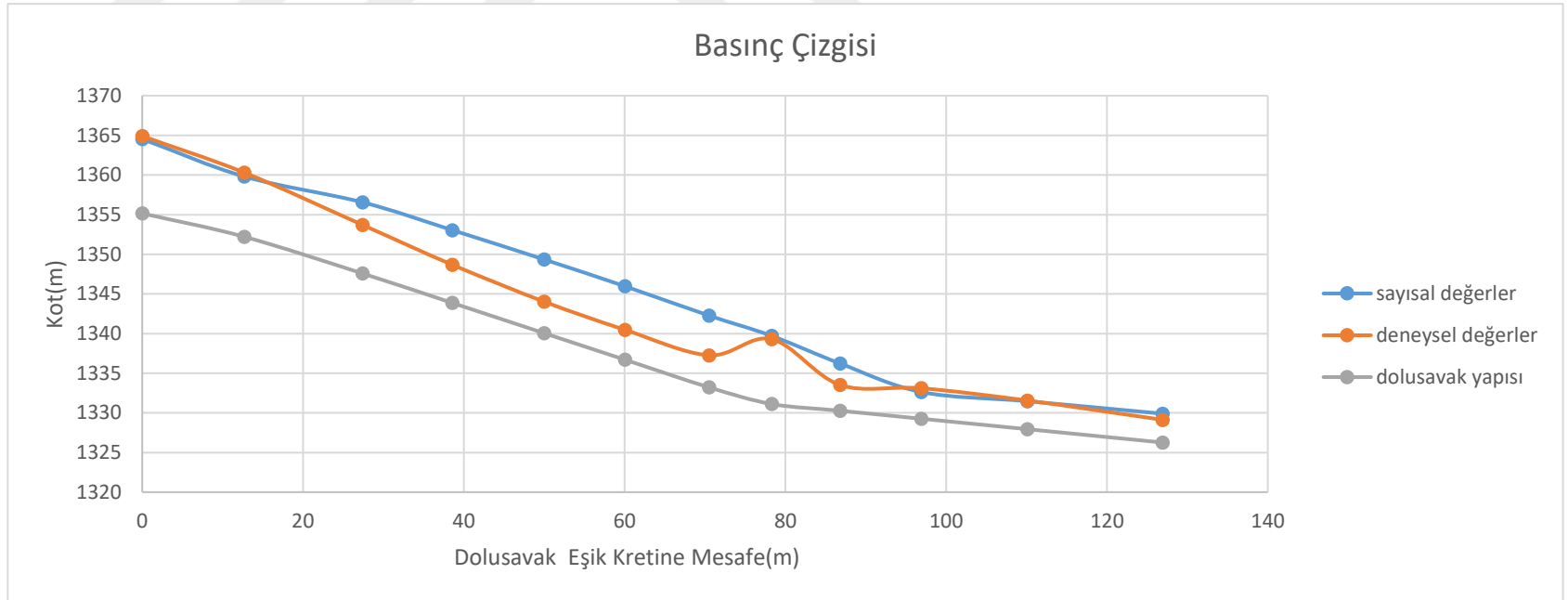
Ötelenmiş olası en büyük taşkın pik debi değeri olan 5952,85 m³/s debi için dolusavak eşik kretine 120 metrelik mesafe için kenarda hesaplanan basınç değerleri deneysel ve fiziksel karşılaştırması ve hata oranı(%) Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Hata Oranı: $100 \times ((8 \text{ nolu sütun} - 7 \text{ nolu sütun}) / 8 \text{ nolu sütun})$

Hata Oranı: $100 \times ((\text{Deneysel su yüzey profili} - \text{Sayısal su yüzey profili}) / \text{Deneysel su yüzey profili})$

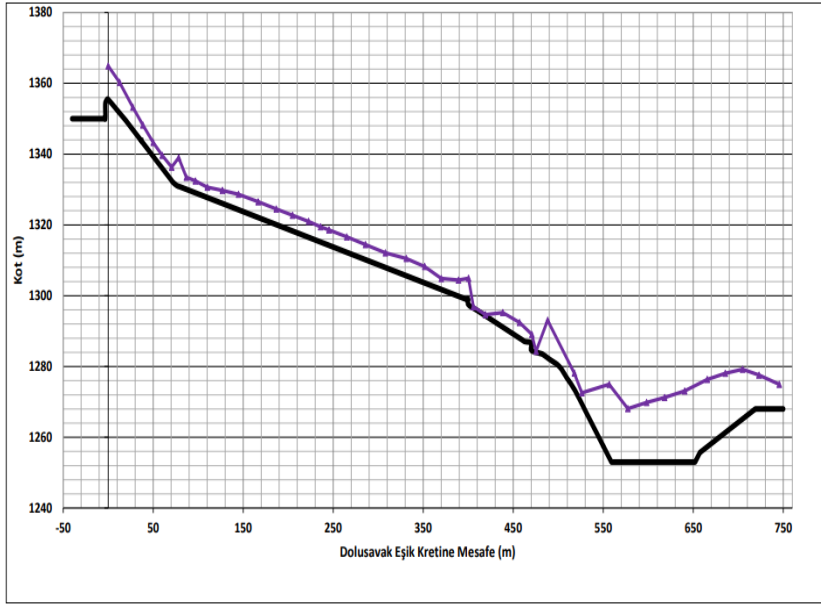
Hata oranı su yüzey profillerine göre hesaplanmıştır. Tablodan da görüldüğü gibi hata oranı değerleri çok düşük çıkmıştır.

Olası en büyük taşkın debisi olan $5952,85 \text{ m}^3/\text{s}$ debi için simülasyon sonucunda dolusavak eşik kretine 120 metrelik mesafe için kenarda hesaplanan basınç değerleri deneysel ve fiziksel karşılaştırması Şekil 4.72 'de gösterilmiştir.

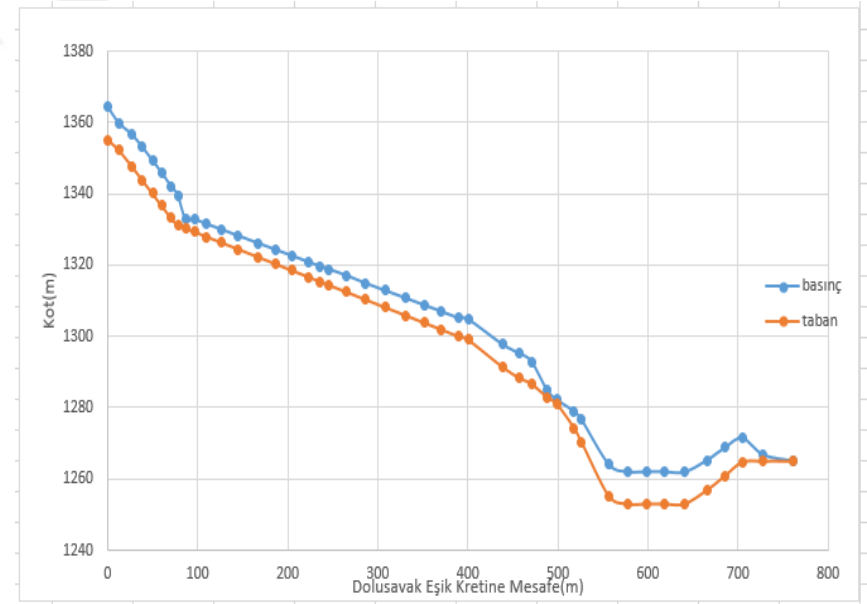


Şekil 4.72. Alpaslan II Barajı eşik üzerindeki basınç çizgisi ($Q= 5952,85 \text{ m}^3/\text{s}$) (kenar) (fiziksel deney-sayısal hesaplama)

Olası en büyük taşkın debisi olan $5952,85 \text{ m}^3/\text{s}$ debi için simülasyon sonucunda dolusavak kenarı boyunca oluşan basınç çizgisi Şekil 4.73 'de, fiziksel deney ise Şekil 4.74 'de gösterilmiştir.

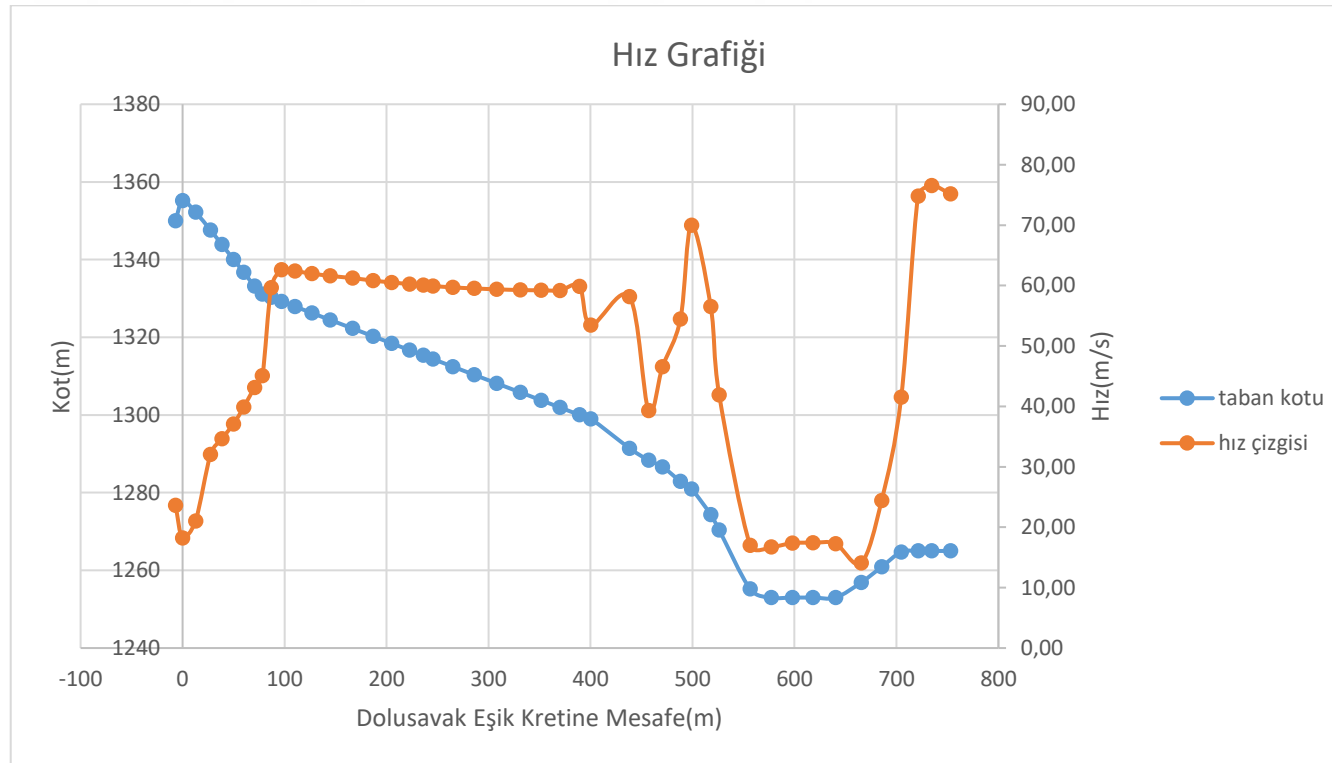


Şekil 4.73. Dolusavak kenarı boyunca oluşan basınç çizgisi
 $Q=5952,85 \text{ m}^3/\text{s}$ (fiziksel deney)



Şekil 4.74. Dolusavak kenarı boyunca oluşan basınç çizgisi
 $Q=5952,85 \text{ m}^3/\text{s}$ (Ansys-Fluent-Sayısal hesaplama)

Olası en büyük taşkın debisi olan 5952,85 m³/s debi ortalama hız değerlerine göre yapılan sınıflandırma da ortalama hız dağılımı Şekil 4.75' de verilmiştir. Dolusavak boyunca ortalama hız ölçümleri de yapılmıştır. Şekilden de görüleceği üzere dolusavak üzerindeki akımın büyük çoğunluğu 20-25 m/s değerlerinin üzerindedir.



Şekil 4.75. Alpaslan II Barajı (Q=5952,85 m³/s) hız ve dolusavak yapısı

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

DSİ-TAKK (Devlet Su İşleri- Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol) dairesi başkanlığınca Alpaslan II Barajı dolusavak modeli 1/70 ölçekli olarak düzenlemiş ve yapılan fiziksel model deneyleri sırasında su yüzü seviye ölçümleri 0,1 mm hassasiyetinde nokta uçlu seviye ölçüm aleti (limnimetre) kullanılarak ve basınç değerleri basınç ölçümleri ise Keller marka, PR46X modeli ve 1 mm su seviyesi hassasiyetinde dijital transmitter ve manometreler kullanılarak elde edilmiş olup olası en büyük taşkın pik debisi olan 5952,85 m³/s ve 10,000 yıl tekerrürlü taşkın debisi olan 3204 m³/s için elde edilip su yüzü profili oluşturulmuştur.

Alpaslan II Barajı dolusavağı analizleri ile hidrolik karakteristikler sayısal yöntemler kullanılarak tespit edilmiştir. Sayısal modelde dolusavak üzerinden geçen akımın hareketini idare eden temel denklemler RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) denklemleri RNG (Renormalized Group) türbülans modeli kullanılarak, ortogonal hesap hücreleri üzerinde sonlu hacimler yöntemine dayalı Ansys-Fluent programı yardımıyla sayısal olarak çözülmüştür. Su-hava ara kesitinin hesabı yapılırken akışkan hacimleri yöntemi (Volume of Fluid) kullanılmıştır. Sayısal analiz işleyiş süreci yukarıda anlatılan aşamalardan sonra iki boyutlu simülasyonlar zamana bağlı çözümlere tamamlanmıştır.

Öncelikle uygun hesap ağı seçimi yapılarak çözüm için en optimum hesap hücreleri boyutu ve konfigürasyonu belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen hesap ağı kullanılarak model üzerinde detaylı incelemeler yapılmıştır. Alpaslan II Barajı dolusavak şüt kanalı uzunluğu 720 m olup çok büyük bir yapıya sahiptir. Bu nedenle öncelikle hücre boyutu seçilirken 500 mm seçilip meshleme işlemi yapılmıştır. Gerekli kontroller yapıldıktan sonra 400 mm için hücrelere ayırma işlemi yapılmıştır. Mesh aşaması ilk denemeye oranla uzun sürmüştür. Sonrasında 300 mm olarak hücre boyutu seçilmiş ve bölümlendirme işlemi yapılmıştır. En son seçenek olarak kabul edilen 300 mm mesh aşaması çok fazla zaman almış ve hücre sayısı çok fazladır. Buna rağmen çözüm kısmında 400 mm ile 300 mm arasında herhangi bir fark tespit edilememiştir. Ve 400 mm hücre boyutu kullanılmaya karar verilmiştir.

Zamana bağılı olarak yapılan simülasyonlarda tüm sonuçlar akım kararlı bir hale geldikten sonra alınmıştır. Alpaslan II Barajı ve HES dolusavak model yapısına ait DSİ-TAKK(Devlet Su İşleri- Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol) dairesi başkanlığınca yapılan fiziksel model deney sonuçlarından elde edilen basınç değerleri kullanılarak elde edilen su yüzü profili olası en büyük taşkın pik debisi olan 5952,85 m³/s ve 10,000 yıl tekerrürlü taşkın debisi olan 3204m³/s için Ansys-Fluent sayısal hesaplama programı ile sayısal çözümler sonrası elde edilen basınç değerleri sonucu elde edilen su yüzü profilleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen su yüzü profillerinin fiziksel deney sonucu elde edilen su yüzü profilleriyle uyuşmakta olduğu belirlenmiştir.

Alpaslan II Barajı dolusavağı eşik yapısı üzerindeki basınç durumunu detaylı olarak tespit etmek için farklı rezervuar su seviyelerinde incelemeler yapılmıştır. Dolusavak eşik kretine 120m uzaklığa kadar elde edilen basınç değerleri Ansys-Fluent sayısal hesaplama programı aracılığı ile elde edilen basınç (PA) değerleri metre formatına dönüştürölüp tablo üzerinde verilmiştir. Ve bulunan değerler taban üst kotuna eklenerek su yüzey profili elde edilmiştir.

En büyük taşkın su debisinde eşik yapısı ve takip eden deşarj kanalı üzerinde, betonun çekme dayanımı kritik değer olan -4,00 mss değerinin altında herhangi bir basınç değerine rastlanılmamıştır. Deşarj kanalı boyunca basınç ölçümleri tasarım debisi olan 5952,85 m³/s ve Q=3204 m³/s için yapılmıştır. Dolusavak yapısı boyunca su yüzü profili belirlenmiştir.

Zamana bağılı çözümler gerçekleştirilirken her iterasyonda kaç tekrar yapılacağına karar verilirken öncelikle 5,10,20 seçenekleri kullanılmıştır. Fakat her iterasyonda tekrar sayısı artıkça işlemlerin süresi çok fazla uzamaktadır. Sistem çözümü sonucunda elde edilen verilerin çözüm süresinin uzaması ile sonuçları arasında pek fark bulunmadığı anlaşılmıştır. Bu sebeple tekrar sayısı olarak 5 kullanılmıştır.

Sayısal hesaplama yöntemi olan Ansys-Fluent programı kullanım olarak hem çok kolay hem de zaman açısından tasarruf sağlamak için kullanılabilecek en ideal yöntemdir. Fiziksel deneyler ile kıyaslama durumu yapıldığında modelin inşaa

maliyeti, güvenilir ve hassas ölçüm için araçların maliyeti, ölçüm zorlukları, işletmenin maliyeti ve zaman açısından düşünüldüğünde çok fazla dezavantajları mevcuttur. Sayısal yöntemlerde ise çok küçük bir maliyetle tasarım yapılabilir, doğrusal modelleme ile kısıtlı değildir, fiziksel çalışmanın çok zor ve karmaşık olduğu durumlarda modelleme yapılabilir ve son olarak zaman açısından mükemmel bir yöntemdir. Karşılaştırma işlemlerinden sonra sayısal hesaplama yönteminin seçiminin en doğru seçenek olduğuna karar verilmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] Berkün, M., Su Yapıları Barajlar, Savaklar ve Su Kuvveti Tesisleri, Birsen Yayınevi, 667, İstanbul, 2007.
- [2] Savage, BM. Johnson, M.C. 2001, “ Flow over ogee Spillway: Physical and numerical model case study”, J. Hydraulic Engineering, ASCE, 127(8), 640-649.
- [3] Tabbara, M. Chatila, J. Awwad, R, “Computational simulation of flow over stepped spillways”, Comput Struct, 83: 2215-2224, 2005.
- [4] Gümüş, V. Kırkgöz, M.S., Dolusavak Akımının Farklı Türbülans Kapatma Modelleri ile Sayısal Hesabı. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(1), 71-81. (2014).
- [5] Tiğrek, Ş. Şahin, A.N. Yıldırım, T. 2015. Su Yapılarında Fluent Uygulamaları. 4. Su Yapıları Sempozyumu, 19-20 Kasım, 351-360, Antalya. 11. Launder, B.E. Spalding, D.B. 1972. Lectures in Mathematical Models of Turbulence. Academic Press, New York
- [6] Şimşek O., Aköz M. S., Soydan N. G. ve Gümüş V., “Dolusavak Mansabında Oluşan Hidrolik Sıçramanın Su Yüzü Profilinin Belirlenmesi”, Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 3(3): 31-37, (2018).
- [7] İkinciogullari E., Emiroğlu M. E., Aydın M. C., Baraj Rezervuarlarında Kullanılan Labirent Yan Savakların HAD Analizi, Su Kaynakları, 3, (1) 1–8(2018),
- [8] Gümüş V., Şimşek O., Soydan N.G., Aköz M. S., Kırkgöz M. S., Akışkan Hacimleri Yöntemiyle Yapılan Sayısal Modellemelerde Yan Duvar Etkisinin İncelenmesi, HU Muh. Der. 03 (2018) p.15-21
- [9] Telkiran M. Nihat, Aköz M. Sami, Şimşek Oğuz, Soydan, N. Göksu, Dolusavak Üzerinden Geçen Akımın Sayısal Analizi: Mersin Dereyurt Göleti Dolusavak Örneği, Adana-(2019).
- [10] Aydın M. C., Kaplan C., Ilısu Barajı Dolusavak Havalandırıcısı Performans Analizi, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 2, (2019), 902-911
- [11] Kumcu Ş. Y., Uçar M. Dolusavak Yapılarının Fiziksel Ve Sayısal Modelleme Yöntemi İle Analizi, Nöhu Müh. Bilim. Derg. 2020; 9(1): 350-357

- [12] Aydın M. C., Özdemir M. Reşid, Klasik ve alttan alışı dolusavak havalandırıcı performanslarının sayısal modellerle incelenmesi, NÖHÜ Müh. Bilim. Derg. / NOHU J. Eng. Sci. 2022; 11(1), 148-156
- [13] Drenaj Yapıları ve Özellikleri BAÜ Müh. Mimarlık Fak. İnş. Müh. Böl. Dr. N. Gedik Erişim Zamanı:29.12.2021-Sa:23.00
- [14] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Dolusavak> Erişim Zamanı: 01.12.2021-Sa:12.00
- [15] “Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği’ne Giriş ve Aerodinamik Simülasyonlar” (Dr. Nilay Sezer Uzol, 9 Şubat 2021) ders notlarından hazırlanmıştır. Erişim Zamanı : 05.12.2021-Sa:15.00
- [16] 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – 17-20 Nisan 2019/İzmir Kongre Teknolojik Araştırma Bildirisi Erişim Zamanı: 17.12.2021-Sa:16.00
- [17] <http://www.analizansys.com/ansys-fluent-akis-analizi/> Erişim Zamanı: 29.11.2021- Sa:18.00
- [18] <https://tr.wikipedia.org/wiki/AutoCAD> Erişim Zamanı: 19.12.2021 -Sa:19.00
- [19] Örs, H., 1994. Akışkanlar Mekaniği. Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul. 390s.
- [20] Andersson B., Andersson R., Hakansson L., Mortensen M., Sudiyo R. ve Wachem B. v. W., Computational Fluid Dynamics for Engineers, Cambridge: Cambridge University Press, (2012).
- [21] Hirt, C.W. Nichols, B.D. Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries. Journal of Computational Physics. 39(1), 201-225(1981).
- [22] Ansys. 2012. Fluent Theory Guide. USA: Ansys Inc. Erişim Zamanı: 19.12.2021-Sa:24.00
- [23] [5] USBR Bureau of Reclamation. “Design of Small Dams”, Washington, USA. 1987

ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Hevin BOZKURT

2. Doğum Tarihi :

3. Ünvanı : Mühendis

4. Öğrenim Durumu : Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Bilgisayar Mühendisliği	Kocaeli Üniversitesi	2014
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üni.	2018
Ön lisans	Muhasebe	Anadolu Üniversitesi (AÖF)	2020

5. İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Bilgisayar Mühendisi		2015-(Ocak-Eylül)
Bilgisayar Mühendisi		2015-2018
İnşaat Mühendisi		2018-



OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

FORM
YL11

OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 30/06/2022

Tez Başlığı / Konusu: BARAJLARDA DOLUSAVAK ETRAFINDAKİ AKIŞ YAPISININ CFD İLE ANALİZİ
Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Özet ve Abstract, c) Giriş, d) Ana bölümler ve e) Sonuç, f) Kaynakça kısımlarından oluşan toplam **94** sayfalık kısmına ilişkin, 30/06/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme tiplerinden biri uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % **29** 'dur.

Filtreleme Tip 1 (maksimum %30) ☒

1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
2- Kaynakça hariç,
3- Alıntılar dahil,
4- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Filtreleme Tip 2 (maksimum %10) ☐

1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
2- Kaynakça hariç,
3- Alıntılar hariç,
4- 5 Kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Hevin BOZKURT

Öğrenci No:

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı:

Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

RAPORU DÜZENLEYEN

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

(Unvan, Ad Soyad, İmza)