

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ATIK SULARIN FİZİKSEL ARITIMINDA KULLANILAN IZGARA
TESİSLERİNİN HİDRODİNAMİK DAVRANIŞLARININ HESAPLAMALI
AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS

Nagehan ŞAHİN

AĞUSTOS-2022
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ATIK SULARIN FİZİKSEL ARITIMINDA KULLANILAN IZGARA
TESİSLERİNİN HİDRODİNAMİK DAVRANIŞLARININ HESAPLAMALI
AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ANALİZİ**

**ANALYSIS OF THE HYDRODYNAMIC BEHAVIORS OF SCREEN PLANTS
USED IN THE PHYSICAL TREATMENT OF WASTE WATER BY
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS**

YÜKSEK LİSANS

Nagehan ŞAHİN

**AĞUSTOS-2022
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ATIK SULARIN FİZİKSEL ARITIMINDA KULLANILAN IZGARA
TESİSLERİNİN HİDRODİNAMİK DAVRANIŞLARININ HESAPLAMALI
AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ANALİZİ**

**ANALYSIS OF THE HYDRODYNAMIC BEHAVIORS OF SCREEN PLANTS
USED IN THE PHYSICAL TREATMENT OF WASTE WATER BY
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS**

YÜKSEK LİSANS

Nagehan ŞAHİN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Rahim ŞİBİL

**AĞUSTOS-2022
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Atık Suların Fiziksel Arıtımında Kullanılan Izgara Tesislerinin Hidrodinamik Davranışlarının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Analizi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmalarını kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğum intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kısıtlara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

18/08/2022

Nagehan ŞAHİN

TEŞEKKÜR

Başta bu çalışmanın fikir, analiz ve deney aşamasından sonuçlandırılmasına kadar tüm aşamalarda çalışmalarımı yönlendiren ve yanımda olan, değerli bilgilerini ve zamanını benden esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Rahim ŞİBİL'e, tezimin analiz ve yazım sürecinde bana motivasyon desteğini eksik etmeyen değerli mesai arkadaşım Arş. Gör. Kaşif Furkan ÖZTÜRK'e, tezimin saha ölçümleri sırasında büyük bir özveri ile bana yardımcı olan kıymetli hocam Murat İSLAM'a ve Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteğini her daim arkamda hissettiğim babam Yaşar ŞAHİN, annem Songül ŞAHİN ve ağabeyim Ömer Faruk ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Nagehan ŞAHİN
GÜMÜŞHANE – 2022

ÖZET

Atık suların arıtılmasında genel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma olmak üzere üç yöntem izlenir. Bu çalışmada atık suların fiziksel arıtma yöntemlerinden biri olan mekanik atık su arıtma tesislerinden ızgaralar ve yaklaşım kanalındaki akışın hidrolik davranışları, seçilen tam ölçekli bir tesiste Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanılarak analiz edilmiştir. Tam ölçekli tesis olarak seçilen Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile birlikte HAD analizleri doğrulanmıştır. Tesisin geometrik özelliklerine uygun şekilde oluşturulan model Standart k- ϵ , Gerçekleşebilir (Realizable) k- ϵ ve Renormalizasyon Grubu k- ϵ (RNG k- ϵ) türbülans modeli olmak üzere üç farklı türbülans modeli kullanılarak, HAD ile analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen atık su hızının çeşitli noktalardaki ve farklı türbülans modellerine sahip değerleri ile tesiste aynı noktalarda ölçülen atık su hız değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda tespit edilen zayıf yönlerin iyileştirilmesi adına yeni ve özgün bir model tasarlanıp analiz edilmiştir. Deneysel çalışmalar sıvı akışının karakteristik davranışları için yaygın olarak kullanılmakta olan Acoustik Doppler Velocimeter (ADV) aletiyle yapılmıştır. Literatürde açıkça boşluğu görülen atık su arıtma tesislerindeki fiziksel arıtım yöntemlerinden ızgara tesislerinin HAD ile modellenmesi/ incelenmesi/ analiz edilmesi üzerine gerçekleştirilen bu çalışma neticesinde oluşturulan özgün modele ait yaklaşım kanalındaki düşük hızlar artırılmış ve homojen akış elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, Fiziksel atık su arıtımı, Izgaralar, Türbülans modelleri, Yaklaşım kanalı

SUMMARY

In the treatment of wastewater, there are three methods which are physical, chemical and biological treatment. In this study, the hydraulic characteristic of the flow in the upstream channel and throughout screens, which are one of the physical treatment methods of wastewater, were examined with the experimental validation in a selected full-scale facility with the help of the Computational Fluid Dynamics (CFD) and the weaknesses of the facility were determined and an original model with different geometry is designed to eliminate these weaknesses.

Gümüşhane Wastewater Treatment Plant was selected as a full-scale facility. The model, which was formed in accordance with the geometric properties of the plant, was analyzed by CFD using different turbulence models that are Standard $k-\epsilon$, Renormalization Group (RNG) $k-\epsilon$ and Gerçekleşebilir (Realizable) $k-\epsilon$ model. As a result of the analysis, the values of the wastewater velocity calculated at various points and with different turbulence models and the wastewater velocities taken from the same points in the facility were compared. A new model was designed and analyzed the weaknesses determined as a result of the comparison. Experimental studies have been performed with Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) which is widely used for characteristic behavior of fluid flow. As a result of this study conducted on the modelling/examining/analyzing of the screen plants from the physical treatment methods in the wastewater treatment plants, which are clearly seen gap in the literature, low speeds in the approach channel of the original model were increased and homogeneous flow was obtained.

Keywords: Computational fluid dynamics, Physical wastewater treatment, Screens, Turbulence models, Upstream channel

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	III
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLOLAR DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1.GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	1
1.2. Genel Bilgiler.....	2
1.2.1. Atık Su Arıtma Yöntemleri.....	2
1.2.1.1. Izgaralar ve Yaklaşım Kanalı.....	3
1.2.1.2. Yükleme Havuzu.....	6
1.2.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği	6
1.2.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi	7
1.2.4. Yakın Duvar Davranışı	9
1.2.5. ANSYS Fluent	11
1.2.6. Akustik Doppler Hız Ölçer Cihazı.....	13
1.3. Yazın (Literatür) Özeti.....	14
2. MATERYAL VE YÖNTEM	18
2.1. Fluent Programının Çözüm Denklemleri ve Türbülans Modelleri	19
2.1.1. Kütle Koruması Denklemi.....	19
2.1.2. Momentumun Koruması Denklemi	20
2.1.3. Navier-Stokes Denklemleri.....	20
2.1.4. Türbülans Modelleri.....	21
2.1.4.1. Standart k- ϵ Türbülans Modeli.....	22
2.1.4.2. Renormalizasyon Grubu k- ϵ Türbülans Modeli.....	23
2.1.4.3. Gerçekleşebilir k- ϵ Türbülans Modeli.....	24
2.1.4.4. Kırılma-Gerilme Taşıma k-w Modeli	25
2.1.4.5. Temel k-w Modeli.....	25
2.1.4.6. Spalart Allmaras Modeli	26

2.1.4.7. Reynolds Gerilme Denklemi Modeli	26
2.2. Çalışma Alanı, Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi	26
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	29
3.1. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi Yükleme Havuzu, Yaklaşım Kanalı ve Izgara Modeli.....	29
3.1.1. Analitik Çalışmalar	29
3.1.2. Sayısal Çalışmalar.....	32
3.1.2.1. Model Geometrisinin Oluşturulması.....	32
3.1.2.2. Model Sonlu Eleman Ağının Oluşturulması	34
3.1.2.3. Modelin HAD Analizi.....	39
3.1.3. Deneysel Çalışmalar.....	44
3.1.4. Sayısal Çalışmaların Doğrulanması	47
3.2. Yeni Model, Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi Yaklaşım Kanalı ve Izgara Modeli	49
3.2.1. Yeni Model'e Ait Analitik Çalışmalar	49
3.2.2. Yeni Model'e Ait Sayısal Çalışmalar	51
3.4.2.1. Yeni Model Geometrisinin Oluşturulması	51
3.4.2.2. Yeni Model Sonlu Eleman Ağının Oluşturulması	53
3.4.2.3. Yeni Model'in HAD Analizi.....	55
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
KAYNAKÇA.....	60
ÖZGEÇMİŞ	64

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Atık su arıtma yöntemleri ve temel amaçları (Karpuzcu ve Bayar, 1999'dan değiştirilmiştir).....	2
Tablo 2. Elle ve mekanik temizlemeli çubuk ızgaralarda tasarım kriterleri (Metcalf ve Eddy 2003).....	5
Tablo 3. Farklı bölgelere göre y^+ değerleri (Vuruşkan, 2014).	10
Tablo 4. Tesise ait bilgiler.....	28
Tablo 5. Sınır tabaka hücre bilgileri.....	37
Tablo 6. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi'nde ölçüm alınan noktaların hız değerleri	46
Tablo 7. Yükleme havuzunda gerçekleştirilen deney sonuçlarının analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması	48
Tablo 8. Yaklaşım kanalında gerçekleştirilen deney sonuçlarının analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması	49
Tablo 9. Yeni Model ağ yapısı ölçüleri.....	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Örnek bir ızgara modeli (URL-1).	3
Şekil 2. Izgaraların temizleme mekanizmalarına göre sınıflandırılması (Metcalf ve Eddy, 2003).	4
Şekil 3. Fiziksel bir atık su arıtma tesisine ait giriş odası ve ızgara ünitelerinin HAD analizi (URL-2).	7
Şekil 4. Fiziksel bir atık su arıtma tesisine ait kum tutucu ünitelerinin HAD analizi (URL-2).	7
Şekil 5. Temel sonlu elemanlar (Madenci ve Güven, 2015'ten değiştirilmiştir).	8
Şekil 6. Sonlu eleman ağ yapısı metotları (URL-3).	9
Şekil 7. Yakın duvar bölgesinin katmanları (ANSYS Help, 2013).	10
Şekil 8. Laminer ve türbülanslı akışta hız profili (Çengel, 2002).	11
Şekil 9. ANSYS-Fluent ilk ekran görüntüsü.	12
Şekil 10. ANSYS-Fluent ile oluşturulmuş örnek bir boru akış analizi.	13
Şekil 11. Akustik Doppler Velocimeter (ADV) cihazı.	13
Şekil 12. ADV cihazının çalışma prensibi.	14
Şekil 13. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi.	27
Şekil 14. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi yükleme havuzu, yaklaşım kanalı ve ızgaralar.	27
Şekil 15. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi ızgaraları.	28
Şekil 16. Yaklaşım kanalına ait boyutlar.	30
Şekil 17. Modelin kısımları.	33
Şekil 18. Tesiste yer alan katı ve sıvı hacimler.	33
Şekil 19. Modelin boyutları.	34
Şekil 20. Kaba ızgaranın boyutları.	34
Şekil 21. Modelin isim atamaları.	35
Şekil 22. Modelin çözüm açısından bağımsızlık çalışması.	36
Şekil 23. Modelin sonlu eleman ağ yapısı.	36
Şekil 24. Modelin yakın duvar yaklaşımları için oluşturulan sonlu eleman ağ yapısı.	38
Şekil 25. Izgara çubukları arasında oluşturulan yoğunlaştırılmış ağ yapısı.	38
Şekil 26. Sonlu eleman ağına ait skewness kalite değeri.	39
Şekil 27. Modelin sınır şartları.	39
Şekil 28. Standart k-ε türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonuçları.	40

Şekil 29. Gerçekleşebilir (Realizable) k-ε türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonuçları	41
Şekil 30. RNG k-ε türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonuçları	41
Şekil 31. RNG k-ε türbülans modeline ait akım çizgisi gösterimi.....	42
Şekil 32. Gerçekleşebilir (Realizable) k-ε türbülans modeline ait akım çizgisi gösterimi	42
Şekil 33. Standart k-ε türbülans modeline ait akım çizgisi gösterimi.....	43
Şekil 34. Yükleme havuzunda derinlik-hız değişiminin en kesitler boyunca gösterimi.	43
Şekil 35. Yaklaşım kanalında derinlik-hız değişiminin enkesitler boyunca gösterimi...	44
Şekil 36. ADV cihazı ile atık suda hız ölçümü	44
Şekil 37. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi yerinde ölçümlerinden kesitler	45
Şekil 38. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi'nde ölçüm alınan noktalara ait konumlar	46
Şekil 39. Yükleme havuzunda deney sonuçları ile analiz sonuçlarının karşılaştırılması	47
Şekil 40. Yaklaşım kanalında deney sonuçları ile analiz sonuçlarının karşılaştırılması.	47
Şekil 41. Hidrolik açıdan en uygun dikdörtgen kesit	50
Şekil 42. Yeni Model'e ait yaklaşım kanalı boyutları.....	52
Şekil 43. Yeni Model'e ait ızgara boyutları	52
Şekil 44. Yeni Model'e ait isim atamaları	53
Şekil 45. Yeni Model'in sonlu eleman ağ yapısı	54
Şekil 46. Yeni Model'in yoğunlaştırılmış bölgelerdeki sonlu eleman ağ yapısı	54
Şekil 47. Yeni Model'e ait sınır şartları	55
Şekil 48. Yeni Model'e ait analiz sonuçları	56
Şekil 49. Izgara boşlukları ve duvar yakınlardaki atık su hızları.....	56
Şekil 50. Yeni Model'in ızgara çubukları etrafındaki derinlik-hız değişiminin en kesitler boyunca gösterimi	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ADV	: Acoustic Doppler Velocimeter (Hız ölçer)
BSL	: Baseline k-w model (Temel k- ω modeli)
$C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ ve $C_{3\varepsilon}$	: Sabitler
f	: Gövde kuvveti
g_x , g_y , g_z	: Hız gradyanlarının türbülans enerjisinin üretimi
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
I	: Birim tensör
LES	: Large Eddy Simülasyonu
p	: Statik basınç
P	: Basınç
RNG	: Renormalizasyon Grubu k- ε modeli
Re	: Reynold Sayısı
R	: Hidrolik Yarıçap
RSM	: Reynolds Stress Model (Reynolds Gerilme Modeli)
SAS	: Ölçek Uyumlu Simülasyon Modeli
SKE	: Standart k- ε Modeli
SST	: Shear Stress Transport Model (Kesme Gerilme Taşınım Modeli)
u, v, w	: Partiküllerin hız vektörü u'nun bileşenleri
U_i	: i yönündeki hız bileşeni
$u\nabla u$	: Yatay akım
V_x	: Eksenel hız
V_r	: Radyal hız
V_z	: Dönme hızı
y^+	: HAD'da kullanılan boyutu olmayan bir mesafedir.
X_i , X_j , X_k	: i, j, k yönlerindeki koordinat bileşenleri
ρ	: Yoğunluk
ν_t	: Eddy viskozite
$\nu\nabla^2 u$	: Difüzyon
$\bar{\tau}$	: Gerilme tensörü
$\rho\vec{g}$	: Sırasıyla yerçekimi cisim kuvveti
$\vec{F}$	: Dış cisim kuvveti

ν	: Kinematik viskozitesi
μ	: Moleküler viskozite
σ_k	: k için türbülanslı Prandtl sayısı
σ_ε	: ε için türbülanslı Prandtl sayısı
$\partial u / \partial t$	: Bir akışkan parçacığındaki hız
σ	: Gerilme
$\nabla p / \rho$	: Basınç gradyanı
β	: Isıl genleşme katsayısı



1.GİRİŞ

İnsan hayatındaki önemi sebebiyle suya günümüzde olduğu gibi tarih boyunca da devamlı ihtiyaç duyulmuştur. Yeryüzünün dörtte üçü sularla kaplı olmasına rağmen bu suların büyük bölümü okyanus ve denizlerde bulunan tuzlu su şeklindedir. Tatlı suların toplam su miktarındaki oranı oldukça az olmakla birlikte, bu tatlı suların çok büyük bir bölümü kutuplarda buzul şeklinde bulunmaktadır. Günümüzde yaşanan hızlı nüfus artışı ve küresel ısınma gibi etkenler sonucunda doğal su kaynakları hızla tükenmekte olup, atık suların arıtılarak çevreye geri kazanımının sağlanması ciddi oranda önem arz etmektedir.

Atık su arıtma işlemleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç kademedен oluşur. Fiziksel arıtımla birlikte yüzen ve çökebiyen maddelerin, biyolojik arıtımla organik maddelerin, ileri arıtımla da azot ve fosforun büyük bir çoğunluğu giderilir. Birinci derece arıtımda, çökeltme ve dengeleme için debi ve hız kontrolleri son derece önemlidir (Samsunlu, 2011).

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma ile atık suların fiziksel arıtımında kullanılan ızgara ünitesinin seçilen tam ölçekli bir tesiste Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile analizi yapılarak tesisin atık su arıtım verimi ve işletme maliyetleri açısından son derece önemli olan hidrolik ve hidrodinamik özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Tam ölçekli tesis olarak, Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi'nin fiziksel arıtım ünitelerinden kaba ızgaralar ve ızgaralara ait yükleme havuzu ve yaklaşım kanalı seçilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, seçilen tam ölçekli atık su arıtma tesisinin fiziksel arıtımını gerçekleştiren elemanları, tasarım kriterleri ve işletme özellikleri hakkında genel bilgiler verilmiş olup, tam ölçekli tesisin proje verileri ve tesiste yapılan geometrik ölçümler sonucunda tasarım verileri elde edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, atık su arıtma tesisinin proje verileri, tesiste yapılan geometrik ölçümler sonucunda elde edilmiş mevcut tasarım verileri ve sınır koşulları girilerek ANSYS Fluent programı kullanılarak tesisin HAD analizleri yapılmıştır. Analizleri doğrulamak için tesiste gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen hız değerleri ile analiz sonuçları karşılaştırılarak modelin doğrulaması yapılmış ve tesisin zayıf yönleri tespit edilmiştir.

Çalışmanın son aşamasında tesisin zayıf yönlerinin iyileştirilmesi için yeni bir ızgara ve yaklaşım kanalı modeli oluşturulmuş ve bu modele ait HAD analizleri yapılarak analiz sonuçları yorumlanmıştır.

1.2. Genel Bilgiler

Bu bölümde atık su arıtma tesislerinin fiziksel arıtma ünitelerinden ızgaralar, ızgaralara ait yaklaşım kanalı ve yükleme havuzundan bahsedilecektir.

1.2.1. Atık Su Arıtma Yöntemleri

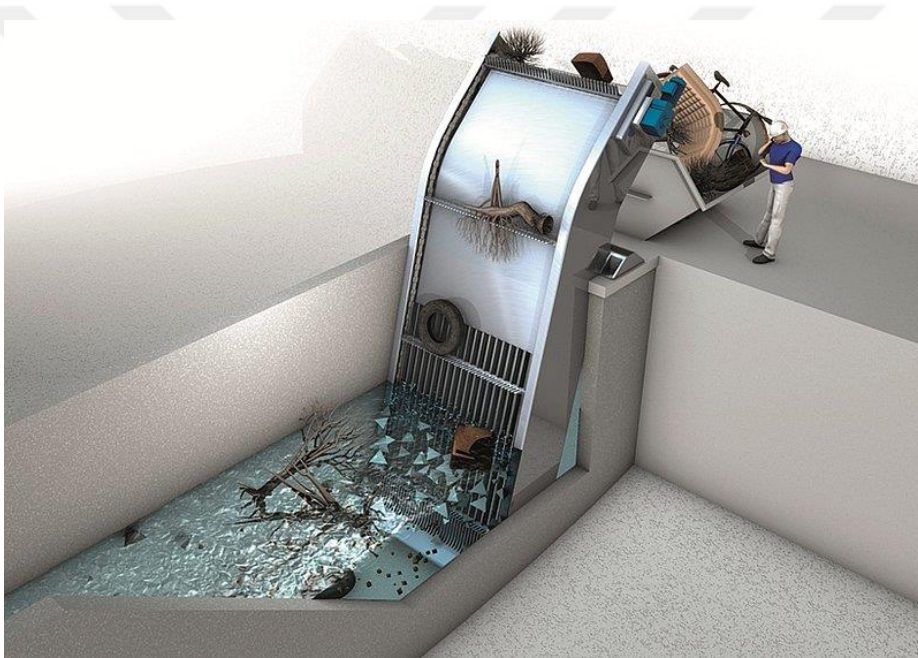
Atık sular arıtıldıktan sonra alıcı ortama deşarjı için Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliği standartlarına uygun değerlere sahip olmalıdır. Atık su içerisinde kirliliğe neden olabilecek maddeler askıda, çökmüş, kolloidal veya çözünmüş halde bulunabildiğinden, her durum için farklı bir arıtma yöntemine ihtiyaç duyulur. Bu nedenle atık sular arıtılırken fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım olmak üzere üç farklı arıtma yöntemi kullanılır. Arıtma yöntemlerinin temel amaçları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Atık su arıtma yöntemleri ve temel amaçları (Karpuzcu ve Bayar, 1999’dan değiştirilmiştir).

Atık Su Arıtma	Tanım	İşlem	Kullanılan Tesis Elemanları
Ön Arıtım	Tesise zarar verebilecek veya işletme sorunlarına neden olabilecek büyük nesnelerin uzaklaştırılması.	Fiziksel arıtım	Izgaralar Kum Tutucular Yağ Tutucular Dengeleme Havuzları 1.Derece çökeltim Havuzları
Birinci Derece Arıtım	Askıda katı maddeler ve organik maddeler gibi yüzen ve çökebilen maddelerin uzaklaştırılması.	Fiziksel ve kimyasal arıtım	Flokülasyon Çöktürme Flotasyon Filtrasyon Koagülasyon
İkinci Derece Arıtım	Azot, fosfor gibi biyolojik bozunur organik maddelerin ve askıda katı maddelerin uzaklaştırılması.	Biyolojik ve fiziksel arıtım	Aktif Çamur Yöntemi Damlatmalı Filtre Biyodiskler Oksidasyon Hendeği Havalandırılmalı Lagünler
Üçüncü Derece Arıtım	Kalıntı askıda katıların/ çözünmüş katıların uzaklaştırılması.	Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Arıtım	Kimyasal Çöktürme Adsorbsiyon Ultrafiltrasyon İyon Değiştirme Ters Osmoz Azot ve Fosfor Giderimi

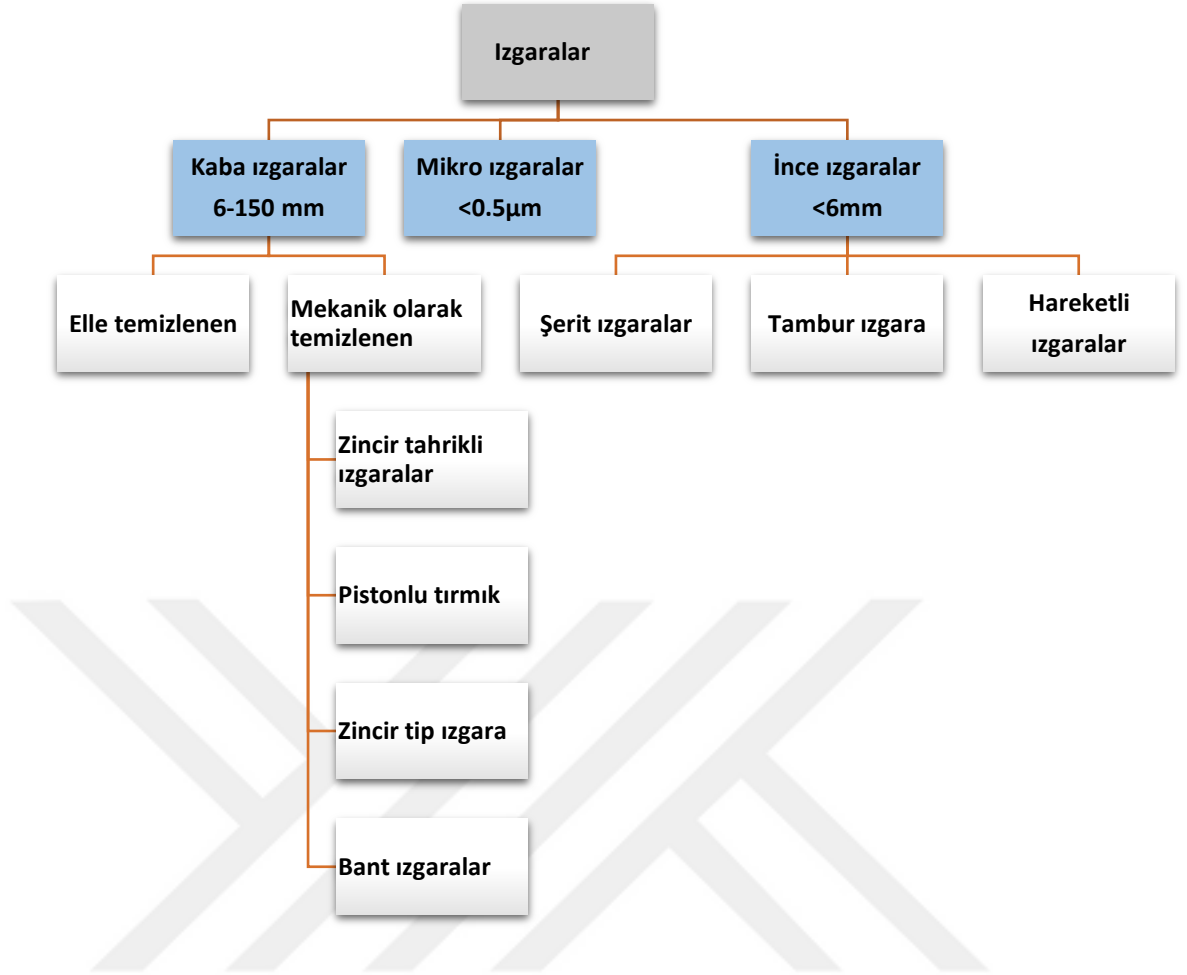
1.2.1.1. Izgaralar ve Yaklaşım Kanalı

Izgaralar, atık su içerisinde bulunan yüzücü veya askıdaki kaba maddelerin atık sulardan uzaklaştırılabilmesi için planlanan bir fiziksel arıtım yöntemidir. Izgaraların kullanımı atık su içerisindeki katı maddelerin pompa vb. tesisata zarar vermesini önlemek için bu maddeleri atık sudan ayırmak ve bu sayede diğer arıtma ünitelerine gelecek yükü hafifletmek adına önemlidir. Fiziksel arıtım herhangi bir kimyasal madde kullanmadan ve biyolojik aktivite olmadan gerçekleşir. Izgara yaklaşım kanalları kum, çakıl ve diğer katı maddelerin birikmesini önlemek üzere, ızgara ünitesine dik ve atık suyu tüm ızgara yüzeyine üniform olarak dağıtacak şekilde tasarlanır. Izgarada tutulan katı maddeler belli aralıklarla temizlenerek konteynerlerde biriktirilir ve daha sonra uygun alanlara dökülür. Şekil 1’de örnek bir ızgara modeli gösterilmiştir.



Şekil 1. Örnek bir ızgara modeli (URL-1, 2022).

Atık su arıtma tesislerinde kullanılan ızgaraların temizleme mekanizmalarına göre sınıflandırılması genellikle Şekil 2’deki gibidir.



Şekil 2. Izgaraların temizleme mekanizmalarına göre sınıflandırılması (Metcalf ve Eddy, 2003).

Çalışmaya konu olarak seçilen kaba ızgara ünitesi mekanik temizlemeli (pistonlu tırmık) çubuk ızgaradır. Çubuk ızgaralar tarafından giderilen katıların miktarı çubuk açıklığına bağlıdır. Elle ya da mekanik olarak temizlenen ızgaralar için yaklaşım kanalı, ızgarada eşit bir hız dağılımı sağlamak üzere belli bir uzunlukta olmalı, yaklaşma hızı da kum çökmesini önlemek amacıyla belli bir değerde olmalıdır. Izgara çubukları arasındaki ortalama su hızı 0.6-0.8 m/s aralığında değişmekte olup, maksimum su hızı 1.0 m/s olmalıdır. Bu değerlerden daha büyük hızlara tutulan katı maddeleri sürükleyeceği için izin verilmemektedir. Yaklaşım kanalındaki hız ise çökelmeye meydan vermeyecek seviyede olmalıdır. Izgaralarla ilgili diğer tasarım kriterleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Elle ve mekanik temizlemeli çubuk ızgaralarda tasarım kriterleri (Metcalf ve Eddy 2003).

Parametre	SI birim sistemi		
	Temizleme metodu		
	Birim	Elle temizlemeli	Mekanik temizlemeli
<u>Izgara boyutu</u>			
Genişlik	mm	5-15	5-15
Derinlik	mm	25-38	25-38
Izgara çubukları arası temiz açıklık	mm	25-50	15-75
Izgaraların dikeyle yaptığı açı	°	30-45	0-30
<u>Yaklaşım hızı</u>			
Maksimum	m/s	0.3-0.6	0.6-1.2
Minimum	m/s		0.3-0.5
Müsaade edilen yük kaybı	mm	150	150-600

Izgaralarda memba tarafında oluşacak su kabarmasının ızgarayı tıkamaması için belli bir değerden fazla yük kaybı olmamalıdır (15 cm–60 cm). Izgaralarda yük kaybı hesaplarında, ızgaraların temizliğine bağlı olarak aşağıdaki formüller kullanılmaktadır.

Temiz ızgaralarda Eşitlik 1 ile elde edilir.

$$h'_k = \beta \cdot \left(\frac{s}{b}\right)^{4/3} \cdot \frac{V_1^2}{2g} \cdot \sin \alpha \quad (\text{Kirschmer}) \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Bu eşitlikte:

s: Çubuk kesitinin genişliği, mm

d: Çubuk kesitinin yüksekliği, mm

b: Çubuk aralığı, mm

α : Çubukların yatayla yaptığı açı, °

V_1 : Yaklaşım hızı, m/s

h'_k : Müsaade edilen yük kaybı, m olarak ifade edilmektedir.

Temiz veya kısmen tıkanmış ızgaralarda Eşitlik 2 ve Eşitlik 3 ile elde edilir.

$$h'_k = \frac{V^2 - V_1^2}{2g} \cdot \frac{1}{C} \quad (\text{Chain Belt}) \quad (\text{Eşitlik 2})$$

$$h'_k = 0.5 \cdot \frac{V^2}{2g} + \frac{V^2 - V_1^2}{2g} \quad (\text{Metcalf ve Eddy}) \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Bu eşitliklerde:

h'_k : Müsaade edilen yük kaybı, m

C: Türbülans kayıplarından dolayı oluşan deşarj katsayısının tipik değeri temiz ızgara için 0.7 tıkalı ızgara için 0.6

V: Izgara çubukları arasındaki ortalama akım hızı, m/s

g: Yerçekimi ivmesi, 9.81 m/s^2 olarak ifade edilir.

v: Yaklaşım kanalındaki hız, m/s

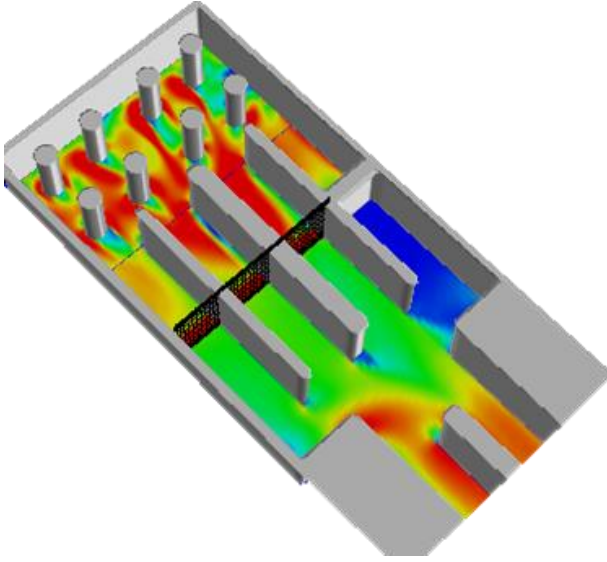
Izgara çubuklarının %50 tıkalı olması durumunda, süreklilik denklemi gereğince çubuklar arasındaki kesit alanının yarıya düşmesi sonucu hız iki katına çıkacaktır.

1.2.1.2. Yükleme Havuzu

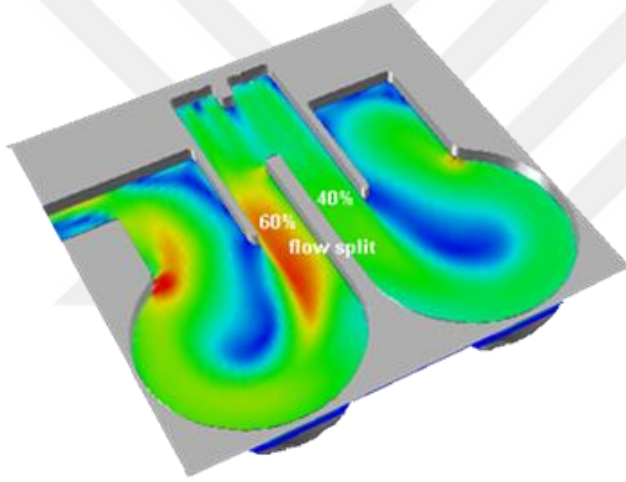
Yükleme havuzu borudaki akım ile serbest yüzeyli kanal akımı arasındaki geçişi sağlamak ve atık su debisindeki farklılıkları minimize ederek arıtım kademelerinde optimum şartları oluşturmak üzere dizayn edilir. Yükleme havuzu sayesinde yaklaşım kanalı ve ızgaralara düzenli ve güvenli atık su akışı temin edilir ve tesisin verimli çalışması sağlanır. Yükleme havuzunda birikebilecek fazla atık suyun deşarjı için işletme kapağı bulunan bir kanal bulunmalıdır.

1.2.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Hesaplamalı Akışkan Dinamiği (HAD), akışkan mekaniği problemlerini çözmek ve analiz etmek için bilgisayar gücünü kullanan, analiz sonuçlarını görsel içeriklerle şekillendirerek akışkanın akış özelliklerini anlamamıza yardımcı olan bir metottur. HAD kullanımıyla hidrodinamik, havacılık, otomotiv, enerji gibi çok çeşitli alanlarda karşılaşılabılır. Şekil 3'te bir fiziksel atık su arıtma tesisinde giriş odası ve ızgara ünitelerini, Şekil 4'te ise kum tutucu ünitelerini içeren HAD analizleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Fiziksel bir atık su arıtma tesisine ait giriş odası ve ızgara ünitelerinin HAD analizi (URL-2, 2022).



Şekil 4. Fiziksel bir atık su arıtma tesisine ait kum tutucu ünitelerinin HAD analizi (URL-2, 2022).

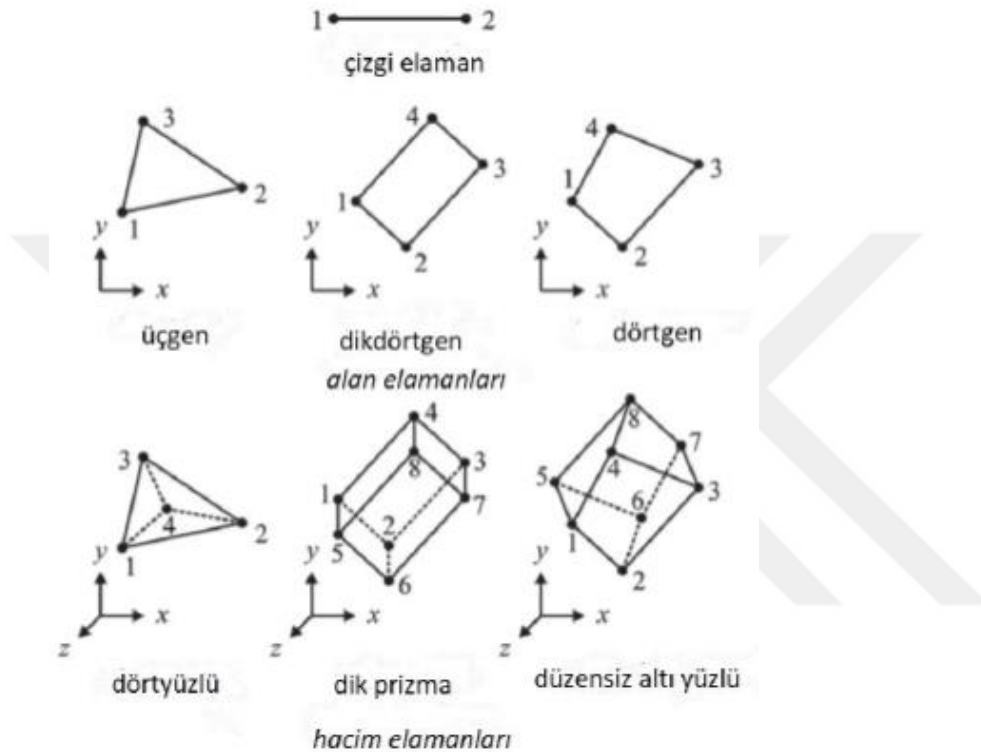
HAD bize zamandan ve bütçeden tasarruf sağlayarak gerçek ölçekli deneyleri simüle etmeyi mümkün kılar. HAD simülasyonlarından çok doğru sonuçlar elde edilse de bu sonuçlar deneysel veya teorik sonuçlarla karşılaştırılmalıdır (Rajaonary, 2016).

HAD'ın temel denklemler yardımıyla akışkan mekaniği problemlerini çözebilmesi için, modeli sonlu elemanlara bölmelidir. Bu yöntemlerden biri sonlu elemanlar yöntemi olarak adlandırılır.

1.2.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi

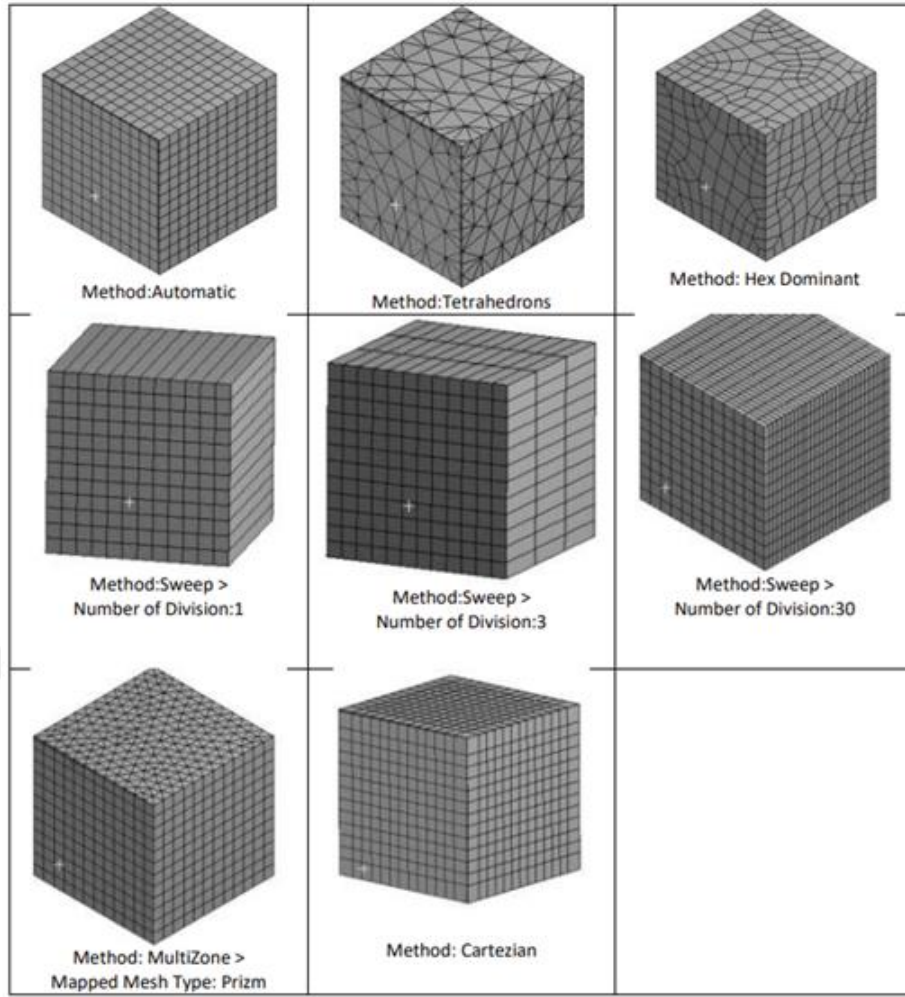
Sonlu elemanlar yöntemi, akışkanlar mekaniği problemlerinin sayısal analizinde en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Karmaşık bir geometriyi fiziksel olarak daha

küçük ve sonlu elemanlara ayırarak her bir elemanın birbirine bağlandıkları düğüm noktalarındaki denge denklemlerini kısmi diferansiyel denklemler yardımıyla çözmek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanarak oluşturulan yapıya sonlu eleman ağ yapısı denir. Sonlu eleman ağ yapısı oluşturulurken iki boyutta üçgen veya dörtgen, üç boyutta ise genellikle tetrahedral veya hex dominant ağ yapıları kullanılmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Temel sonlu elemanlar (Madenci ve Güven, 2015'ten değiştirilmiştir).

Sonlu eleman ağ yapısı oluşturulurken çeşitli metotlar kullanılabilir. Kullanılan metoda göre eleman yapıları değişiklik gösterir. Sonlu eleman ağ yapısı metotlarından bazıları ve kullandıkları eleman yapıları Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Sonlu eleman ağ yapısı metotları (URL-3, 2022).

Sonlu elemanlar yönteminin ağ yapısı için Ansys ile gerçekleştirilen mesh işleminin sonunda mesh kalite kriterlerinden biri olan ve her bir eleman boyutunun ideal eleman boyutundan sapma değerini ifade eden 0 ile 1 arasında değişen değerlere sahip olan skewness değerinin istenen aralıkta olmasına özen gösterilir. 0.98 ve üzeri maksimum skewness değeri kabul edilemez aralıkta olmakla birlikte, bu değer ne kadar sıfıra yakın ise ağ kalitesi açısından o kadar iyidir (ANSYS Help, 2013).

1.2.4. Yakın Duvar Davranışı

Akışkanlar mekaniğinde akış içerisindeki türbülansın asıl kaynağı olan duvara yakın bölgelerdeki akış denklemlerinin çözümünde yakın duvar yaklaşımları için kullanılan duvar fonksiyonlarının doğru seçilmesi gerekir.

HAD analizlerinde sınır tabaka, geçiş bölgesi ve çevresindeki akışın doğru analiz edilmesi için enflasyon tabakası (inflation) olarak adlandırılan bir tabakanın oluşturulması gerekmektedir. Aksi takdirde sınır tabaka ve çevresindeki hız profilleri üniform (düzenli) olacaktır. Bu da gerçekte olan durumu yansıtamayacaktır. Dolayısıyla

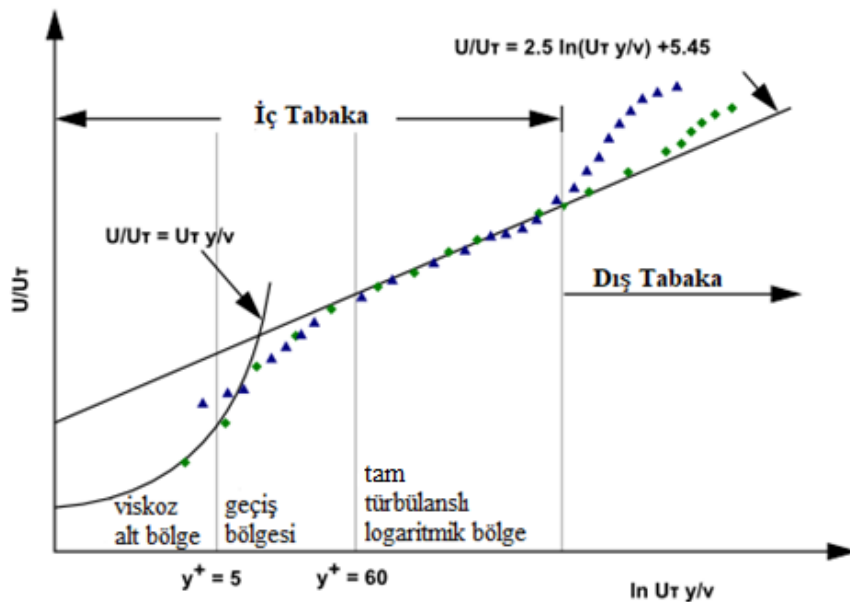
da analizlerden elde edilen sonuçlar da gerçek şartlara uygun olmayacaktır. Sonuç olarak bu tip analizlerde enflasyon tabakasının oluşturulması zorunludur (Korkmaz vd., 2021).

Sınır tabakayı içine alacak enflasyon tabakalarını belirlemede boyutsuz akış hızı u^+ ve buna bağlı y^+ değerinin dikkate alınması önemlidir (Gençer, 2020). Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinde y^+ , genellikle bir mesh ağının belirli bir akış için ne kadar kaba veya ince olduğunu açıklamak için kullanılan Reynolds sayısı gibi boyutu olmayan bir mesafedir (Salim ve Cheah, 2009). Sınır tabakadaki ilk elemanların yüksekliği y^+ değerine göre değişmektedir. Sınır tabakadaki farklı akış bölgelerine ait y^+ değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Farklı bölgelere göre y^+ değerleri (Vuruşkan, 2014).

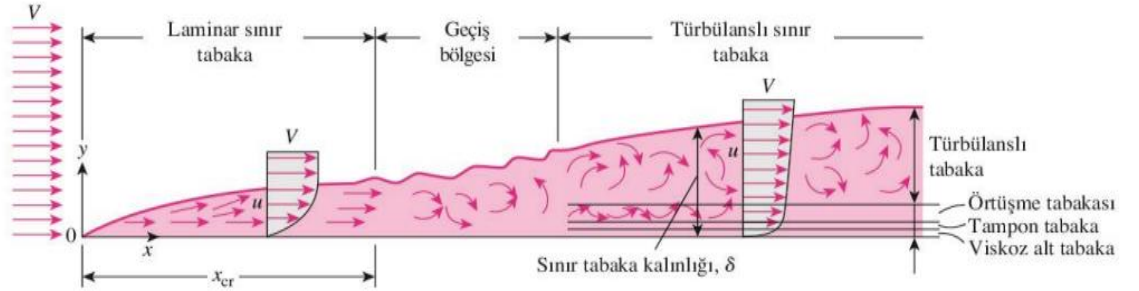
Bölge	y^+
Viskoz Alt Bölge	$y^+ < 5$
Geçiş Bölgesi	$5 < y^+ < 30$
Türbülanslı Bölge	$y^+ > 30$

Şekil 7, türbülanslı bir sınır tabakası için logaritmik ve normal eksenlerde tipik bir hız profilini göstermektedir. Hız profili genel ölçüde iç katman ve dış katman olmak üzere iki bölgeye ayrılır. Grafik incelendiğinde, y^+ değerinin 5'ten küçük olduğu bölgelerin viskoz alt bölge olduğu, profilin y^+ değerinin 11.67 olduğu noktaya kadar lineer, bu noktadan sonra logaritmik devam ettiği görülür. y^+ değerinin 5-60 aralığında olduğu bölgeler geçiş bölgesi olarak adlandırılır ve bu bölgeden sonra türbülanslı logaritmik bölge başlar.



Şekil 7. Yakın duvar bölgesinin katmanları (ANSYS Help, 2013).

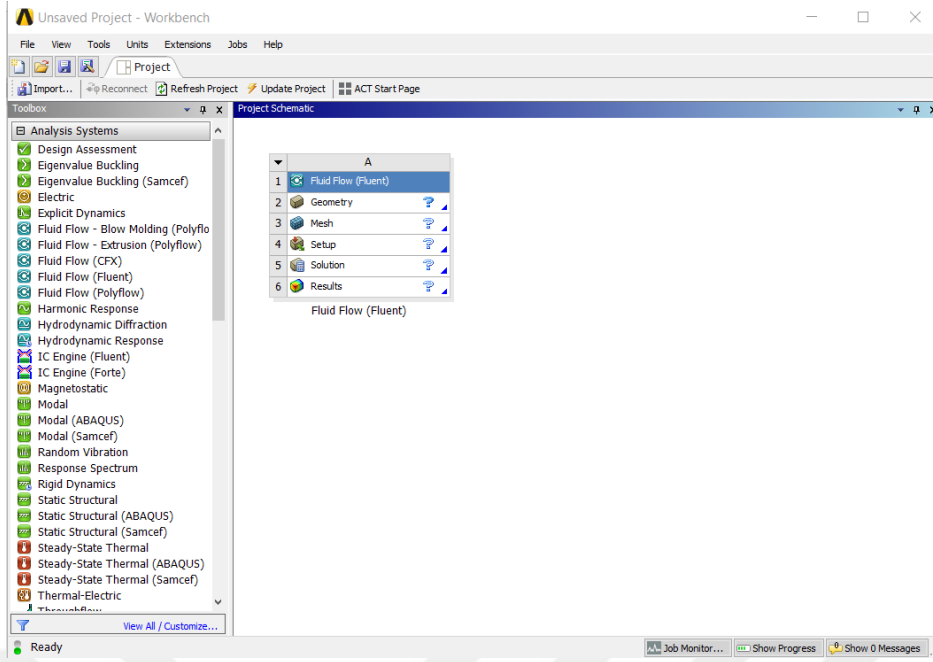
Laminer ve türbülanslı akışta hız profili Şekil 8’de verilmiştir. Türbülanslı akışlarda viskoz etkilerin baskın olduğu duvara en yakın tabaka olan viskoz alt tabakada hız profili lineere oldukça yakındır. Türbülans etkilerinin gözlemlendiği fakat akışta viskoz etkilerin hala baskın olduğu tampon tabaka viskoz alt tabakanın hemen üstündedir. Tampon tabakanın üstüne ise türbülans etkilerinin daha önemli olduğu örtüşme (geçiş) tabakası vardır. Türbülanslı tabakada ise türbülans etkileri viskoz etkilerine göre baskın durumdadır (Şekil 8).



Şekil 8. Laminer ve türbülanslı akışta hız profili (Çengel, 2002).

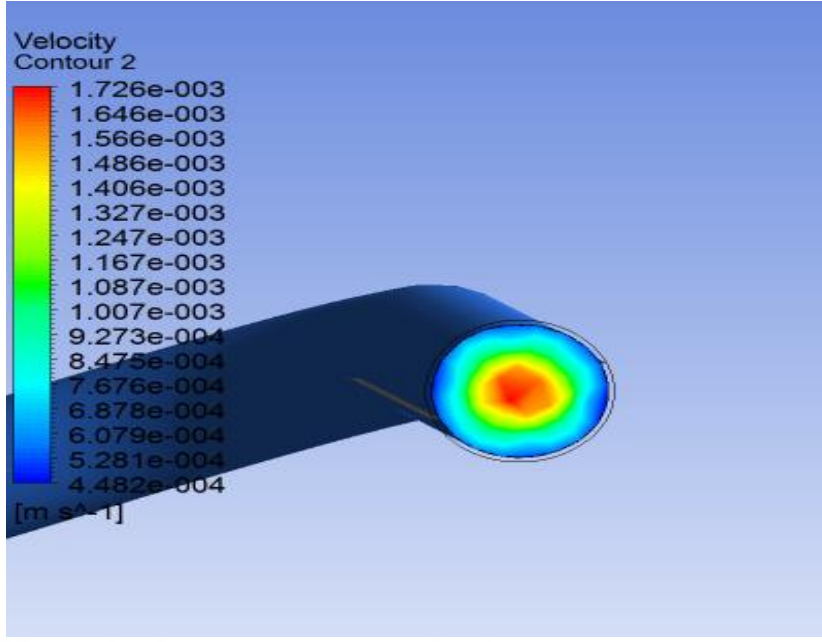
1.2.5. ANSYS Fluent

ANSYS Fluent akademik ve endüstriyel alanda fiziksel modelleme yapmak için sonlu elemanlar yöntemi kullanan bir HAD yazılımıdır. ANSYS-Fluent ile Newtonyen ve Newtonyen olmayan, türbülanslı ve laminer, tek fazlı ve çok fazlı olmak üzere çok çeşitli akış davranışı modellenenbilmektedir. Fluent karmaşık geometrili modellemelere ve ağ oluşumuna uygun olan kullanıcı dostu ANSYS Workbench ara yüzüne entegredir.



Şekil 9. ANSYS-Fluent ilk ekran görüntüsü

Şekil 9’da görüldüğü üzere ANSYS-Fluent ile analizin ilk aşamasında modele ait geometri oluşturulur. Geometri ANSYS-Fluent’e entegre olarak açılan SpaceClaim veya Design Modeler programlarından biri ile hazırlanır. Geometri hazırlandıktan sonra “Mesh” aşamasında hazırlanan geometri sonlu elemanlara bölünerek ağ yapısı (mesh) oluşturulur. Mesh işlemi yapılırken ağ sayısına ve geometrisine ait varsayılan değerler analiz kalitesini artırmak amacıyla düzenlenebileceği gibi detaylı incelenmek istenen kısımlara farklı ağ yapısı ve boyutları da tanımlanabilmesine izin verilmektedir. Analizden önceki son aşamada kararlı, kararsız akış koşulları, tek fazlı, çok fazlı akış durumları ve türbülans modeli gibi hesap için gerekli değişkenler tanımlanır. Sınır şartları ve malzeme özellikleri de belirlendikten sonra iterasyon sayısı ve adım aralığı da belirlenir ve analiz gerçekleştirilir. Analiz sonuçlarını görselleştirmek için çeşitli tablo, grafik ve kontur şekillerinden faydalanılır. Şekil 10’da örnek bir boru akışı analizinin hız alanı kontur grafiği şeklinde gösterilmiştir.



Şekil 10. ANSYS-Fluent ile oluşturulmuş örnek bir boru akış analizi

1.2.6. Akustik Doppler Hız Ölçer Cihazı

Doğrulamayı gerçekleştirmek için yapılan deneyde atık suyun hız değişimini ölçmek için kullanılan Akustik Doppler Velocimeters (ADV) (Şekil 11), doppler prensibinden yararlanılarak geliştirilmiştir.



Şekil 11. Akustik Doppler Velocimeter (ADV) cihazı



Şekil 12. ADV cihazının çalışma prensibi

Hareketli bir akışkan içerisinde akışkan hızını tam olarak takip edebilen gaz, duman, küçük katı parçacıklar var ise bu taneciklerden saçılan dalganın frekansının ölçülmesi ile bu taneciklerin dolayısıyla akışkanın hızı ölçülebilmektedir (Şekil 12). ADV yardımıyla akım özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 2 veya 3 boyutlu noktasal hız ölçümleri, debi hesabı, türbülans hızları ve askıdaki sediment miktarının belirlenmesi yapılabilmektedir (Ardıçlıoğlu vd., 2010).

1.3. Yazın (Literatür) Özeti

Atık su arıtma tesislerinde HAD uygulamaları ile ilgili birçok sayısal çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Yang vd. (2008) tarafından çıkış suyu kalitesini artırmak amacıyla durultucunun geometrik yapısı değiştirilerek durultucunun HAD analizleri ve simülasyonları yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre aynı günlük çıkış suyunda C tipi arıtıcının akışkan hızını azalttığını ve atık su bulanıklığının azaldığını göstermiştir (Yang vd., 2008).

Dufresne vd. (2009) bir giriş ve 2 çıkışlı bir tankta akış, sedimentasyon ve katı ayırımını çalışmak için 3 boyutlu bir akışın HAD modellemesini incelemiştir. Araştırması kapsamında 23 adet deney gerçekleştirerek hız alanlarını ölçmüş, çıkış ve taşma arasındaki sedimentasyon ve kütle ayırımını ölçüp fotoğraflamıştır. HAD kullanarak gerçekleştirdiği simülasyon verilerini deneysel verilerle karşılaştırmıştır. Özellikle düşük su derinlikleri için bazı tutarsızlıklara rağmen, iyi bir uyuma elde etmiştir ve parçacık yoğunluğuna karşı yüksek duyarlılığı tartışmıştır. Sediment taşınımı

modellemesinde HAD'ın iyi bir yol olduğunu göstermiş ve çalışmalarının bir sonraki adımı için modeli tam ölçekli bir birleşik kanalizasyon tankında kullanmayı hedeflemiştir (Dufresne vd., 2009).

Stamou vd. (2009) bir HAD modeli kullanarak Psyttalia Atık Su Arıtma Tesisinin ikinci derece çökeltim tanklarının tasarımını yaparak çamur örtülerinin yükseklikleri ve çıkış suyundaki askıda katı madde konsantrasyonu parametrelerinin Hazen numarası ile ilişkisini incelemiştir (Stamou vd., 2009).

Holubec (2013) teknolojik süreçler ve maliyet tasarrufu açısından en uygun çalışmayı elde etmek için, bir kent belediyesinde bulunan atık su arıtma tesisindeki birinci derece çökeltim havuzu modellenmesi üzerinde durmuştur (Holubec, 2013).

Tarpagkou ve Pantokratoras (2013) bir çökeltme havuzunda, birincil fazın ikincil faza etkisini ve bunun tersini ve bu etkinin tankın verimliliğini etkileme yolunu tanımlamak için, farklı partikül çapları ve hacim fraksiyonları olan bir çökeltme tankının bir dizi sayısal simülasyonlarını karşılaştırmıştır (Tarpagkou ve Pantokratoras, 2013).

Dutta vd. (2014) Chicago'da bir kum tankında kum birikiminin üniform olmayan dağılımını gözlemlemesi üzerine, üniform olmayan kum dağılımını araştırmak ve tesisin optimum kapasitede çalışmasını sağlamak için potansiyel çözüm alternatiflerini değerlendirmek için tek ve çok fazlı akış simülasyonları kullanmıştır. Simülasyonlar, yaklaşım kanalında bir viraj nedeniyle ikincil akımların oluşumunu ortaya çıkarmıştır. İkincil akımları kırmak için yaklaşım kanalının merkezindeki bölmeler ve sol tarafı boyunca bir daralma duvarı önermiştir (Dutta vd., 2014).

López-Jiménez vd. (2015) HAD simülasyonları kullanarak Newtoniyen ve Newtoniyen olmayan tek fazlı bir akış modeli için bir oksijensiz çürütücüdeki farklı akım koşulları ve geometrilerdeki giriş akımından kaynaklanan çamur karışım karakteristiklerini konu alan bir çalışma yapmışlardır. Analizi, çürütücünün içindeki hızlar ve akış düzeni ve aynı zamanda, belirlenmiş bir yerleşim hızından daha düşük hızlara sahip çamur hacmi göz önüne alınarak gerçekleştirmişlerdir. Modeli mevcut deneysel basınç ve sıcaklık verileri kullanarak kalibre etmişlerdir. Araştırmanın sonucunda etkili anaerobik sindirim için iyi karıştırılmış koşullar ve ölü bölgelerin hacmini azaltma önerileri sunmuştur (López-Jiménez vd., 2015).

Meroney ve Sheker (2016) atık su arıtımı boyunca çamurun uzaklaştırılma sürecinde, hidrodinamik vorteks dağıtıcı (HDVA) sisteminin kum ve kum taşı ayırma verimliliğini simüle etmek için HAD kullanmıştır. Analiz akış hızı, sıvı viskoziteleri, toplam askıda katı maddeler ve parçacık boyutu ve dağılımı üzerindeki etkileri

incelemiştir. Bu bağımsız değişkenlerin geniş bir yelpazesi için ayırıcı verimliliğinin, parçacığa dayalı birkaç eğriye dönüştürülebileceğini bulmuşlardır. HAD sonuçlarını sınırlı deneysel veri ile karşılaştırmışlardır (Meroney ve Sheker, 2016).

Robescu ve Manea (2015) HAD teknikleri kullanarak, birinci derece çökeltim havuzunda, çökeltme alanında üniform akış sağlayan ve ölü bölgeleri önleyen optimum konfigürasyonları vurgulamak için yönlendirici duvarları farklı ebat ve ölçülerini çalışmıştır (Robescu ve Manea, 2015).

Samstag vd. (2016) su ve atık su arıtma tesisi için kullanılan HAD'a genel bir bakış yaparak, uygulama durumu ve araştırma geliştirme ihtiyaçlarını dile getirmişlerdir. Atık su arıtma tesislerinde HAD'ın genel kullanımının farklı birimler arasında oldukça değişken olduğu sonucuna varmışlardır. Özellikle ikincil sedimentasyonun HAD simülasyonları oldukça gelişmişken, anaerobik çalışmalar daha az gelişmiştir. HAD'ın hiçbir yerde (dezenfeksiyon hariç) bir tasarım, risk yönetimi veya sorun giderme aracı olarak yaygın bir kullanımının olmadığı sonucuna varmışlardır. Bunun atık su süreci değerlendirmesinde HAD'ın değerini daha da geliştirmek için net fırsatlar sunacağını ifade etmişlerdir (Samstag vd., 2016).

Terashima vd. (2016) helezon makaralı farklı havalandırma tanklarındaki hidrolik davranışların simülasyonu için HAD analizleri gerçekleştirmiştir. Oksijen transferi ve difüzör kabarcık boyutunun belirlenmesi için gerçekleştirilen HAD hesaplamaları ile deneysel olarak ölçülen verilerle hesaplanan hacimsel oksijen kütle transfer katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır. Hesaplamaların sonuçları, kaba kabarcıklı difüzörlerin, ince gözenekli difüzörlerin ve kaymış membran difüzörlerinin sırasıyla 7-8 mm, 5-6 mm ve yaklaşık 3 mm kabarcık boyutlarına sahip olduğunu göstermiştir (Terashima vd., 2016).

Gao ve Stenstrom (2019) HAD kullanarak ikinci derece çökeltim havuzlarındaki katıların kaldırma kuvveti ve türbülans etkisinde davranışlarını araştırmışlardır (Gao ve Stenstrom, 2019).

Şibil vd. (2021) yaptığı çalışma ile tam ölçekli bir oksidasyon hendeğinin hidrolik ve hidrodinamik özelliklerini incelemiştir. HAD analizi ile mevcut oksidasyon hendeği modelinin hidrodinamik olarak iyileştirilmesi gerektiğini tespit etmiş, mevcut tesisin hidrolik zayıflığını ortadan kaldırmak için yeni özgün bir oksidasyon hendeği geometrisi sunmuştur. Yeni özgün geometri, oksidasyon hendeklerinde daha homojen bir akış alanı sağlamıştır ki bu da tesisin çalışma ilkelerine göre arıtma verimliliğine ve enerji tasarrufuna yardımcı olacağı anlamına gelir (Şibil vd., 2021).

Patziger (2021) HAD'ın atık su arıtma tesislerinin genel verimliliğinde önemli iyileştirmelere nasıl katkıda bulunabileceğine dair örnekler sunmuştur. HAD kullanarak

havalandırmalı kum tutucularının çalışması, birinci derece çökeltim havuzlarının ve oksidasyon hendeklerinin performansına dair vaka çalışmaları yapmıştır. Araştırma neticesinde kum odalarının çoğunda hava giriş hızının güçlü bir şekilde azalabildiği, birincil çöktürme tanklarının giriş geometri tasarımının optimizasyonunun özellikle fırtınaların neden olduğu yüksek yüklerde çok önemli olduğu, mevcut tasarım kriterlerine dayanan karıştırıcı performans tasarımının sıklıkla gereksiz yüksek kapasiteye sahip olduğu sonuçlarına ulaşmıştır (Patziger, 2021).

Hoiberg ve Shah (2021) HAD modeli ve simülasyonu kullanarak endüstriyel ölçekte bir havalandırmalı kum tutucuyu araştırmıştır (Hoiberg ve Shah, 2021).

Yapılan çalışmalara bakıldığında, HAD kullanılarak, atık su arıtma tesislerindeki arıtma ünitelerinin tasarımı ve atık suyun hız değişimi ile ilgili yüksek oranda fikir sahibi olunabildiği açıkça görülebilir. Aynı şekilde yapılan çalışmalar incelendiğinde, atık su arıtma tesislerindeki mekanik arıtma yöntemlerinden olan ızgaralarla ilgili yapılmış HAD'a dayalı bir sayısal modellemeye rastlanmamıştır. Bu motivasyon noktasından hareketle hazırlanmış olan tez kapsamında ızgaraların tam ölçekli bir tesiste HAD ile sayısal modellemesi yapılmış ve bulunan sonuçlar deneysel çalışmalarla karşılaştırılarak doğrulaması yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada seçilen tam ölçekli atık su arıtma tesisinde atık suların fiziksel arıtımında kullanılan ızgara ünitesinin hidrolik açıdan incelenmesi, HAD yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Tam ölçekli tesiste deneysel hız ölçümleri yapılarak HAD analizleri ile karşılaştırılıp, hız değerlerinin tasarım kriterlerine uygun olmadığı bölgelerdeki hidrolik açıdan zayıf yönler dikkate alınarak mevcut projeye uygun yeni bir model tasarlanması yapılmıştır. Tam ölçekli tesis olarak Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisinin Fiziksel arıtım ünitesi seçilmiştir. Bu kapsamda Fiziksel arıtım ünitesindeki elamanlardan ızgara ünitesi ve bu üniteye yüklem havuzu-yaklaşım kanalı-kaba ızgaradan oluşan kombine sistem modellenmiştir.

Özetle aşağıda ifade edilen adımlar izlenmiştir:

a. Tam ölçekli tesis olarak seçilen atık su arıtma tesisindeki incelemeye konu olacak kaba ızgaralar, yaklaşım kanalı ve yüklem havuzuna ait boyut ve diğer yapısal özellikler ve atık suyun günlük debisi ilgili kuruluşlarla ve uygulayıcı belediyeye bağlantıya geçilerek tespit edilmiş ve modelleme çalışmaları bu bilgiler üzerinden oluşturulmuştur.

b. Elde edilen veriler ışığında, sayısal modeller oluşturulmuştur. Sayısal modellerin oluşturulabilmesi ve çözümlemelerinin gerçekleştirilebilmesi için genel amaçlı bir sonlu elemanlar programı olan ANSYS paket programının HAD analizleri yapan Fluent yazılımından yararlanılmıştır. Bu aşamadan sonra atık su arıtma tesisinin yaklaşım kanalı ve kaba ızgaralarında gerçekleştirilen sayısal analizlerde kullanılan yöntem ve izlenen iş akışı aşağıda ifade edilmektedir:

□ Yapılacak çalışmada kullanılacak HAD yazılımı için sonlu elemanlar yöntemine dayalı yüksek doğrulukta çözümler sunan ANSYS Fluent programı kullanılmıştır.

□ Ayrıca seçilen tam ölçekli tesisin katı modelini ve geometrisini oluşturmak için ANSYS Workbench ara yüzüne bütünleşik olan üç boyutlu geometri hazırlama programı SpaceClaim kullanılmıştır.

□ Katı modeli hazırlanan tesisin HAD analizleri için sonlu elemanlar modeli yine ANSYS Workbench ara yüzünde ANSYS Meshing programı yardımıyla istenilen kalite değerleri gözetilerek hazırlanmıştır.

□ Sonlu eleman ağ yapısı hazırlanan model HAD analizi için Ansys Fluent programına aktarılmış ve burada akışkan özellikleri ve akım koşulları ile ilgili tanımlamalar yapılmıştır.

□ Yine akışkan ve katı hacimlerin tanımlamaları yapılarak sınır şartları ile ilgili veriler girilmiş ve böylece model analize hazır hale getirilmiştir.

□ Analize hazır hale gelen model için yakınsama ile ilgili ayarlamalar da yapılarak ardışık yineleme değeri belirlenip analizler başlatılmıştır.

□ Yeterli yakınsamaya ulaşan analizler durdurulmuş ve sonuçlar görselleştirilmiştir.

□ Elde edilen sonuçlar hidrolik açıdan değerlendirilmiştir.

c. Elde edilen sayısal sonuçların doğrulaması için tam ölçekli tesiste deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda sıvı akışının karakteristik davranışları için yaygın olarak kullanılmakta olan Akustik Doppler Hız Ölçer (ADV) (Acoustic Doppler Velocimeter) aletiyle yerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir.

d. Deneysel ölçümlerle doğrulaması yapılan sayısal modelin hidrolik açıdan değerlendirilmesi yapılarak zayıf yönler belirlenmiş ve bu zayıf yönler iyileştirilerek yeni ve özgün bir model geliştirilmiştir.

2.1. Fluent Programının Çözüm Denklemleri ve Türbülans Modelleri

2.1.1. Kütlenin Korunumu Denklemi

Kütle korunumu kanunu basitçe kütlenin yok edilemeyeceği ve yoktan var edilemeyeceği prensibine dayanmaktadır. Kararlı akışta kontrol hacmi içindeki kütle miktarı sabit kalır ve dolayısıyla kütlenin korunumu veya süreklilik denklemi şu şekilde ifade edilebilir:

$$(\text{Kontrol hacmine giren sıvı kütlesi}) = (\text{Kontrol hacminden çıkan sıvı kütlesi})$$

Sıvının kontrol hacminin sağ yüzeyinden ayrılma hızı şu şekilde hesaplanır:

$$\rho \left(u + \frac{\partial u}{\partial x} dx \right) (dy.1) \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Bunu y yönü için tekrarlayarak şu denklemi elde ederiz:

$$\rho u(dy.1) + \rho v(dx.1) = \rho \left(u + \frac{\partial u}{\partial x} dx \right) (dy.1) + \rho \left(v + \frac{\partial v}{\partial y} dy \right) (dx.1) \quad (\text{Eşitlik 5})$$

Basitleştirip bölerek $dx.dy.1$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Burada ρ yoğunluk, v hız vektörüdür. Bu süreklilik denklemi olarak da bilinen kararlı sabit yoğunluklu bir sıvının iki boyutlu akışı için kütle korunumudur (Çengel, 2002).

2.1.2. Momentumun Korunumu Denklemi

Bir koordinat sisteminde momentumun korunumu denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho g) + \nabla \cdot (\rho g g) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \bar{g} + \vec{F} \quad (\text{Eşitlik 7})$$

Burada p statik basınç, $\bar{\tau}$ gerilme, $\rho \bar{g}$ yerçekimi cisim kuvveti, $\vec{F}$ dış cisim kuvvetidir.

Gerilme aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\bar{\tau} = \mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right] \quad (\text{Eşitlik 8})$$

Bu denklemde μ moleküler viskozite, I birim tensör olarak ifade edilebilir (Chen ve Liu 2015).

2.1.3. Navier-Stokes Denklemleri

Navier-Stokes denklemleri modern akışkanlar mekaniğinin temellerini oluşturur. Newton tipi sıkıştırılmaz akışkanların hareketleri Navier-Stokes denklemleriyle açıklanmaktadır.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u\nabla u + v\nabla^2 u - \frac{\nabla p}{\rho} + f \quad (\text{Eşitlik 9})$$

Burada $\partial u / \partial t$ hız, $u\nabla u$ yatay akım, $\nabla p / \rho$ basınç gradyanı ve f gövde kuvvetidir.

Navier-Stokes denklemi kütle korunumu, momentumun korunumu ve enerjinin korunumu denklemlerinden elde edilebilen, daimî ve doğrusal olmayan, ikinci mertebeden bir kısmi diferansiyel denklemdir.

3 boyutlu kartezyen koordinatlarda Navier-Stokes denklemleri aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} + f_x \quad (\text{Eşitlik 10})$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} + f_y \quad (\text{Eşitlik 11})$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial z} + f_z \quad (\text{Eşitlik 12})$$

Burada u, v, w parçacıkların hız vektörü u 'nun bileşenleridir (Chen ve Liu , 2015).

2.1.4. Türbülans Modelleri

Akışkanlar mekaniğindeki çoğu akışın türbülanslı olmasından ötürü doğru türbülans modelini seçmek önemlidir. Bu doğrultuda ANSYS Fluent k-epsilon türbülans modelinin tüm varyasyonları, k-omega türbülans modeli, Reynolds gerilim modeli (RSM) de dahil olmak üzere çeşitli türbülans modelleri içeren çözüm olanaklarına sahiptir.

ANSYS Fluent yazılımında kullanılan türbülans modellerinden bazıları aşağıdaki gibidir.

- k-ε modelleri
 - Standart k-ε modeli
 - Gerçekleşebilir k-ε modeli (Realizable k-ε model)
 - Renormalizasyon grubu k-ε modeli (RNG k-ε model)

- k- ω modelleri
 - Standart k- ω modeli (Standard k- ω model)
 - Temel k- ω modeli (Baseline (BSL) k- ω model)
 - Kesme-gerilme taşınım k- ω modeli (Shear-stress transport (SST) k- ω model)
- Geçiş k-kl- ω modeli (Transition k-kl- ω model)
- Geçiş SST modeli (Transition SST model)
- Reynolds gerilme modelleri (Reynolds stress models (RSM))
- Ayırık Eddy Simülasyon Modeli (Detached Eddy Simulation Model)
- Geniş Eddy Simülasyon Modeli (Large eddy simulation (LES) model)
- Ölçek Uyumlu Simülasyon Modeli (Scale-Adaptive Simulation (SAS) model) (Şibil, 2019)

2.1.4.1. Standart k- ϵ Türbülans Modeli

K- ϵ türbülans modellerinde kullanılan k türbülans kinetik enerjisi, ϵ ise yayılma hızı olarak ifade edilir.

Türbülanslı akışlardaki girdapların sahip olduğu birim kütle başına gelen ortalama kinetik enerjiye türbülans kinetik enerjisi (k) denir.

$$k = \frac{1}{2} \sum_m \overline{u'_m u'_m} = \frac{1}{2} (\overline{u'_1 u'_1} + \overline{u'_2 u'_2} + \overline{u'_3 u'_3}) \quad (\text{Eşitlik 13})$$

Türbülans kinetik enerjisinin termal iç enerjiye dönüştürülme oranına türbülans eddy dağılımı (ϵ) denir.

$$\epsilon = \nu \sum_m \sum_{l,m=i,j,k} \overline{\left(\frac{\partial u'_k}{\partial x_i} \right)^2} = \nu \left[\overline{\left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_i} \right)^2} + \overline{\left(\frac{\partial u'_j}{\partial x_i} \right)^2} + \overline{\left(\frac{\partial u'_k}{\partial x_i} \right)^2} + \overline{\left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_j} \right)^2} + \overline{\left(\frac{\partial u'_j}{\partial x_j} \right)^2} + \overline{\left(\frac{\partial u'_k}{\partial x_j} \right)^2} + \overline{\left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \right)^2} + \overline{\left(\frac{\partial u'_j}{\partial x_k} \right)^2} + \overline{\left(\frac{\partial u'_k}{\partial x_k} \right)^2} \right] \quad (\text{Eşitlik 14})$$

Standart k- ϵ modeli, türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülanslı yayılma oranı (ϵ) için model taşıma denklemlerine dayanan bir modeldir ve aşağıdaki denklemlerden türetilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (\text{Eşitlik 15})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = & \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) \\ & - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \end{aligned} \quad (\text{Eşitlik 16})$$

Burada G_k hesaplanan ortalama hız gradyanındaki türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu temsil eder. G_b yüzerlik tarafından üretilen türbülans kinetik enerjisidir. Y_M , sıkıştırılabilir türbülanstaki dalgalı genişlemenin toplam dağıtım oranına göre bir kısmını gösterir. $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ ve $C_{3\varepsilon}$ sabitlerdir. σ_k ve σ_ε sırasıyla k ve ε için türbülanslı Prandtl sayılarıdır. S_k ve S_ε kullanıcı tanımlı kaynak terimleridir.

Türbülanslı viskozite olan μ_t , k ve ε 'nin aşağıdaki gibi birleştirilmesiyle hesaplanır:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (\text{Eşitlik 17})$$

C_μ bir sabittir. Model sabitleri $C_{1\varepsilon}=1.44$, $C_{2\varepsilon}=1.92$, $C_\mu=0.09$, $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\varepsilon=1.3$ değerlerine sahiptir.

2.1.4.2. Renormalizasyon Grubu k- ε Türbülans Modeli

Renormalizasyon Grubu Modeli (RNG) standart k- ε modeliyle neredeyse aynı forma sahip olup k ve ε eşitliklerinde ani gerilmeli akışlar için iyileştirme sağlayan ek terimler içerir. Dönmenin türbülansa etkilerini de içeren RNG k- ε türbülans modeli, dönme bulunan akışlarda daha doğru sonuçlar verir.

RNG k- ε türbülans modelindeki k ve ε değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla elde edilir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (\text{Eşitlik 18})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\sigma_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) \\ - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \end{aligned} \quad (\text{Eşitlik 19})$$

Burada $\sigma_k, \sigma_\varepsilon, k$ ve ε terimleri için etkili Prandtl sayıları, μ_{eff} , efektif viskozitedir.

G_k aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$G_k = -\overline{\rho u_i u_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (\text{Eşitlik 20})$$

$C_{1\varepsilon}=1.42, C_{2\varepsilon}=1.68, C_\mu=0.0845, \sigma_k=1.393, \sigma_\varepsilon=1.393$ değerlerine sahiptir.

2.1.4.3. Gerçekleşebilir k- ε Türbülans Modeli

Gerçekleşebilir k- ε modeli türbülanslı viskozite için başka bir formül içerdiği için standart k- ε modelinden ayrılır. Ayrıca, ε için ortalama vortisite dalgalanmasının karekökünün tam eşitliğinden türetilen yeni bir taşınma denklemi içerir.

Gerçekleşebilir k- ε türbülans modelindeki k ve ε değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla elde edilir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) + \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho\varepsilon - Y_M + S_k \quad (\text{Eşitlik 21})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) + \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon \\ - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \end{aligned} \quad (\text{Eşitlik 22})$$

Burada;

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \eta = S \frac{k}{\varepsilon}, S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \text{ 'dir.}$$

$$C_\mu = \frac{1}{A_0 + A_s \frac{k U^*}{\varepsilon}} \quad (\text{Eşitlik 23})$$

Burada;

$$U^* \equiv \sqrt{S_{ij}S_{ij} + \tilde{\Omega}_{ij}\tilde{\Omega}_{ij}} \quad (\text{Eşitlik 24})$$

$$\tilde{\Omega}_{ij} = \Omega_{ij} - 2\varepsilon_{ijk}\omega_k$$

$$\Omega_{ij} = \overline{\Omega_{ij}} - \varepsilon_{ijk}\omega_k \text{ 'dir.}$$

Burada $\overline{\Omega_{ij}}$, açısal hızı ω_k ile hareketli bir referans çerçevede görüntülenen ortalama rotasyon hızı tensörü, A_a ve A_s aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi model sabitleridir.

$$A_a = 4.04, A_s = \sqrt{6} \cos \varphi \quad (\text{Eşitlik 25})$$

Burada;

$$\varphi = \frac{1}{3} \cos^{-1}(\sqrt{6}W), W = \frac{S_{ij}S_{jk}S_{ki}}{\tilde{S}^3}, \tilde{S} = \sqrt{S_{ij}S_{ij}}, S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (\text{Eşitlik 26})$$

C_2 , σ_k ve σ_ε model sabitleri, modelin spesifik kanonik akışlar için doğru olmasını sağlamak için kullanıldı. Model sabitleri aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

$$C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.9, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.2 \text{ 'dir.} \quad (\text{Eşitlik 27})$$

2.1.4.4. Kesme-Gerilme Taşınım k-w Modeli

Yakın duvar çözünürlüğü rafine edildikçe sınır tabakası davranışının daha doğru çözünürlüğünü sağlayan bir modeldir. Bu model serbest akışlar özellikle de olumsuz basınç gradyanları için kullanışlıdır. Çoğu endüstriyel akış için uygundur ve varsayılan model olarak kullanılır. Yakın duvar ağının çözünürlüğünün kaba olduğu yerlerde SST k-w modeli sınır katmanının tamamen geliştirildiğini varsayar (ANSYS Help, 2013).

2.1.4.5. Temel k-w Modeli

Makul bir doğruluk ve sağlamlık sunan ve genellikle ayrılık tahmini üzerinde tutucu olan genel bir endüstriyel modeldir (ANSYS Help, 2013).

Menter, (1994), tarafından, bitişik duvar bölgesindeki k-w modelinin sağlam ve hassas ifadesini, k-w modelini dönüştürerek uzak alandaki k-w modelinin serbest akım bağımlılığı ile etkili bir şekilde karıştırmak için sunulmuştur (Menter, 1994).

2.1.4.6. Spalart Allmaras Modeli

Aerodinamik/havacılık uygulamaları için tasarlanmış hesaplama açısından etkili bir denklem modelidir. Kinematik girdap viskozitesi için modellenmiş bir taşıma denklemini çözen tek denklemlidir (URL-4, 2022).

2.1.4.7. Reynolds Gerilme Denklemi Modeli

Bu model, Reynolds gerilme tensörünün tüm bileşenleri ve yayılma oranının taşıma denklemlerine dayanmaktadır. Bu model girdap viskozite hipotezini kullanmaz, ancak Reynolds gerilmelerinin sıvıya taşınması için bir denklem çözer. Reynolds gerilme denklemi modeli taşıma denklemleri, ayrı gerilme bileşenleri için çözülmüştür.

Cebirsel Reynolds gerilme modeli, Reynolds gerilmeleri için cebirsel denklemleri çözerken, diferansiyel Reynolds gerilme modeli her Reynolds gerilme bileşeni için farklı taşıma denklemlerini ayrı ayrı çözer (ANSYS Help, 2013).

2.2. Çalışma Alanı, Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi

Gümüşhane ili Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer almaktadır. Yüzölçümü 6575 km²'dir. 2022 yılı itibarıyla Gümüşhane Merkez ilçesinin nüfusu 54108'dir.

Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi evsel atık suyun arıtılması amacıyla ilk kademe hedef yılı 2023, ikinci kademe hedef yılı ise 2043 olmak üzere iki kademeli olarak tasarlanmıştır (Şekil 13). 1. kademe tasarım debisi 6750 m³/gün, eşdeğer nüfus 36650 kişidir. 2. kademe tasarım debisi 10.200 m³/gün, eşdeğer nüfus ise 51220 kişidir. Atık su arıtma tesisinin kapasitesi 10200 m³/gündür. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi aşağıdaki yapı elemanlarından oluşmaktadır:

- Yükleme Havuzu
- Yaklaşım Kanalı
- Kaba Izgara
- İnce Izgara
- Havalandırılmalı Kum Tutucu
- Anaerobik Havuz
- Oksidasyon Havuzu

- Çökeltim Havuzu



Şekil 13. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi

Şekil 14’te tesisin girişinde konumlandırılan yükleme havuzu, yaklaşım kanalı ve ızgaralar gösterilmektedir.



Şekil 14. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi yükleme havuzu, yaklaşım kanalı ve ızgaralar

Çalışmaya konu olarak seçilen Gümüşhane Fiziksel Atık Su Arıtma Tesisi'ndeki kaba ızgara ünitesi mekanik temizlemeli (pistonlu tırmık) çubuk ızgaradır (Şekil 15).



Şekil 15. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi ızgaraları

Mevcut tesisteki kaba ızgaralar, atık sudaki askıda ve yüzebilen maddeleri uzaklaştırabilmek için belirli kriterlere göre tasarlanmıştır. Tesiste kullanılan ızgaralar için yaklaşım kanalı, ızgarada eşit bir hız dağılımı sağlamak üzere, belli bir uzunlukta olmalı, yaklaşma hızı da kum çökmesini önlemek amacıyla belli bir değerde olmalıdır. Tablo 4'te Gümüşhane Fiziksel Atık Su Arıtma Tesisi'ne ait bilgiler verilmiştir.

Tablo 4. Tesise ait bilgiler

Parametreler	Birim	Değerler
Debi	m ³ /gün	4891
Yaklaşım kanalı genişliği	cm	143
Kanalın eğimi	m/m	0.001
Izgara çubukları arası serbest açıklık	cm	4
Izgara çubuk boyutu	cm	1*100
Izgara çubuk sayısı	adet	27
Izgara çubuklarının yatayla açısı	°	72

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi'nin fiziksel arıtımını gerçekleştiren ızgaralar, yaklaşım kanalı ve yükleme havuzu elemanlarının proje verileri, analitik hesaplamalar ve yapılan saha ölçümleri yardımıyla katı modelleri oluşturularak ve farklı türbülans modelleri kullanılarak ANSYS Fluent programı yardımıyla HAD analizleri yapılmış ve tesisin hidrolik ve hidrodinamik açıdan zayıf yönleri ortaya konmuştur. Ayrıca tesiste deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve bu çalışmalar sonucunda elde edilen hız değerleri ile analiz sonuçları karşılaştırılarak modelin doğrulaması yapılmıştır.

Tesisin zayıf yönlerinin iyileştirilmesi için analitik hesaplamalar yapılarak farklı geometriye sahip yeni ve özgün bir yaklaşım kanalı-ızgara modeli oluşturulmuştur ve bu model Yeni Model olarak sunulmuştur. Yeni Model'e ait HAD analizleri yapılarak modelin hidrolik ve hidrodinamik açıdan uygunluğu değerlendirilmiştir.

3.1. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi Yükleme Havuzu, Yaklaşım Kanalı ve Izgara Modeli

Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi yaklaşım kanalı ve ızgara modeline ait gerçekleştirilen çalışmalar analitik, sayısal ve deneysel çalışmalar olmak üzere üç aşamada tamamlanmıştır. Analitik çalışmalar gerçekleştirilirken tesise ait boyut ve yapısal özellikler, atık suyun günlük debisi gibi sayısal değerler kullanılarak tesise ait bazı hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalar da dikkate alınarak sayısal çalışmalar aşamasında HAD analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar aşamasında gerçekleştirdiğimiz sayısal analizleri doğrulamak için tesise ait bazı noktalarda ADV cihazıyla hız ölçümleri alınmış ve bu değerler ilgili tabloda sunulmuştur. Sayısal çalışmaların doğrulanması başlığında ise gerçekleştirilen sayısal çalışmalar ve deneysel çalışmalarda elde edilen hız verileri karşılaştırılarak doğrulama gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Analitik Çalışmalar

Tesisten alınan günlük debi değerine göre giriş hızı Eşitlik 28 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$Q = V.A$$

(Eşitlik 28)

Bu eşitlikte:

Q = Akım debisi, m^3/s

V = Akışkan hızı, m/s

A = Kesit alanı, m^2 olarak ifade edilmektedir.

$$Q = 4891m^3 / gün = 0.0566m^3 / sn$$

$$0.0566m^3 / sn = V \frac{\pi 0.60^2}{4}$$

$$V = 0.2m / sn$$

Kanal akımındaki hidrolik yarıçap formülü Eşitlik 29’da verilmiştir.

$$R = \frac{bh}{2h + b}$$

(Eşitlik 29)

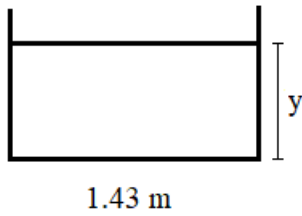
Bu eşitlikte:

R : Hidrolik yarıçap, m

b : Kanalın genişliği, m

h : Su yüksekliği, m olarak ifade edilmektedir.

Yaklaşım kanalındaki hız değeri mevcut tesis için iki ayrı denklem olacak şekilde Şekil 16’da verilen kanal boyutları kullanılarak Eşitlik 28 ve Eşitlik 30 yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.



Şekil 16. Yaklaşım kanalına ait boyutlar

$$0.0566m^3 / sn = V.1.43y$$

$$V = \frac{0.0566}{1.43y} m / sn$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2} \quad (\text{Eşitlik 30})$$

$$V = \frac{1}{0.013} \left(\frac{1.43y}{1.43 + 2y} \right)^{2/3} (0.001)^{1/2} \text{ m/s}$$

Bulduğumuz hız değerlerini eşitleyerek su yüksekliği (y)'ni elde ederiz.

$$\frac{0.0566}{1.43y} = \frac{1}{0.013} \left(\frac{1.43y}{1.43 + 2y} \right)^{2/3} (0.001)^{1/2}$$

$$y = 0.0885 \text{ m}$$

Eşitlik 29'dan yararlanarak hidrolik yarıçap değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$R = \frac{bh}{2h + b} = \frac{1.43 \times 0.0885}{1.43 + 2 \times 0.0885} = 0.0395 \text{ m' dir.}$$

Elde edilen y değerini hız formülünde yerine koyarak yaklaşım kanalındaki hız değerini elde ederiz.

$$V = \frac{0.0566}{1.43 \times 0.0885}$$

$$V = 0.4472 \text{ m / sn}$$

Akım rejimini belirlemek için bilinmesi gereken Reynold sayısı (Re) Eşitlik 31 ile elde edilir.

$$Re = \frac{VR_h}{\nu} \quad (\text{Eşitlik 31})$$

Bu eşitlikte:

V: Akışkan hızı, m/s

R_h: Hidrolik yarıçap, m

ν : Akışkanın kinematik viskozitesi, m²/sn olarak ifade edilmektedir.

Buna göre akım hızı v=0.4472 m/s, hidrolik yarıçap R=0.1563 m, kinematik viskozite ν =1.0048x10⁻⁶ m²/sn olmak üzere mevcut tesisteki akım için Reynold sayısı;

$$Re = \frac{0.4472 \times 0.0395}{1.0048 \times 10^{-6}} = 17580 > 20000 \text{ ve akım türbülanslıdır.}$$

Mevcut tesis için ızgaralarda meydana gelen yük kayıpları Eşitlik 3'ten yararlanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanarak Tablo 2'de verilen ızgara tasarım kriterlerinde yer alan müsaade edilen yük kaybı değerinin altında olduğu görülmüştür.

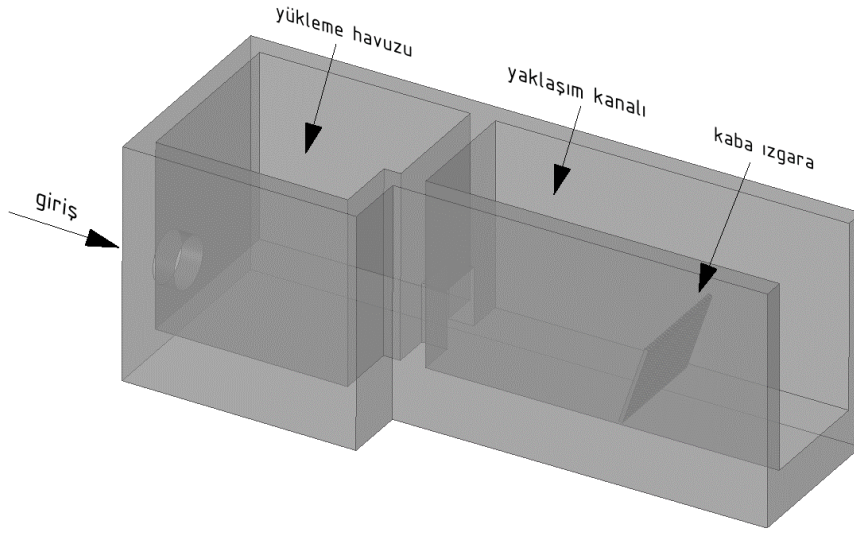
$$h'_k = 0.5 \cdot \frac{1^2}{2 \times 9.81} + \frac{1^2 - 0.4472^2}{2 \times 9.81} = 0.0664 \text{ m}$$

3.1.2. Sayısal Çalışmalar

Sayısal (Nümerik) yöntemler karmaşık ve analitik olarak çözümü zor olan problemlerin bilgisayarlar yardımıyla çözülmesini sağlayan tekniklerdir. Sayısal çalışmaları gerçekleştirmek için ANSYS Workbench (ANSYS Workbench, 2013) paket programından faydalanılmıştır. Tam ölçekli tesiste yapılan ölçümler ile geometrik özellikleri bilinen tesis ANSYS Workbench'te modellenmiş ve ardından analitik çalışmalar başlığında hesaplanan değerler doğrultusunda mevcut işletme koşullarında analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler gerçekleştirilirken Fluent (ANSYS Fluent, 2013) yazılımı kullanılmıştır.

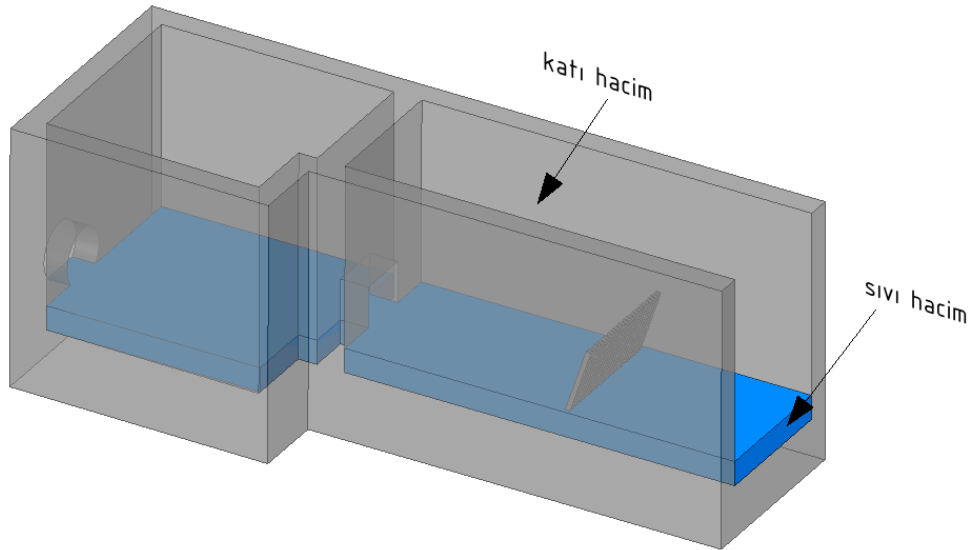
3.1.2.1. Model Geometrisinin Oluşturulması

Analizi yapılacak olan tam ölçekli tesisin katı modelini tesiste bulunan yükleme havuzu, yaklaşım kanalı ve ızgaralara ait boyut ve diğer yapısal özellikler kullanılarak modellenmiştir. Katı modeli oluşturmak için ANSYS Workbench ara yüzüne bütünleşik olan üç boyutlu geometri hazırlama programı SpaceClaim kullanılmıştır. Gerçek ölçüler kullanılarak hazırlanan modelde 1 adet yükleme havuzu, 1 adet yaklaşım kanalı ve 1 adet kaba ızgara mevcuttur (Şekil 17).



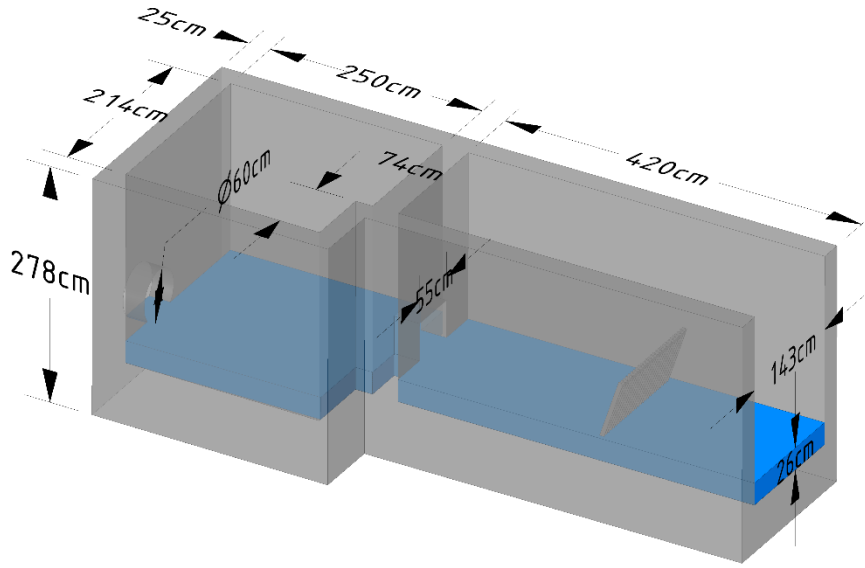
Şekil 17. Modelin kısımları

Izgara, yaklaşım kanalı ve yükleme havuzu katı (solid) olarak, atık su ise sıvı (fluid) olarak modellenmiştir (Şekil 18).



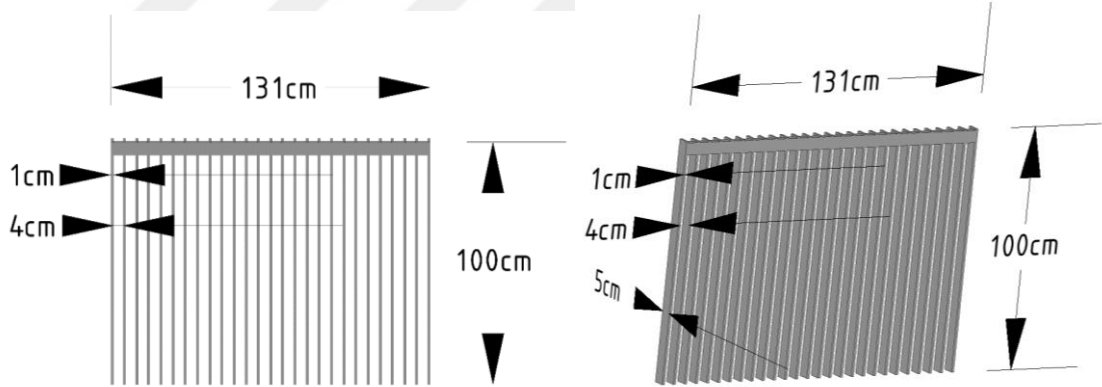
Şekil 18. Tesiste yer alan katı ve sıvı hacimler

Şekil 19’da modelin perspektif görünüşü verilmiştir. Burada yükleme havuzunun uzunluğu 250 cm, genişliği 214 cm’dir. Yaklaşım kanalının uzunluğu 420 cm, genişliği 143 cm’dir. Atık suyun yükleme havuzundan yaklaşım kanalına geçtiği açıklığın genişliği 55 cm’dir.



Şekil 19. Modelin boyutları

Izgaralara ait çubukların uzunluğu 100 cm, genişliği 1 cm, derinliği 5 cm’dir. Her bir ızgara çubuğu arasındaki serbest açıklık 4 cm olup kaba ızgaranın toplam genişliği 131 cm’dir (Şekil 20).



Şekil 20. Kaba ızgaranın boyutları

3.1.2.2. Model Sonlu Eleman Ağıının Oluşturulması

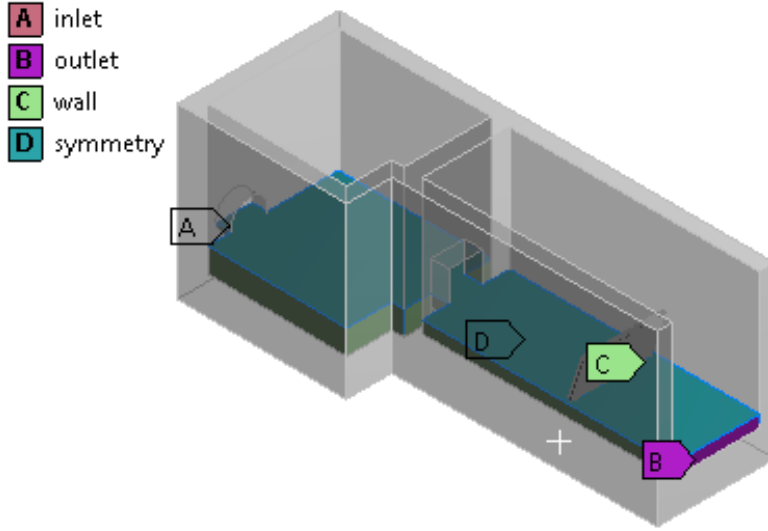
Modelin sonlu eleman ağı ANSYS Workbench’teki “Ansys Meshing” programı kullanılarak oluşturulmuştur. Sonlu eleman ağı oluşturma aşamasında “Create Named Selection” komutu ile daha sonra analiz aşamasında kullanılacak

A: Atık su girişinin olduğu yüzey giriş (inlet),

B: Atık su çıkışının olduğu yüzey çıkış (outlet),

C: Kenar yüzeylere de duvar (wall),

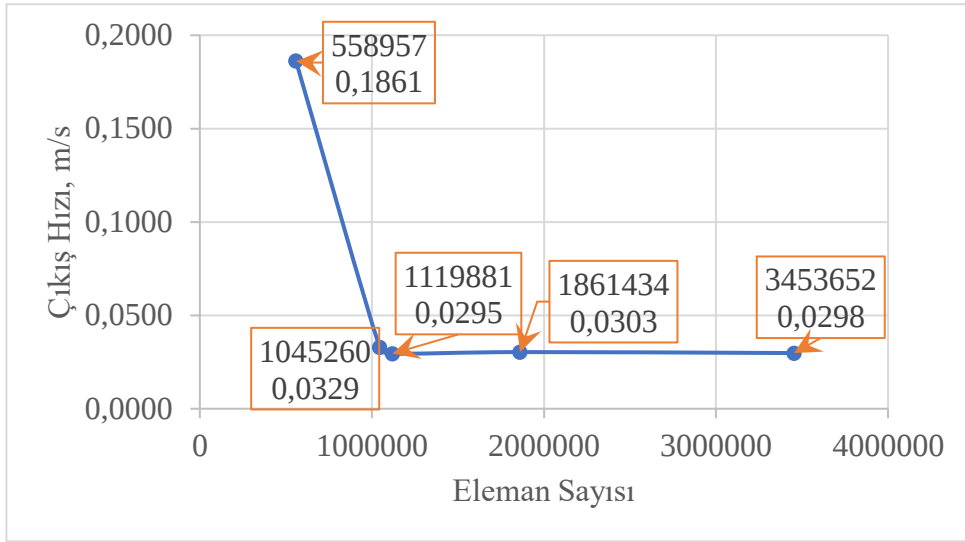
D: Atık su yüzeyine simetri (symmetry) olacak şekilde, isim atamaları yapılmıştır (Şekil 21).



Şekil 21. Modelin isim atamaları

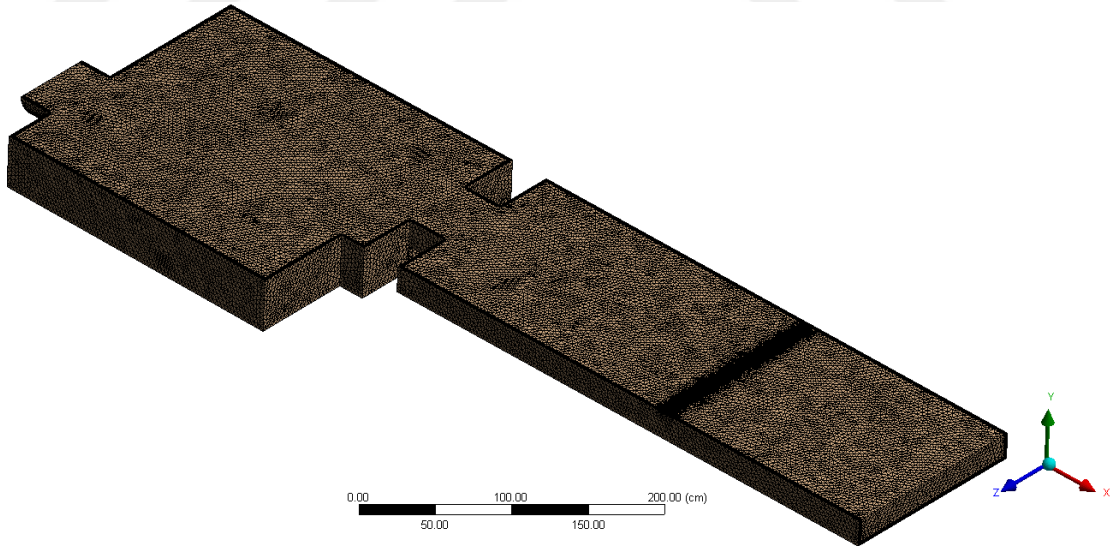
Modelin katı-sıvı temas bölgeleri olan duvarlar kaymayan duvar (no slip) sınır şartı tanımlanmış olup bu bölgelerde hız sıfır olacaktır.

Ağ yapısı oluşturulurken sayısal çalışmaların zaman alıcı ve maliyet artırıcı etkilerinin azaltılmasında kullanılan yöntemlerden biri olan çözüm ağından bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Sayısal çözümleme yapılırken, modelin sınır koşulları ve türbülans modeli gibi özellikleri sabit tutulup ağ sayısının kademeli olarak artırılmasına rağmen analiz sonucu belli bir değerden sonra değişmiyorsa, çözümlemeye ağdan bağımsızlık gerçekleşmiş olur. Bu noktada amaç kullanılan bilgisayar alt yapısının çözebileceği büyüklükteki çözüm ağı için hata oranı en düşük hücre sayısına ulaşmaktır. Şekil 22’de görüldüğü gibi, bu çalışmada farklı eleman sayıları için ağdan bağımsızlık testleri yapılmıştır.



Şekil 22. Modelin çözüm ağından bağımsızlık çalışması

Mesh aşamasında üçgen piramit (tetrahedron) eleman yapısı kullanılmış olup, analiz sonuçlarının hücre değişimine tepki vermediği eleman sayılarına ait eleman boyutları gövde için 3 cm olarak belirlenmiştir. Sonlu eleman ağ yapısı oluşturulduktan sonra minimum eleman boyutu 0.3 cm, maksimum eleman boyutu 37 cm olduğu görülmüştür. Modelin sonlu eleman ağı mesh kalite kriterleri dikkate alınarak 315746 adet düğüm noktası ve 1233816 adet elemandan oluşturulmuştur (Şekil 23).



Şekil 23. Modelin sonlu eleman ağ yapısı

Modelin duvar yakınlardaki sınır tabaka bölgesindeki akışın daha ayrıntılı çözülebilmesi için girilmesi gereken ilk hücre yüksekliğinin hesaplanması için gerekli olan değerler ve türbülans modeline uygun olarak seçilen y^+ değeri Tablo 5'te gösterilmiştir. Bu çalışmada, analiz gerçekleştirilirken k- ϵ türbülans modelinin sınır

tabakada logaritmik çözüm yapan “Standart Wall Function” metodu kullanılacağından dolayı, Şekil 7’de verilen grafikteki logaritmik bölgede bulunan y^+ değeri için 87 seçilmiş olup, çeşitli akış özellikleri de dikkate alınarak ilk hücre uzunluğu Eşitlik 32 yardımıyla Tablo 5’teki gibi hesaplanmıştır.

$$y^+ = \frac{yu_T}{\nu} \quad (\text{Eşitlik 32})$$

Bu eşitlikte:

u_T : Yaklaşım hızı, m/s

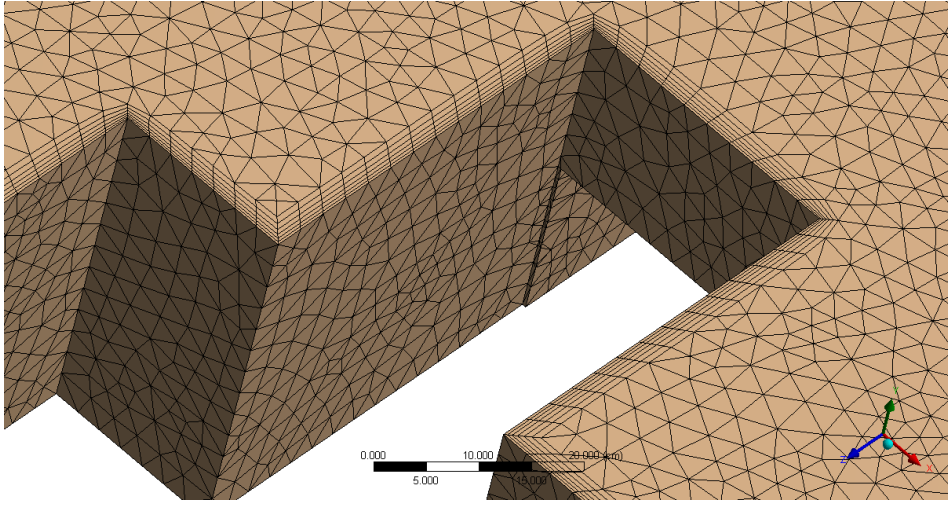
y : İlk hücre yüksekliği, m

ν : Kinematik viskozite, m^2/sn olarak ifade edilmektedir.

Tablo 5. Sınır tabaka hücre bilgileri

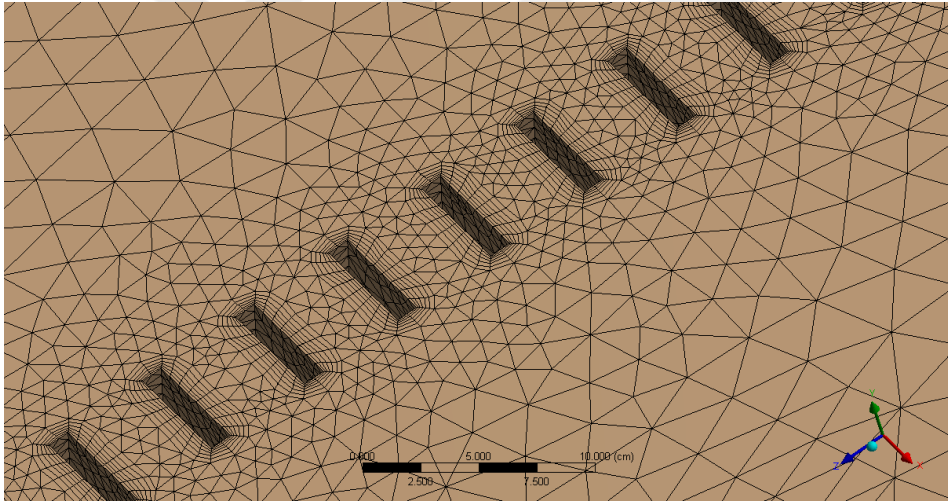
Y ⁺ İlk Hücre Uzunluğu Tahmini		
<u>Girdiler</u>		
Yaklaşım hızı	0.4472	[m/s]
Yoğunluk	998.2	[kg/m ³]
Dinamik viskozite	0.001003	[kg/ms]
Hidrolik yarıçap	0.0395	[m]
İstenen y^+ değeri	87	[]
<u>Çıktılar</u>		
Reynolds sayısı	17580	[]
Tahmin edilen ilk hücre yüksekliği	0.003	[m]

Şekil 24 ve Şekil 25’te görüldüğü gibi, hücre sayısını akışın daha az değişken olduğu bölgelerde azaltıp, daha kritik bölgelerde yoğunlaştırarak bilgisayar alt yapısının çözebileceği maksimum hücre sayısının daha verimli bir şekilde kullanılması amaçlanmıştır. Hesaplanan ilk hücre uzunluğu kullanılarak duvar yakınlığında oluşturulan sıkılaştırılmış ağ yapısına enflasyon (inflation) tabakası denir (Şekil 24).



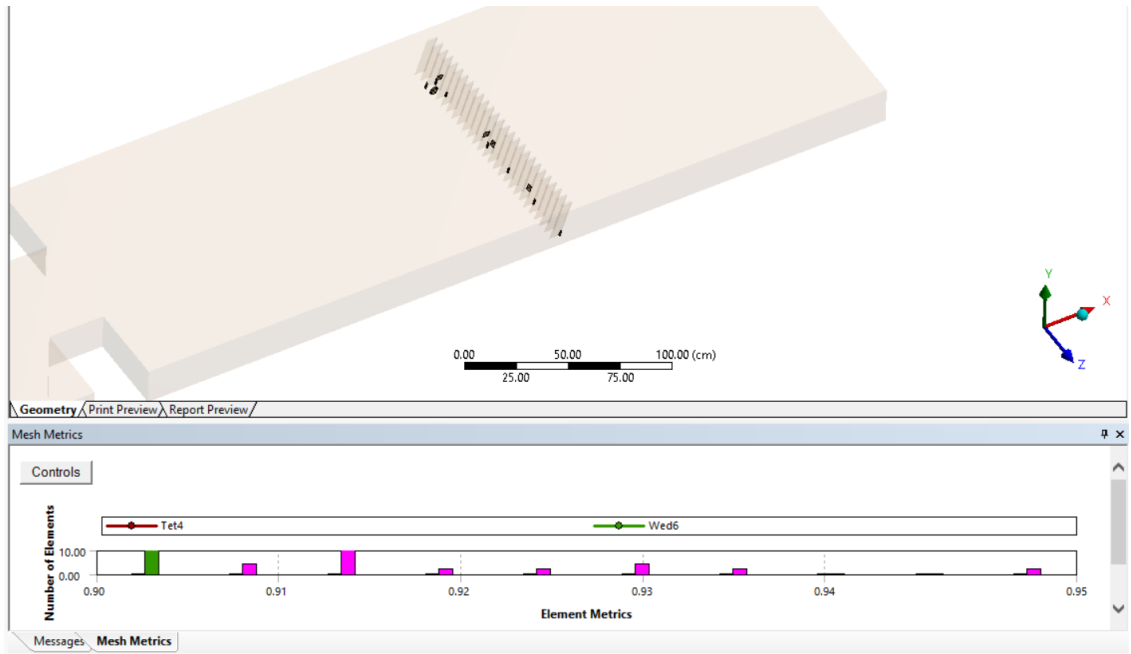
Şekil 24. Modelin yakın duvar yaklaşımları için oluşturulan sonlu eleman ağ yapısı

Izgara çubukları arasında kesit daralacağından süreklilik denklemi gereği atık su hızı artacaktır. Buradan hareketle hız değişkenliğinin daha iyi gözlemlenebilmesi için ızgara çubukları arasında da yoğunlaştırılmış ağ yapısı kullanılmıştır (Şekil 25).



Şekil 25. Izgara çubukları arasında oluşturulan yoğunlaştırılmış ağ yapısı

Oluşturulan sonlu eleman ağına ait kalite kriterlerinden ortalama skewness değeri 0.23 olarak tespit edilmiş olup maksimum skewness değerleri Şekil 26’da verilmiştir. Şekle göre maksimum skewness değeri 0.90’ın üzerinde olan 28 eleman olduğu ve bu elemanların ızgara çubukları etrafında konumlandığı görülmektedir. Bu da oluşturulan ağ yapısında bulunan diğer tüm elemanların kalite kriteri açısından istenilen kalite değerini sağladığını göstermektedir. Verilen grafikte skewness değeri 0.90’ın üzerinde olduğunu gördüğümüz elemanlardan kalite standartları açısından kabul edilemez aralık olan 0.98-1.00 aralığında eleman bulunmadığı görülmektedir.

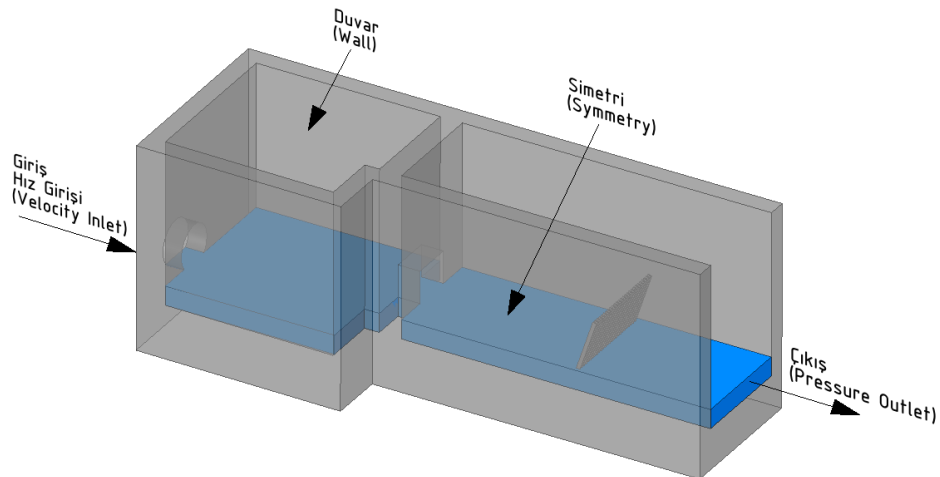


Şekil 26. Sonlu eleman ağına ait skewness kalite değeri

3.1.2.3. Modelin HAD Analizi

Modelin HAD analizi ANSYS Fluent yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 3 boyutlu, kararlı, sıkıştırılamaz akım kabulü ile, Standart, Gerçekleşebilir (Realizable) ve RNG k- ϵ olmak üzere 3 farklı türbülans modeli kullanılarak yaklaşım kanalı ve yükleme havuzunda akış alanı hesaplamaları yapılmıştır. Analiz Intel ® Core™i7-10750H CPU @2.60 GHz 5.0 GHz işlemcili, 16 GB RAM ve 64 bit işletim sistemli bilgisayarda, yaklaşık 4 saatte tamamlanmıştır.

Sınır şartları için atık suyun giriş noktasında hız girişi (velocity inlet), çıkış noktasında basınç çıkışı (pressure outlet) ve su yüzeyinde simetri (symmetry) sınır şartları seçilmiştir (Şekil 27).

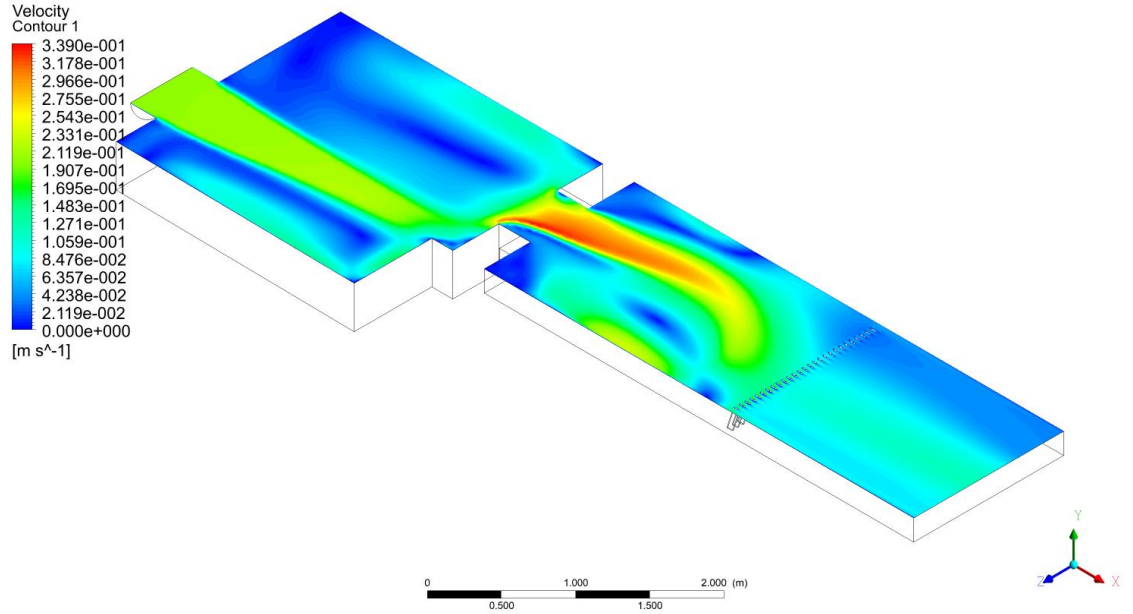


Şekil 27. Modelin sınır şartları

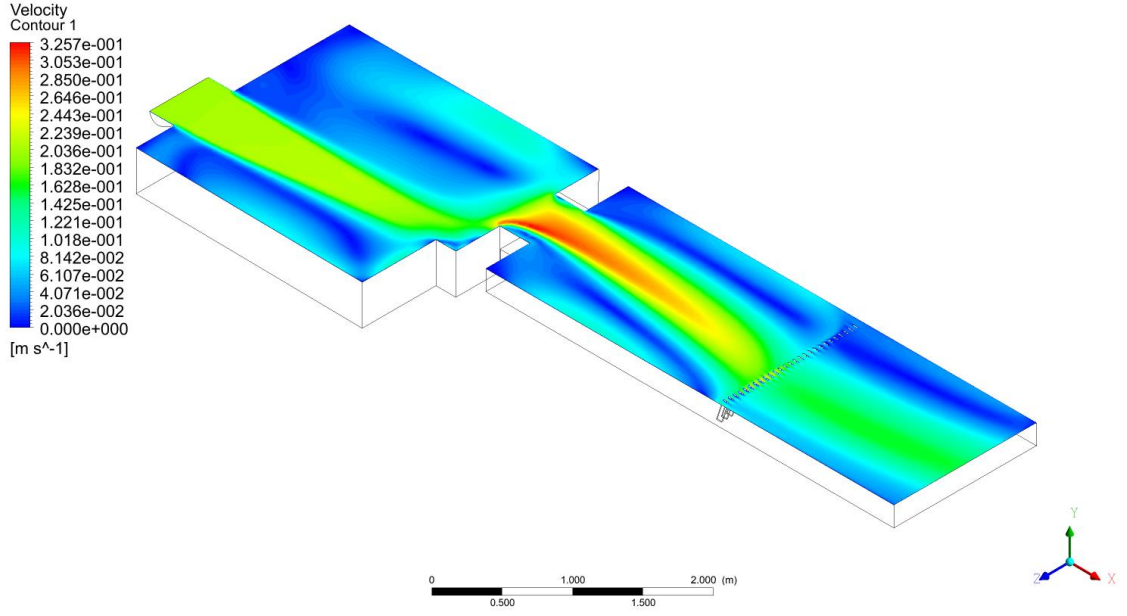
Analiz sonuçları “CFD post processing” adımıyla görselleştirilmiştir. Bu analiz sonucunda atık suyun girişinden itibaren yükleme havuzu ve yaklaşım kanalı boyunca sahip olduğu hız dağılımları Standart k-ε (Şekil 28), Gerçekleşebilir (Realizable) k-ε (Şekil 29) ve RNG k-ε türbülans modelleri (Şekil 30) için alansal olarak gösterilmiştir. Şekillere göre Standart k-ε türbülans modeliyle yapılan analizde maksimum hız 0.339, RNG k-ε modelinde maksimum hızın 0.399 m/s, Gerçekleşebilir (Realizable) k-ε modelinde ise 0.326 m/s olduğu görülmektedir.

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, hız alanlarının homojen olmadığı açıkça görülmektedir.

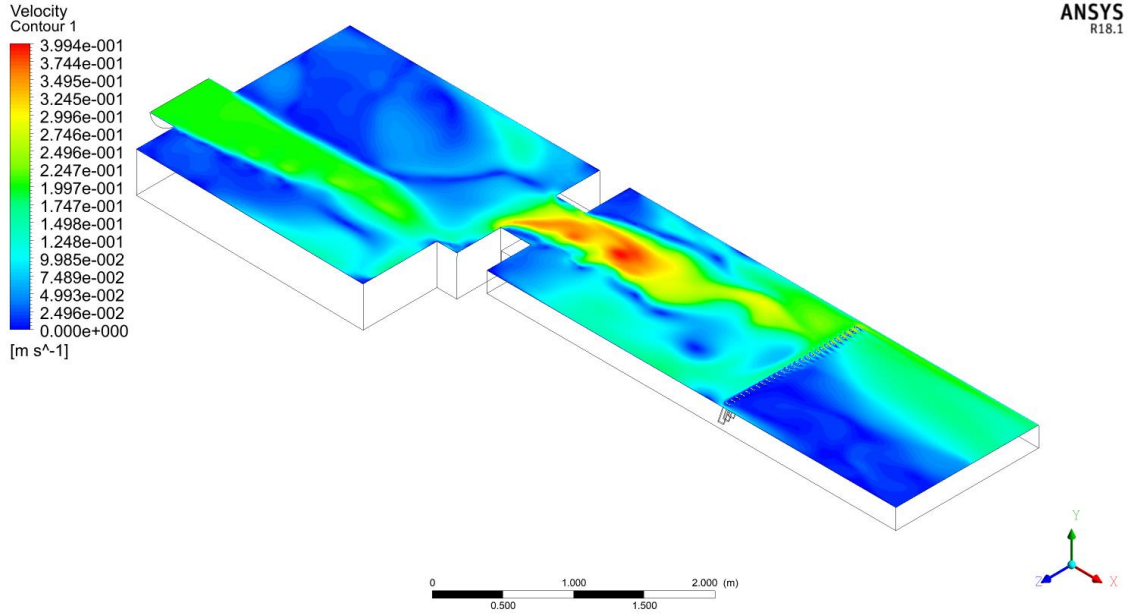
Bir fiziksel atık su arıtım tesisinde çökelmenin yaşanmaması için yaklaşım kanalı ve ızgara çubuk aralıklarındaki su hızının tasarım kriteri olan 0.6 m/s'nin altına düşmemesi gerektiğinden sunulan şekillerdeki analiz sonuçları değerlendirildiğinde yaklaşım kanalındaki hızların çok düşük olduğu ve standartları sağlamadığı görülmektedir.



Şekil 28. Standart k-ε türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonuçları

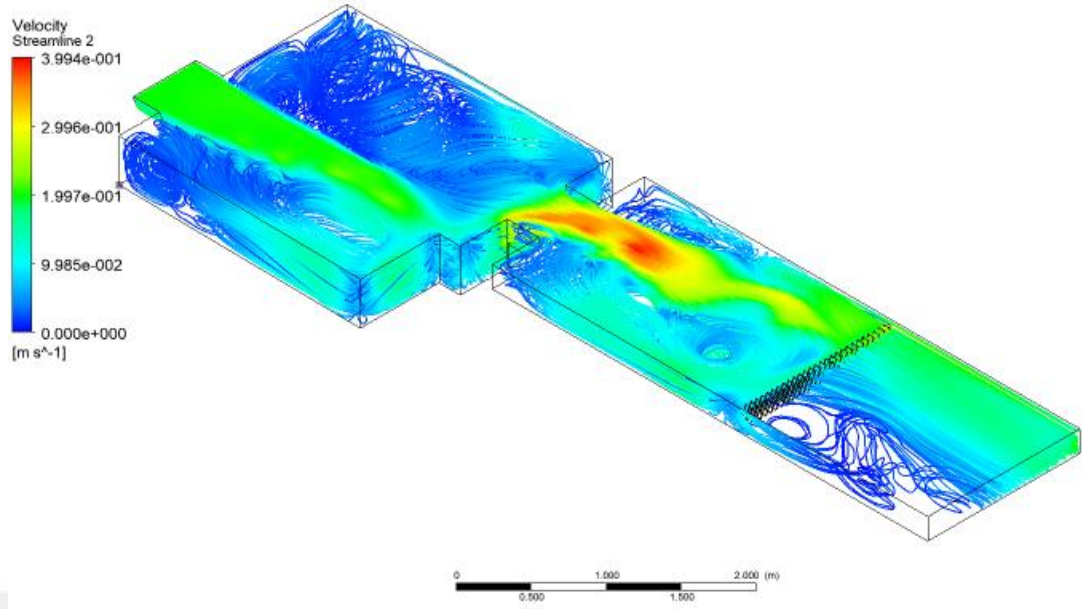


Şekil 29. Gerçekleşebilir (Realizable) k-ε türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonuçları

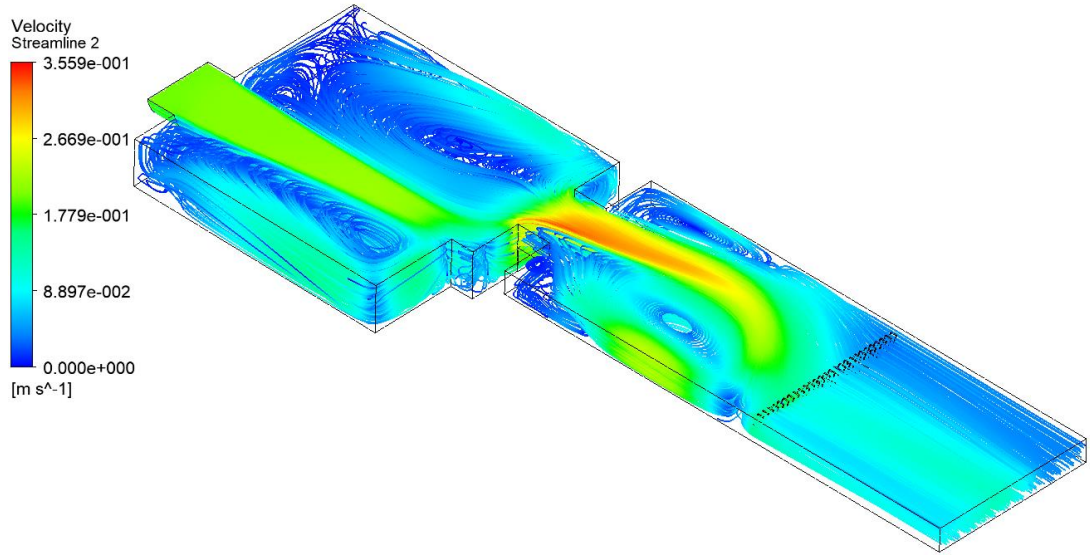


Şekil 30. RNG k-ε türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonuçları

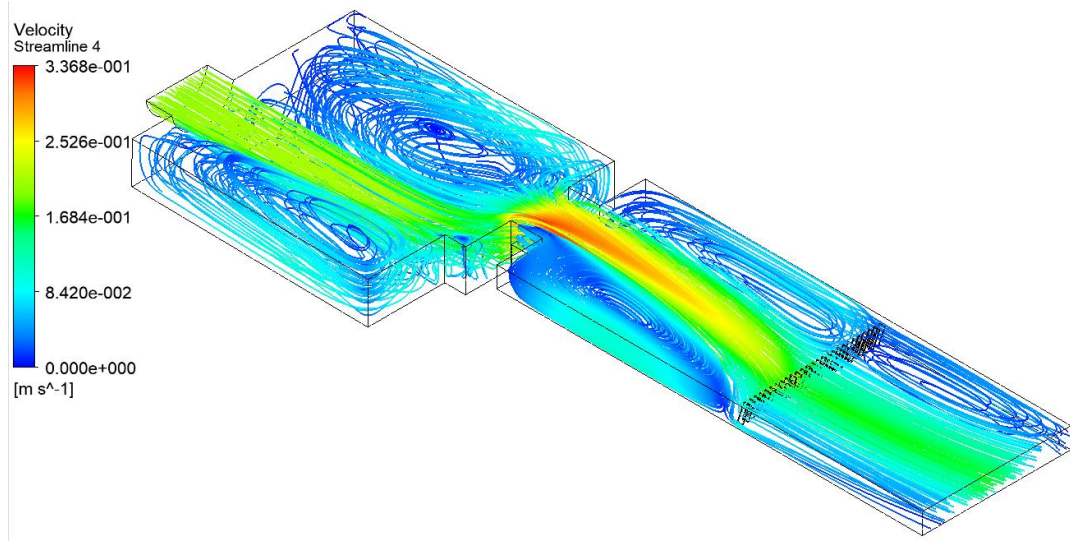
Şekil 31, Şekil 32 ve Şekil 33'te giriş noktasından itibaren su hızlarının yükleme havuzu ve yaklaşım kanalı içerisindeki dağılımının akım çizgisi şeklinde gösterimi ve akım çizgilerinin yörüngeleri gösterilmiştir. Burada atık suyun giriş borusunun önünde bulunan duvara çarpan suyun hızının azaldığı ve yaklaşım kanalına geçişte daralan kanal girişi ile birlikte atık suyun kısmen hızlandığını gözlemlenmiştir. Yaklaşım kanalı boyunca homojen yol izlemeyen atık suyun ızgaralar boyunca meydana gelen yük kayıpları sonucunda ızgaralardan sonra hızının azaldığı görülmüştür.



Şekil 31. RNG k- ϵ türbülans modeline ait akım çizgisi gösterimi

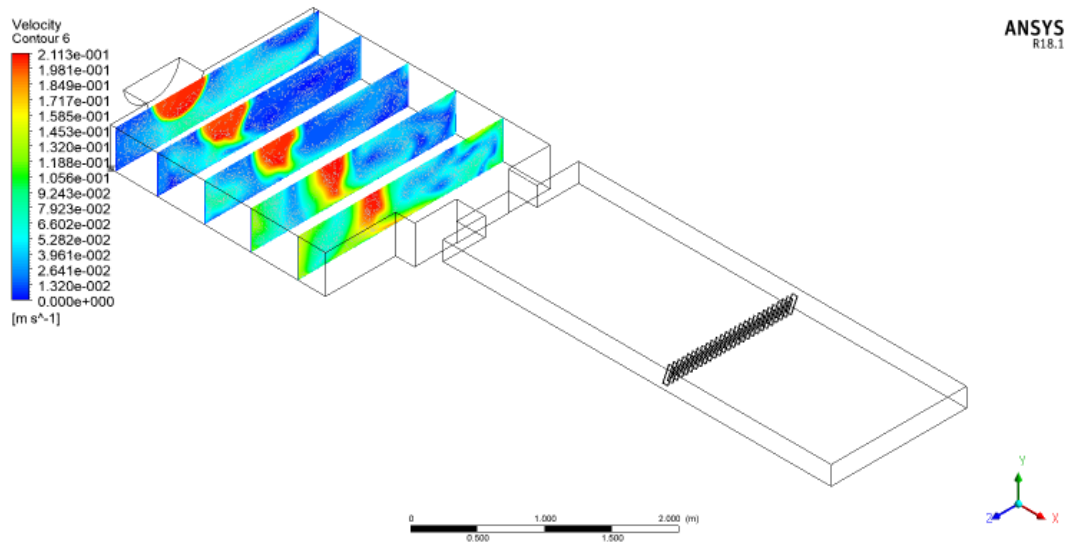


Şekil 32. Gerçekleşebilir (Realizable) k- ϵ türbülans modeline ait akım çizgisi gösterimi



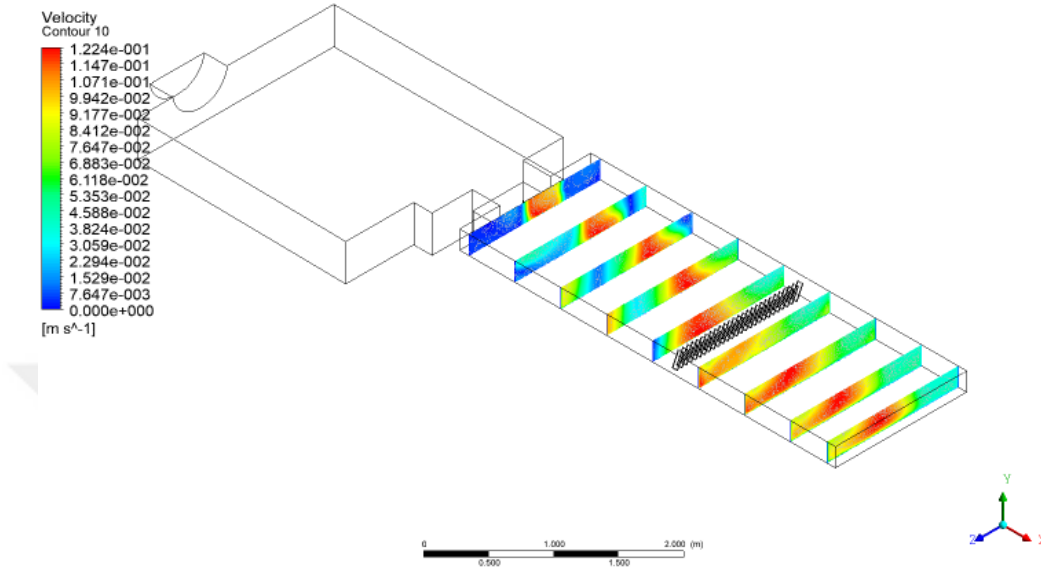
Şekil 33. Standart k-ε türbülans modeline ait akım çizgisi gösterimi

Aşağıdaki şekillerde yükleme havuzu ve yaklaşım kanalı için hızların derinlikle değişimi çeşitli noktalardan alınan kesitlerle incelenmiştir. Başlık 3.1.5'te yapılan sayısal çalışmaların doğrulaması sonucu yükleme havuzu için en iyi sonucu veren Gerçekleşebilir (Realizable) k-ε modeli ve yaklaşım kanalı için en iyi sonucu veren RNG k-ε türbülans modeline ait analiz sonuçlarının en kesitleri oluşturulmuş ve Şekil 34 ve Şekil 35'te sunulmuştur. Şekil 34'te yükleme havuzu için belirlenen kesitlerde derinlikle hız değişimi profilleri incelendiğinde yine giriş eksenine doğrultusunda hızların fazla olduğu ve bu hızların giriş noktalarından uzaklaştıkça azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda suyun çarptığı duvara yaklaştıkça duvar etrafında oluşan darbe etkisinden dolayı bu alanlarda hızın kısmen arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 34. Yükleme havuzunda derinlik-hız değişiminin en kesitler boyunca gösterimi

Şekil 35'te yaklaşım kanalı için belirlenen kesitlerde derinlikle hız değişimi profilleri incelendiğinde, daralan geçiş kanalında hızın arttığı ve bu kanalın eksenine doğrultusunda hızın daha fazla olduğu, ızgaraların su hızını kısmen azalttığı ve hız profiline homojen olmadığı görülmüştür.



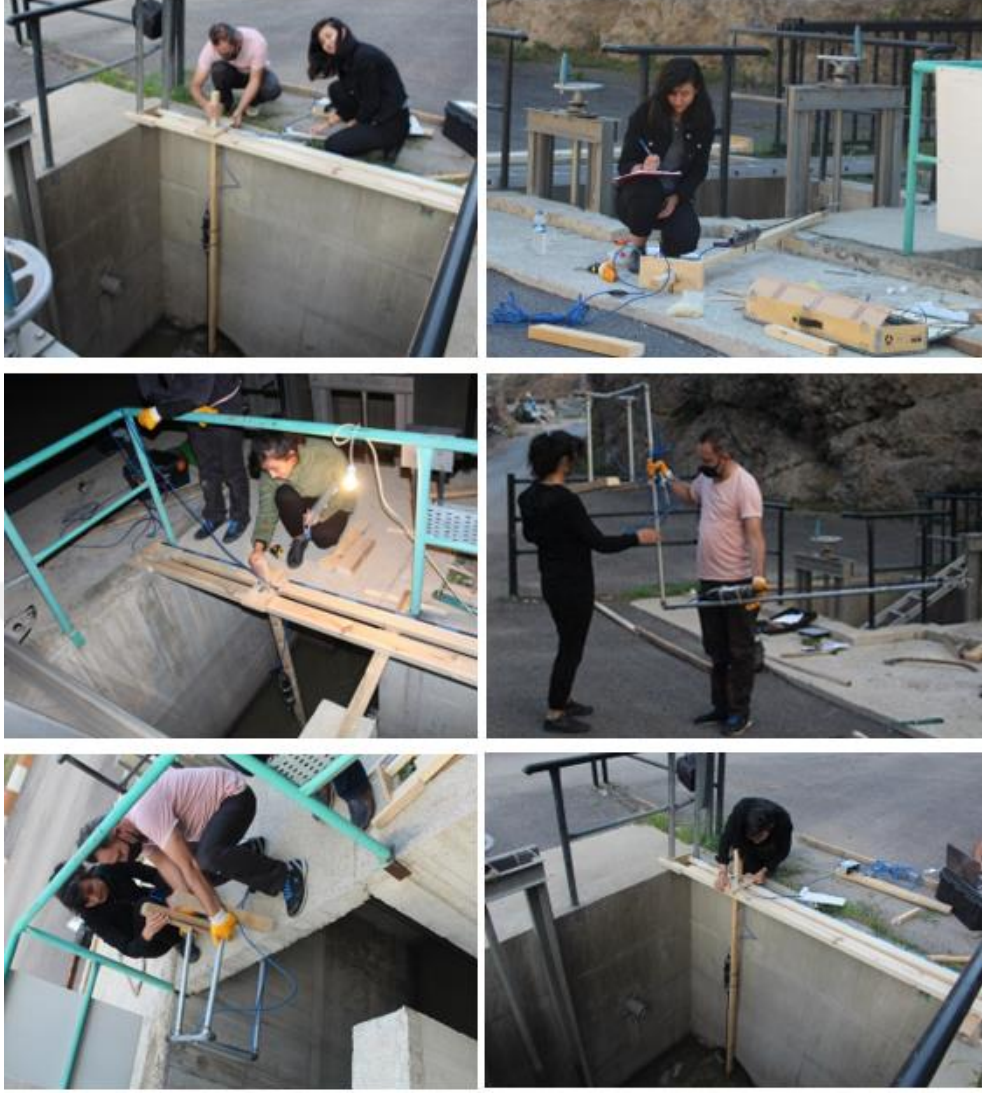
Şekil 35. Yaklaşım kanalında derinlik-hız değişiminin enkesitler boyunca gösterimi

3.1.3. Deneysel Çalışmalar

Modelin ANSYS Workbench'te oluşturulup analiz edilmesi sonrasında, elde edilen analiz sonuçlarıyla karşılaştırma yaparak model doğrulamasını gerçekleştirmek amacıyla tam ölçekli tesiste hız ölçümleri alınmıştır. Deneysel çalışmaları gerçekleştirmek amacıyla tam ölçekli tesis olan Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi'nin ızgaraları ve yaklaşım kanalının çeşitli noktalarında Acoustic Doppler Velocimeters (ADV) cihazıyla hız ölçümleri yapılmıştır (Şekil 36 ve Şekil 37).

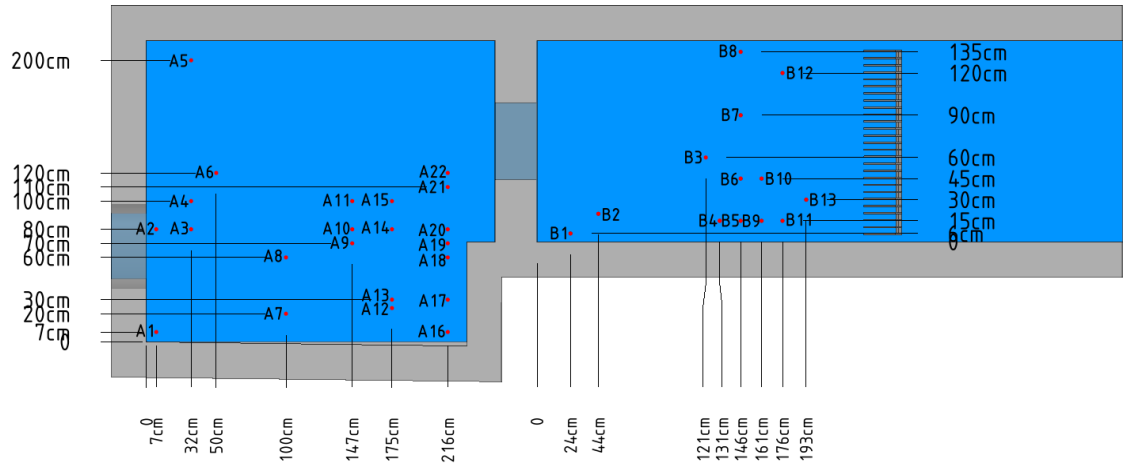


Şekil 36. ADV cihazı ile atık suda hız ölçümü



Şekil 37. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi yerinde ölçümlerinden kesitler

Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi $4891 \text{ m}^3/\text{günlük}$ debiye sahiptir. Tam ölçekli tesiste yerinde yapılan saha ölçümleri sırasında yaşanan zorluklar ve kısıtlamalardan dolayı tesiste bulunan yükleme havuzunda 22, yaklaşım kanalında 13 noktada olmak üzere toplamda mümkün olan 35 noktada ölçümler alınmıştır (Şekil 38).



Şekil 38. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi'nde ölçüm alınan noktalara ait konumlar

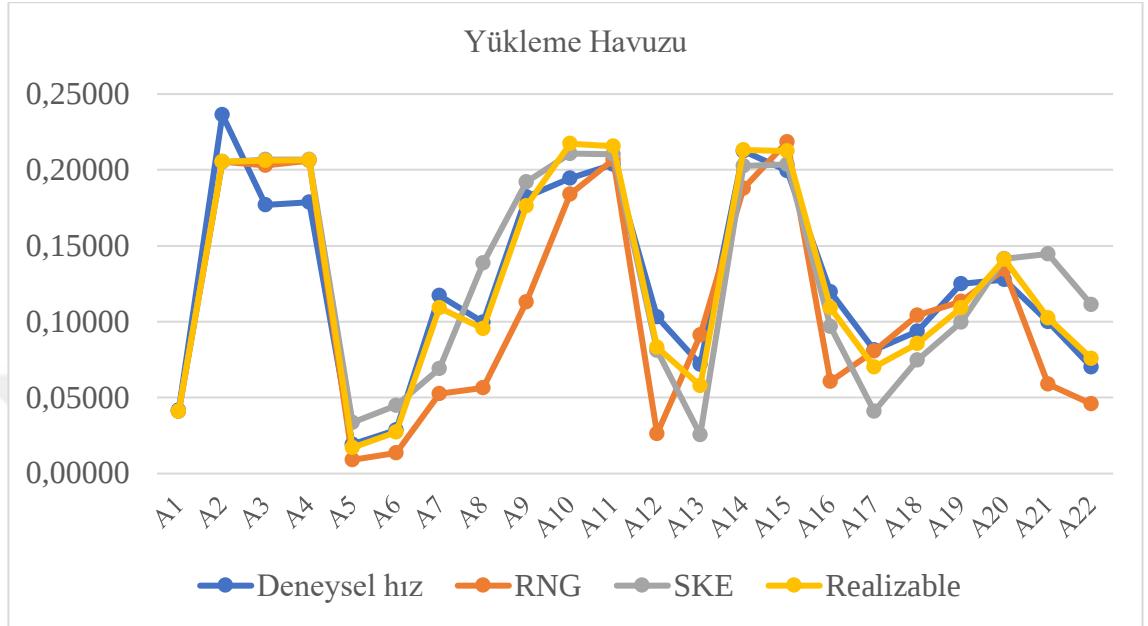
Tablo 6'da alınan ölçümler sonucunda noktalara göre elde edilen deneysel hız değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi'nde ölçüm alınan noktaların hız değerleri

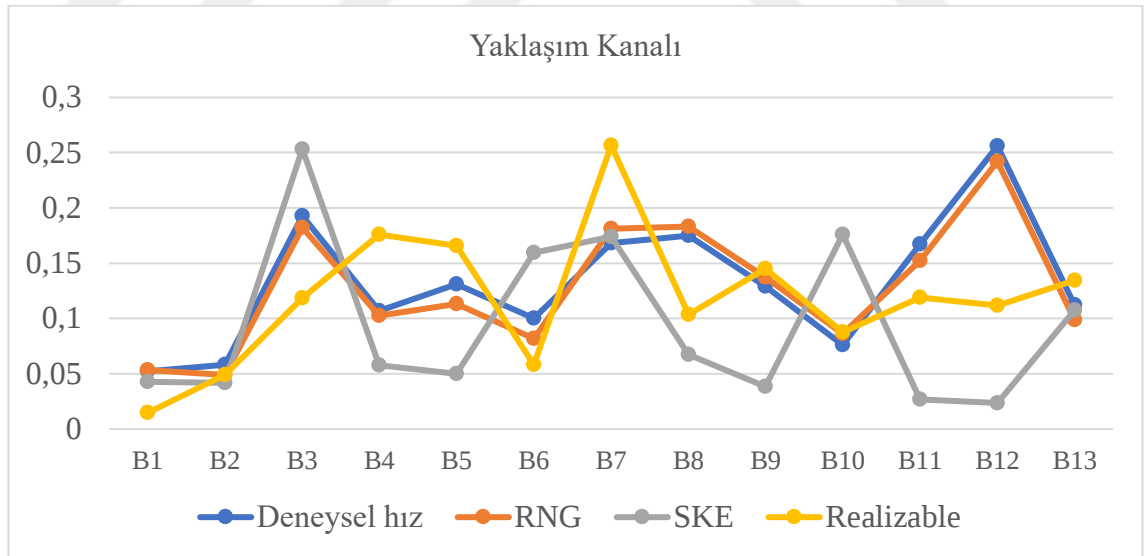
Yükleme Havuzu		Yaklaşım Kanalı	
Nokta	Deneysel Hız m/s	Nokta	Deneysel Hız m/s
A1	0.04154	B1	0.0521
A2	0.23632	B2	0.05814
A3	0.17693	B3	0.19271
A4	0.17867	B4	0.10705
A5	0.01933	B5	0.13109
A6	0.02872	B6	0.10009
A7	0.11718	B7	0.16798
A8	0.09953	B8	0.17474
A9	0.18222	B9	0.12893
A10	0.19439	B10	0.07616
A11	0.20379	B11	0.16717
A12	0.1031	B12	0.25607
A13	0.07176	B13	0.11209
A14	0.21239		
A15	0.19945		
A16	0.1197		
A17	0.08126		
A18	0.09384		
A19	0.12484		
A20	0.12771		
A21	0.1		
A22	0.07		

3.1.4. Sayısal Çalışmaların Doğrulanması

Tesiste yapılan yerinde ölçüm sonuçları ve sayısal modelin analiz sonuçlarının karşılaştırılması yükleme havuzu için Şekil 39’da, yaklaşım kanalı için Şekil 40’ta yer alan grafiklerde verilmiştir.



Şekil 39. Yükleme havuzunda deney sonuçları ile analiz sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 40. Yaklaşım kanalında deney sonuçları ile analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 39 ve Şekil 40 incelendiğinde yükleme havuzu ve yaklaşım kanalında yapılan yerinde ölçüm değerleriyle sayısal modelin analiz sonuçları birbirleriyle tutarlı çıktığı görülmüştür. Deney sonuçları ve farklı türbülans modellerine göre analiz sonuçlarının bağıl hata cinsinden karşılaştırılması Tablo 7 ve Tablo 8’de verilmiştir.

Doğrulama için Renormalizasyon Grup k- ϵ (RNG k- ϵ), Standart k- ϵ ve Gerçekleşebilir (Realizable) k- ϵ modeli olmak üzere üç türbülans modeli kullanılmıştır. Tesiste yerinde ölçümlerle elde edilen hız değerleri ile analiz sonucunda elde edilen her bir türbülans modeline ait hız değerleri karşılaştırıldığında, yükleme havuzu için %0.09313 ortalama bağıl hatayla Gerçekleşebilir (Realizable) k- ϵ türbülans modeli, yaklaşım kanalı için ise %0.09053 ortalama bağıl hatayla RNG k- ϵ türbülans modeli daha doğru sonuçlar vermiştir. HAD uygulamalarında %10'un altındaki hatalar iyi bir simülasyon olarak değerlendirilirken, %20'nin altındaki hatalar da kabul edilebilir olarak değerlendirilmektedir (ANSYS Help, 2013).

Tablo 7. Yükleme havuzunda gerçekleştirilen deney sonuçlarının analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması

Nokta	Deneysel Hız	Gerçekleşebilir (Realizable) k- ϵ		Standart k- ϵ		RNG k- ϵ	
		Hız m/s	Bağıl Hata %	Hız m/s	Bağıl Hata %	Hız m/s	Bağıl Hata %
A1	0.04154	0.041	0.0130	0.0410	0.0130	0.041	0.0130
A2	0.23632	0.2056	0.1299	0.2050	0.1325	0.2055	0.1304
A3	0.17693	0.2062	0.1654	0.2070	0.1699	0.2031	0.1479
A4	0.17867	0.2065	0.1557	0.2067	0.1568	0.2061	0.1535
A5	0.01933	0.017	0.1163	0.0337	0.7472	0.009	0.5324
A6	0.02872	0.0274	0.0459	0.0447	0.5581	0.0135	0.5292
A7	0.11718	0.1092	0.0680	0.0690	0.4106	0.0524	0.5523
A8	0.09953	0.0955	0.0396	0.1388	0.3945	0.0565	0.4323
A9	0.18222	0.1764	0.0319	0.1921	0.0542	0.1132	0.3787
A10	0.19439	0.2173	0.1178	0.2108	0.0844	0.1839	0.0539
A11	0.20379	0.2155	0.0574	0.2102	0.0314	0.2067	0.0142
A12	0.10310	0.0831	0.1939	0.0810	0.2137	0.0264	0.7438
A13	0.07176	0.0577	0.1948	0.0255	0.6439	0.0911	0.2707
A14	0.21239	0.2132	0.0038	0.2028	0.0451	0.1877	0.1162
A15	0.19945	0.2124	0.0649	0.2036	0.0208	0.2186	0.0960
A16	0.11970	0.1092	0.0877	0.0967	0.1915	0.0607	0.4927
A17	0.08126	0.0700	0.1377	0.0410	0.4948	0.0807	0.0059
A18	0.09384	0.0850	0.0862	0.0746	0.2046	0.1044	0.1125
A19	0.12484	0.1090	0.1269	0.0995	0.2025	0.1133	0.0924
A20	0.12771	0.1413	0.1064	0.1414	0.1072	0.1343	0.0516
A21	0.10000	0.1024	0.0240	0.1446	0.4460	0.0590	0.4100
A22	0.07000	0.0756	0.0808	0.1111	0.5871	0.0458	0.3455
Ortalama			0.0931		0.2686		0.258

Tablo 8. Yaklaşım kanalında gerçekleştirilen deney sonuçlarının analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması

Nokta	Deneysel Hız	Gerçekleşebilir (Realizable) k-ε		Standart k-ε		RNG k-ε	
		Hız m/s	Bağıl Hata %	Hız m/s	Bağıl Hata	Hız m/s	Bağıl Hata %
B1	0.05210	0.0145	0.7207	0.0425	0.1837	0.0531	0.0201
B2	0.05814	0.0487	0.1618	0.0418	0.2802	0.0488	0.1599
B3	0.19271	0.1184	0.3856	0.2533	0.3143	0.1822	0.0545
B4	0.10705	0.1760	0.6440	0.0576	0.4616	0.1026	0.0415
B5	0.13109	0.1656	0.2632	0.0496	0.6212	0.1130	0.1380
B6	0.10009	0.0580	0.4196	0.1597	0.5955	0.0819	0.1814
B7	0.16798	0.2566	0.5275	0.1739	0.0352	0.1812	0.0786
B8	0.17474	0.1030	0.4071	0.0674	0.6141	0.1829	0.0466
B9	0.12893	0.1451	0.1254	0.0385	0.7013	0.1372	0.0641
B10	0.07616	0.0870	0.1477	0.1759	1.3094	0.0860	0.1296
B11	0.16717	0.1187	0.2899	0.0266	0.8406	0.1522	0.0895
B12	0.25607	0.1110	0.5641	0.0234	0.9084	0.2421	0.0545
B13	0.11209	0.1343	0.1980	0.1075	0.0409	0.0988	0.1179
Ortalama			0.3734		0.5313		0.0905

3.2. Yeni Model, Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi Yaklaşım Kanalı ve İzgara Modeli

Mevcut tesisin boyutları kullanılarak oluşturulan analizlerde ve bu analizleri doğrulamak için gerçekleştirilen deneylerde tesisin yaklaşım kanalı ve ızgaralarında tasarım kriterlerinin altında hızlara sahip olduğu görülmüştür. Tasarım kriterlerinin altında hız değerlerine sahip bir ızgara tesisinde çökelmeler meydana gelebilir ve bu da ızgaraya ait olan yaklaşım kanalının tasarım amacına ulaşamaması anlamına gelmektedir. Bu noktadan hareketle, mevcut tesise ait yaklaşım kanalında tasarım kriterlerine uygun hız değerlerini sağlamak üzere yeni bir model tasarlanmıştır. Yeni Model, yaklaşım kanalındaki düşük hız değerlerini yükseltmek ve ızgara tasarım kriterlerindeki hız değerleri aralığını sağlamak amacıyla daraltılmış bir kesite, dolayısıyla daha dar yapılı bir ızgaraya sahip olacak şekilde modellenmiştir.

3.2.1. Yeni Model'e Ait Analitik Çalışmalar

Yeni Model'in boyutları oluşturulurken pürüzlülüğü ve taban eğimi aynı kalmak üzere verilen Q debisini geçirebilen en uygun kesit hesabı yapılmıştır. Aynı alana sahip kesitlerden ıslak çevresi en küçük olana en uygun kesit denir. En uygun dikdörtgen kesit Eşitlik 33'teki gibi hesaplanabilir.

$A=b.y$ ve $U=b+2y$ olmak üzere minimum ıslak çevre için;

$$U = \left(\frac{A}{y}\right) + 2y$$

$$\frac{dU}{dy} = -\frac{A}{y^2} + 2 = 0$$

$$\frac{by}{y^2} = 2$$

$$b = 2y$$

$$R = \frac{A}{U} = \frac{y}{2}$$

(Eşitlik 33)

Bu eşitlikte:

b: Dikdörtgen kesitin genişliği, m

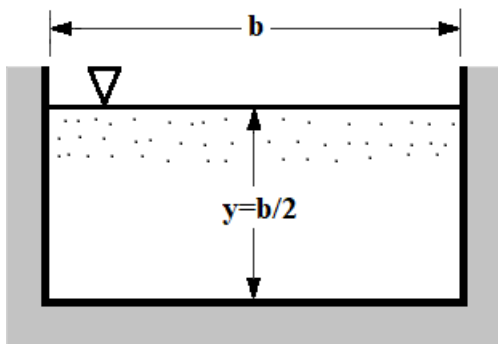
y: Su yüksekliği, m

A: Dikdörtgen kesitin alanı, m²

U: Dikdörtgen kesitin ıslak çevresi, m

R: Hidrolik yarıçap, m

Hidrolik açıdan en uygun dikdörtgen kesit Şekil 41’de gösterilmiştir.



Şekil 41. Hidrolik açıdan en uygun dikdörtgen kesit

Tesise gelen günlük debi sabit tutulmak koşuluyla, yaklaşım hızının tasarım kriterlerine uygun olması amacına dayanarak 1 m/s kabul edilmiş olup, en uygun kesit formunda yeni kanal boyutları Eşitlik 28’de verilen süreklilik denklemi yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$0.0566 \text{ m}^3 / \text{s} = 1 \text{ m} / \text{s} \cdot 2h^2$$

$$h = 0.17 \text{ m}$$

$$b = 0.34 \text{ m}$$

Hesaplanan kesit boyutlarıyla oluşturulan yaklaşım kanalının içine yerleştirilmek üzere boyutlandırılacak ızgara için Eşitlik 34'ten yararlanılmıştır.

$$B = (n' + 1).b + n'.s \quad (\text{Eşitlik 34})$$

Bu eşitlikte:

B: Izgaranın yerleştiği toplam genişlik, m

n': Çubuk sayısı

b: Izgara çubukları arası boşluk, m

s: Izgara çubuk kalınlığı, m olarak ifade edilmektedir.

$$0.34 = (n + 1)0.04 + 0.01n$$

$$n = 6$$

Yeni kesitli yaklaşım kanalına yerleştirilecek kaba ızgara 4 cm serbest açıklığa, 1 cm kalınlığa sahip 6 adet çubuktan oluşmaktadır.

Yeni Model için ızgaralarda meydana gelen yük kayıpları Eşitlik 3'ten faydalanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$h'_k = 0.5 \cdot \frac{1^2}{2 \times 9.81} + \frac{1.3^2 - 1^2}{2 \times 9.81} = 0.061m$$

Yeni Model için hesaplanan yük kaybının Tablo 2'de verilen ızgara tasarım kriterlerinde yer alan müsaade edilen yük kaybı değerinin altında olduğu görülmüştür.

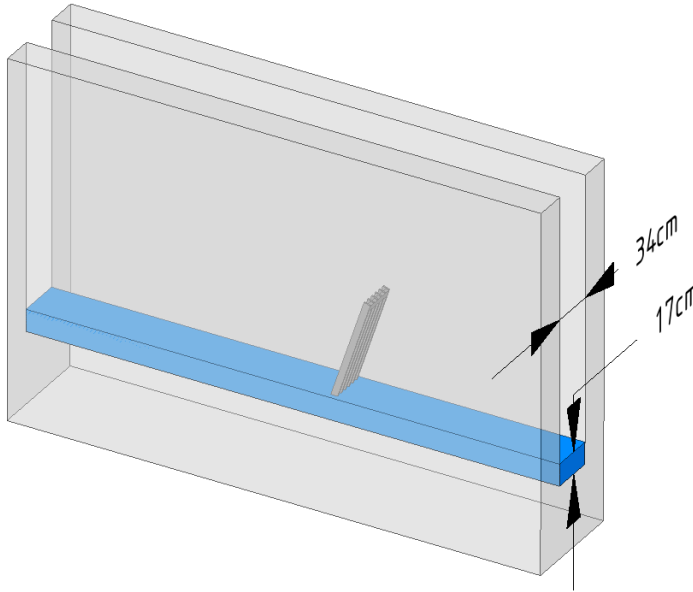
3.2.2. Yeni Model'e Ait Sayısal Çalışmalar

Yeni Model'e ait sayısal çalışmaları gerçekleştirmek için ANSYS Workbench paket programından faydalanılmıştır. Tam ölçekli tesise ait yaklaşım kanalında tasarım kriterlerine uygun hız değerlerini sağlamak üzere analitik çalışmalar başlığında hesaplanan değerler dikkate alınarak oluşturulan Yeni Model'in HAD analizleri ANSYS Fluent yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

3.4.2.1. Yeni Model Geometrisinin Oluşturulması

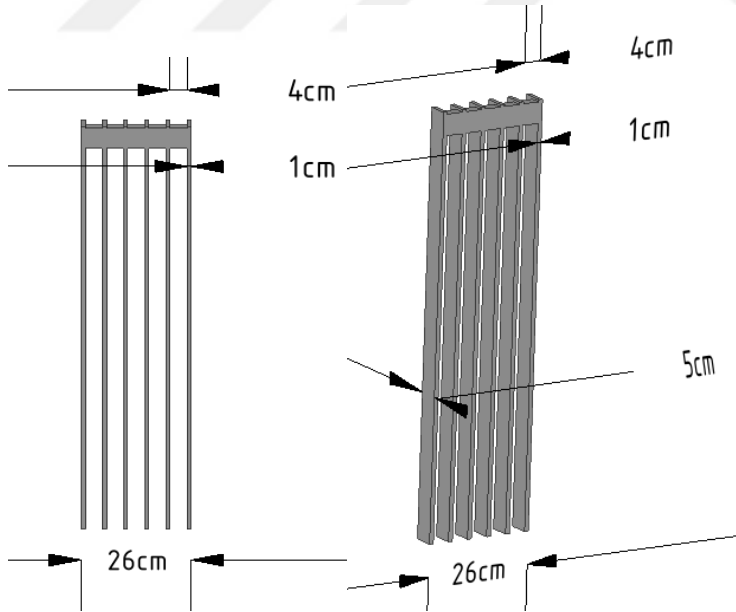
Yeni model, ızgara ve yaklaşım kanalının analitik hesaplarla elde edilen boyutları kullanılarak SpaceClaim programında modellenmiştir. Tasarım kriterleri dikkate

alınarak yapılan hesapların sonucunda hazırlanan modelde 1 adet yaklaşım kanalı ve 1 adet kaba ızgara mevcuttur. Yeni modele ait ölçüler Şekil 42’de verilmiştir.



Şekil 42. Yeni Model’e ait yaklaşım kanalı boyutları

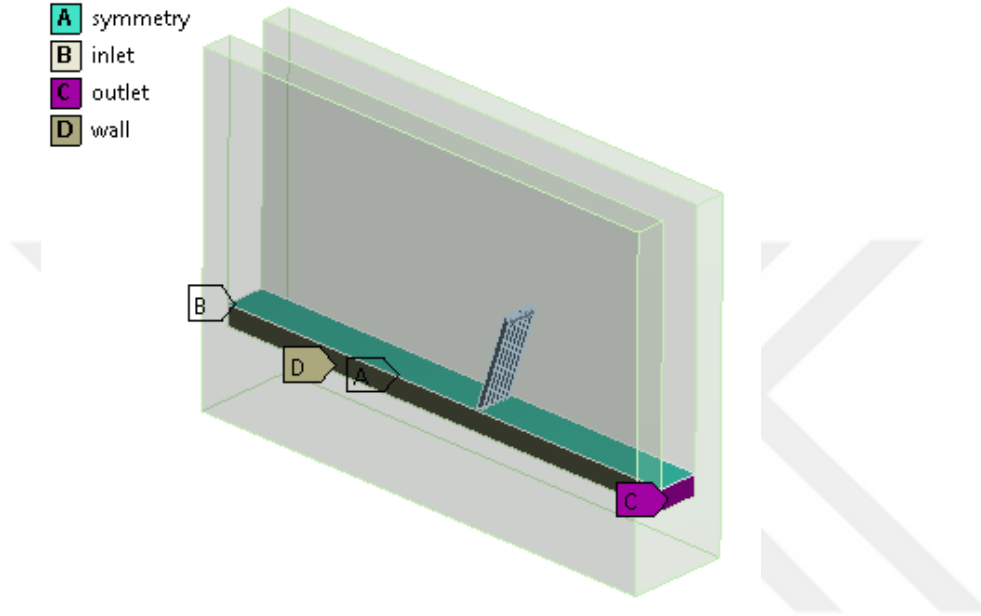
Toplam genişliği 26 cm olan ızgara 6 adet çubuktan oluşmaktadır. Izgara çubuklarının genişliği 1 cm, çubuklar arası serbest açıklık 4 cm’dir (Şekil 43).



Şekil 43. Yeni Model’e ait ızgara boyutları

3.4.2.2. Yeni Model Sonlu Eleman Ağı'nın Oluşturulması

Yeni Model'in sonlu eleman ağı ANSYS Workbench'teki "Ansys Meshing" programı ile oluşturulmuştur. Sonlu eleman ağı oluşturma aşamasında "Create Named Selection" komutu ile su girişinin gerçekleştiği yüzey giriş (inlet), su çıkışının gerçekleştiği yüzey çıkış (outlet), su yüzeyine simetri (symmetry), kenar yüzeylere de duvar (wall) olacak şekilde, isim atamaları yapılmıştır (Şekil 44).



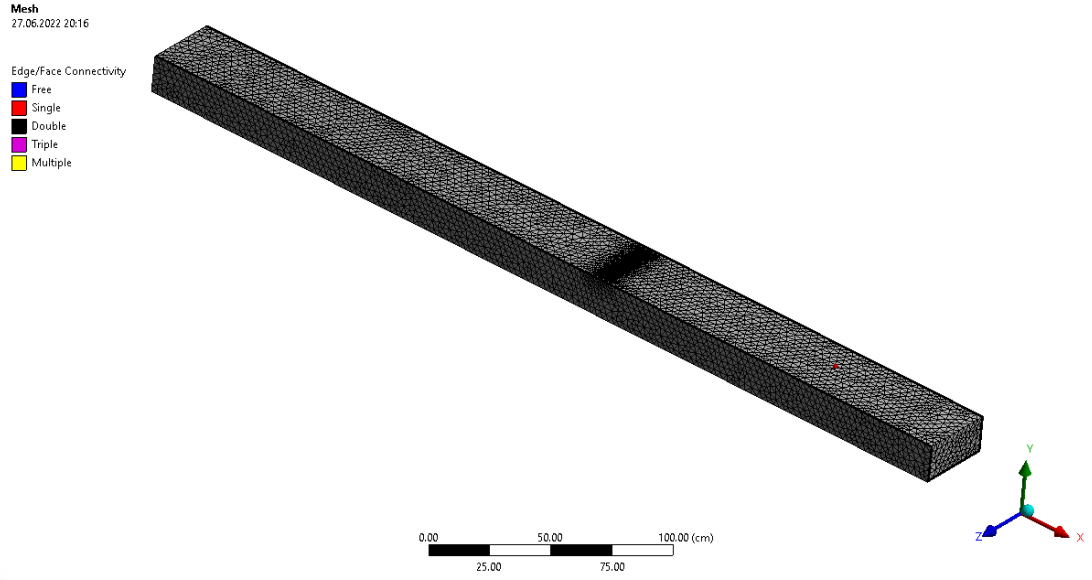
Şekil 44. Yeni Model'e ait isim atamaları

Mesh aşamasında üçgen piramit (tetrahedron) eleman yapısı kullanılmış olup, ağ yapısı ile ilgili ölçüler Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Yeni Model ağ yapısı ölçüleri

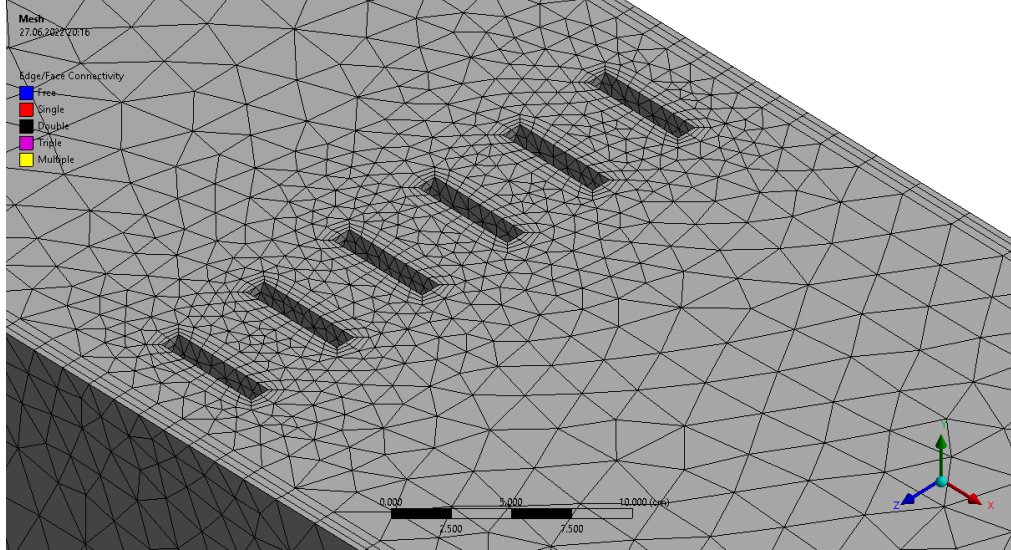
Eleman boyutu (Element Sizing)		
Gövde boyutu (Body sizing)	3 cm	
Bölünme Sayısı (Number of Divisions)		
Kenar boyutu (Edge sizing)	8	
İlk tabaka yüksekliği		Maksimum tabaka sayısı
Enflasyon tabakası (Inflation)	0.3 cm	3

Yeni Model'in sonlu eleman ağı 29189 adet düğüm noktasından ve 103942 adet elemandan oluşmaktadır (Şekil 45).



Şekil 45. Yeni Model'in sonlu eleman ağ yapısı

Yakın duvar yaklaşımları için oluşturulan enflasyon (inflation) tabakası ve ızgara boşlukları arası uygulanan yoğunlaştırılmış sonlu eleman ağ yapısı Şekil 46'da gösterilmiştir.



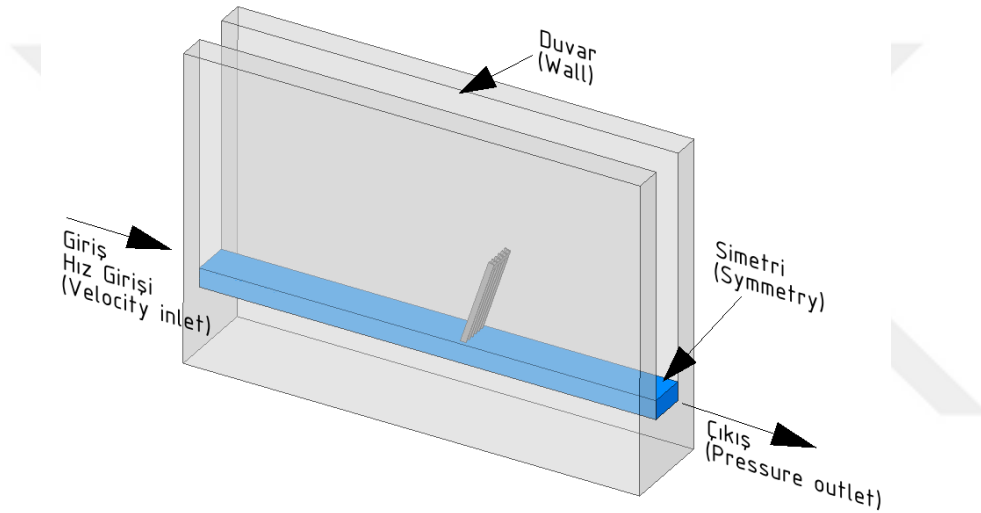
Şekil 46. Yeni Model'in yoğunlaştırılmış bölgelerdeki sonlu eleman ağ yapısı

Oluşturulan Yeni Model'e ait sonlu eleman ağının en çok kullanılan kalite kriterlerinden olan maksimum skewness değeri 0.86 olarak tespit edilmiştir. Buradan sonlu eleman ağına ait maksimum skewness değerinin kabul edilebilir aralıkta olduğu görülmektedir.

3.4.2.3. Yeni Model'in HAD Analizi

Yeni Model'in HAD analizi için ANSYS Fluent yazılımı kullanılmıştır. 3 boyutlu, kararlı, sıkıştırılamayan akım kabulüyle, daha önce doğrulaması yapılmış ve en iyi sonucu vermiş olan RNG k- ϵ türbülans modeli kullanılarak yaklaşım kanalı ve ızgara çubukları arası akış alanı hesaplamaları yapılmıştır. Analiz Intel ® Core TMi7-10750H CPU @2.60 GHz 5.0 GHz işlemcili, 16 GB RAM ve 64 bit işletim sistemli bilgisayarda, yaklaşık 4 dakikada tamamlanmıştır.

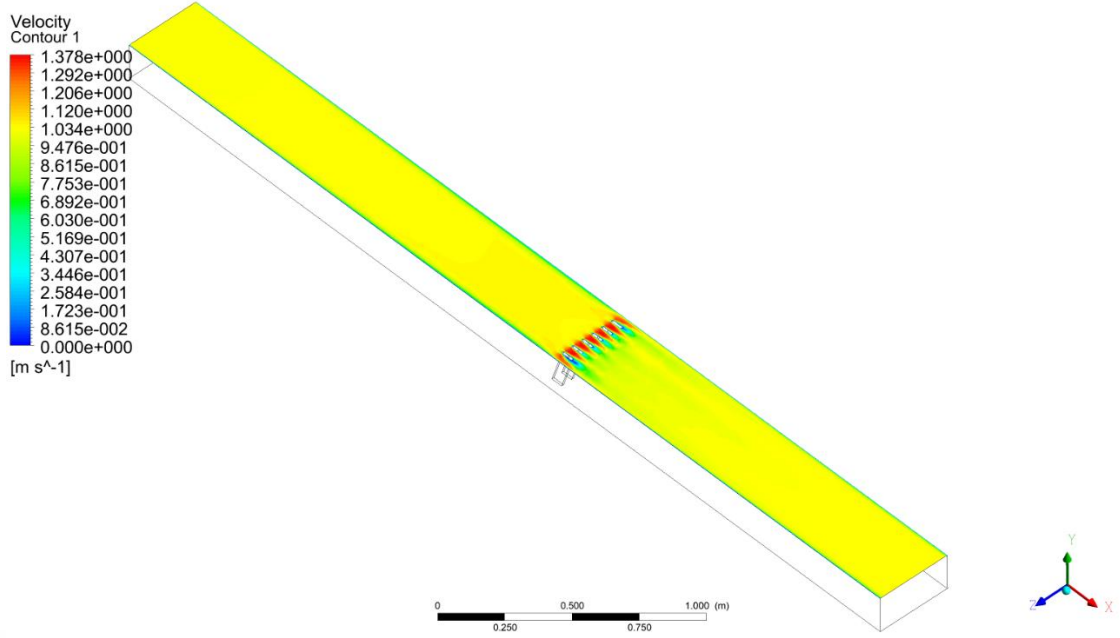
Sınır şartları için atık suyun yaklaşım kanalına giriş noktasında hız girişi (velocity inlet), çıkış noktasında basınç çıkışı (pressure outlet) ve su yüzeyinde de simetri (symmetry) sınır şartları seçilmiştir (Şekil 47).



Şekil 47. Yeni Model'e ait sınır şartları

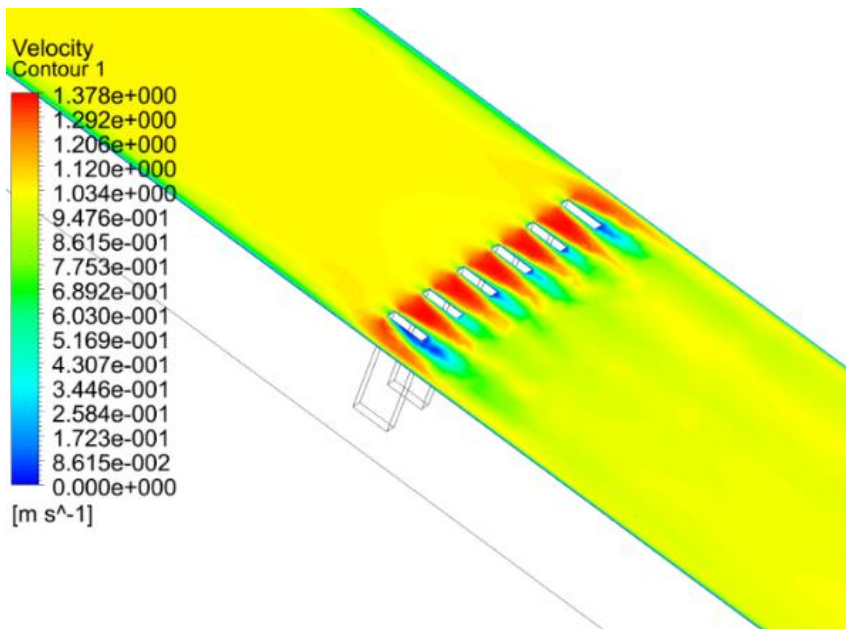
Şekil 48'de analiz sonucunda atık suyun yaklaşım kanalı boyunca ve ızgara çubukları arasında sahip olduğu hız dağılımları alansal olarak gösterilmiştir. Giriş hızının 1 m/s olduğu yaklaşım kanalında, maksimum hızın 1.38 m/s olduğu görülmektedir.

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, hız alanının homojen olduğu ve hızların Tablo 2'de verilen ızgara tasarım kriterlerini sağladığı açıkça görülmektedir.



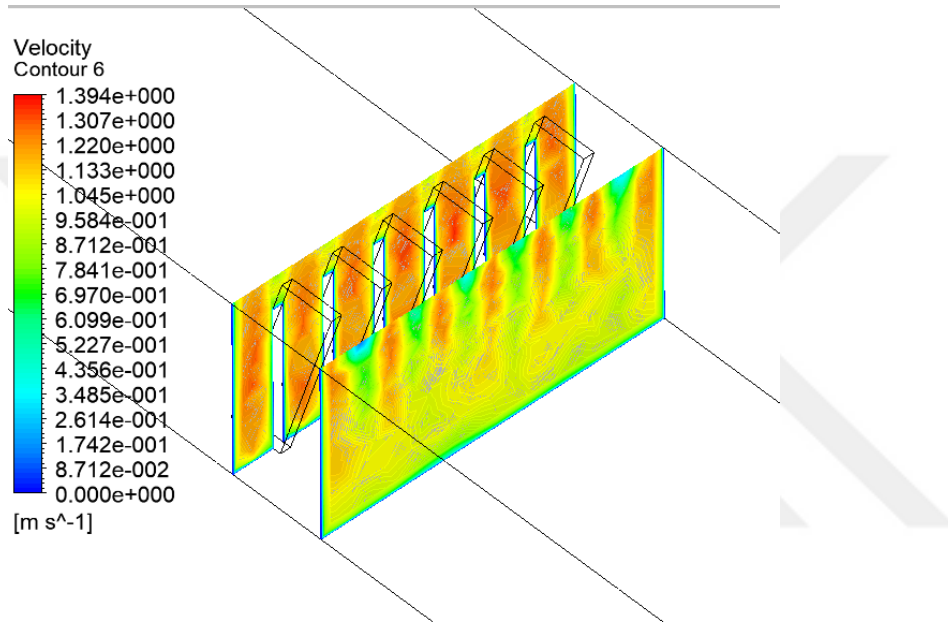
Şekil 48. Yeni Model'e ait analiz sonuçları

Yeni Model'e ait yaklaşım kanalında tanımlanan enflasyon (inflation) tabakasının bulunduğu kısımlarda viskoz etkilerden dolayı atık su hızının düştüğü ve ızgara çubukları arasında kesit daraldığı için atık su hızının arttığı ve maksimuma ulaştığı Şekil 49'da açıkça görülmektedir. Aynı zamanda ızgara çubuklarına çarpan atık suyun ızgara çubuklarının arkasında kalan kısımlara erişemediğinden dolayı bu kısımlarda ölü bölge oluşumu yani atık su hızının sıfır olduğu alanlar mevcuttur (Şekil 49). Bu alanların devamında atık suyun düşük hızlardan başlayarak kademeli olarak artacak şekilde, hız alanının ağırlıklı olarak sahip olduğu sarı renge dönüştüğü görülmektedir.



Şekil 49. Izgara boşlukları ve duvar yakınlarındaki atık su hızları

Şekil 50’de Yeni Model’in ızgara çubukları etrafındaki hızlarının derinlikle değişimi ızgara önünden ve arkasından kesitler alınarak incelenmiştir. Belirlenen kesitlerde derinlikle hız değişimi profilleri incelendiğinde duvar yakınlarında azalan atık su hızı davranışının kanalın zeminine ait duvarda da gözlemlendiği, ızgara çubukları arasında daralan kesitle birlikte atık su hızlarının arttığı, ızgaralar boyunca meydana gelen yük kayıplarından dolayı ızgara çubuklarından uzaklaştıkça atık su hızının azalarak homojen bir hal aldığı ve ızgara çubuklarının arkasında kalan kısımlarda atık su hızının düştüğü görülmüştür.



Şekil 50. Yeni Model’in ızgara çubukları etrafındaki derinlik-hız değişiminin en kesitler boyunca gösterimi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada atık suların fiziksel arıtma yöntemlerinden biri olan mekanik atık su arıtma tesislerinden ızgaraların ve yaklaşım kanalındaki akışın hidrolik ve hidrodinamik davranışları HAD yardımıyla incelenmiştir. HAD analizleri ANSYS-Fluent programı yardımıyla gerçekleştirilmiş olup, seçilen tam ölçekli bir tesiste gerçekleştirilen deneysel doğrulama ile birlikte tesisin hidrolik açıdan zayıf yönleri belirlenmiştir. Tam ölçekli tesis olarak Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi'ne ait fiziksel arıtım ünitesi olan ızgaralara ait yaklaşım kanalı ve yükleme havuzu seçilmiştir.

Yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar ve öneriler elde edilmiştir.

- Seçilen tam ölçekli tesisin HAD analizi sonucunda elde edilen değerler ile tesiste alınan deneysel ölçümler sonucunda elde edilen değerler karşılaştırılmış ve tutarlı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Yükleme havuzunda gerçekleştirilen deneysel ölçüm değerleri ve HAD analizi sonuçlarına göre elde edilen hız değerleri arasında, Gerçekleşebilir (Realizable) k- ϵ türbülans modelinde ortalama %0.0931 bağıl hata, Standart k- ϵ türbülans modelinde ortalama %0.2686 bağıl hata, RNG k- ϵ türbülans modelinde ortalama %0.258 bağıl hata ile en iyi sonucu Gerçekleşebilir (Realizable) k- ϵ modelinin verdiği görülmüştür. Aynı zamanda yaklaşım kanalında gerçekleştirilen deneysel ölçüm değerleri ve HAD analizi sonuçlarına göre elde edilen hız değerleri arasında, Gerçekleşebilir (Realizable) k- ϵ türbülans modelinde ortalama %0.3734 bağıl hata, Standart k- ϵ türbülans modelinde ortalama %0.5313 bağıl hata, RNG k- ϵ türbülans modelinde ortalama %0.0905 bağıl hata oranlarıyla beraber en iyi sonucu RNG k- ϵ türbülans modeli vermiştir.
- Maksimum atık su hızının girişte meydana geldiği ve bu noktalardan yatay ve dikey olarak uzaklaştıkça atık su hızının azaldığı görülmüştür.
- Tam ölçekli tesiste gerçekleştirilen deneysel ölçümler ve HAD analizleri sonucunda düşük giriş hızı ve işletmede yetersiz kalan yükleme havuzu sebebiyle, yaklaşım kanalı ve ızgara tesisinde ölçülen hızların tasarım kriterlerinin altında kaldığı ve bundan ötürü oluşabilecek katı madde çökelmelerinin ızgarada tutulacak katı madde miktarını olumsuz etkileyeceği ve ızgara tesisinin işlevini tam olarak yerine getiremeyeceği görülmüştür.
- Izgara çubukları arasında tutulan katı miktarlarının eşit olması ve kanalda oluşan ölü noktaların azaltılması için yaklaşım kanalındaki akışın hız dağılımının homojen olması sağlanmalıdır.

- Tesisteki mevcut işletme koşullarının zayıf yönlerinin (düşük hızlar, yükleme havuzu yetersizliği) meydana getirdiği eksiklikleri gidermek için en uygun kesit hesabına göre tasarlanan ve sunulan Yeni Model'e ait analiz sonuçlarının tasarım kriterlerinde bulunan hız değerlerini sağladığı ve bu sayede ızgara tesisinin işlevini daha iyi bir şekilde yerine getirebileceği uygun bir model elde edildiği görülmüştür. Tasarlanan Yeni Model süreklilik denkleminde göre atık su hızını artırmak için daraltılmış bir kesite sahiptir.
- HAD analizleri sonucunda sunulan Yeni Model ile birlikte yaklaşım kanalında homojen bir hız dağılımı sağlanarak ızgara çubukları arasındaki tutulma oranlarının benzerlik göstereceği öngörülmüştür. Aynı zamanda yaklaşım kanalında ortaya çıkan homojen hız dağılımıyla birlikte ölü noktaların ortadan kaldırılarak atık suda bulunan katı maddelerin çökmesinin önüne geçilmesi ve bu sayede ızgaraların işlevini daha yüksek oranda yerine getirmesine yardımcı olunması sağlanacaktır.

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalara ek olarak aşağıdaki çalışmaların yapılması önerilmektedir.

- Izgaralarda tutulan katı madde miktarına göre yorumlama yapabilmek adına HAD analizlerinin katı-sıvı olmak üzere çift fazda gerçekleştirilmesi.
- Izgaralarda oluşan yük kaybı hesabı yapılırken ızgaralara ait şekil faktörünü de dikkate alan Kirschmer eşitliğinden yararlanılarak gerçekleştirilen analitik hesaplamalarla birlikte, farklı boyut ve şekillere sahip ızgara çubukları tasarlanarak, yeni modellerin tesisin çalışmasına etkilerinin incelenmesi.
- Tam ölçekli tesiste gerçekleştirilen deneysel çalışmalar için zamana bağlı su seviye ölçümleri yapan Ultrasonik Seviye Sensörü (ULS) ve ultrasonik yöntemle hız ölçümü yapan Ultrasonik Doppler Velocity Profiler (UVP) cihazlarının kullanılması.
- Tam ölçekli tesiste gerçekleştirilen deneysel çalışmaları etkileyebilecek dış faktörleri (rüzgâr hızı, tesisin geometrik sınırlamaları, vb.) minimuma indirmek adına doğrulama için laboratuvar ortamında deneysel çalışmalar gerçekleştirilmesi.
- HAD analizlerinde kullanılan türbülans modelleri çeşitliliğinin artırılması.
- Atık suyun tesisteki hareketinin daha ayrıntılı incelenmesi adına modellemenin diğer arıtım ünitelerini de içine alacak şekilde yapılarak daha kompleks bir analiz gerçekleştirilerek tesise ait özelliklerin daha ayrıntılı bir şekilde irdelenmesi.

KAYNAKÇA

- ANSYS Fluent. (2013). Swanson Analysis System, Pennsylvania, USA.
- ANSYS Help. (2013). Swanson Analysis System, Pennsylvania, USA.
- ANSYS Workbench. (2013). Swanson Analysis System, Pennsylvania, USA.
- Ardıçlıoğlu, M., Özdin, S. ve Gemici, E. (2010). Akarsularda hız dağılımının modellenmesi ve ADV ölçümleri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(1), 53-58. doi:10.37609/akya.919
- Chen, X. ve Liu, Y. (2015). *Finite Element Modeling and Simulation with Ansys-Workbench*. CR Press, Taylor ve Francis Group.
- Çengel, Y.A. (2002). *Heat Transfer: A Practical Approach*, McGraw-Hill Education, ISBN 9780072458930, London, 346s.
- Dufresne, M., Vazquez, J., Terfous, A., Ghenaïm, A. ve Poulet, J. B. (2009). Experimental investigation and CFD modelling of flow, sedimentation, and solids separation in a combined sewer detention tank. *Computers and Fluids*, 38(5), 1042–1049. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2008.01.011>
- Dutta, S., Tokyay, T. E., Cataño-Lopera, Y. A., Serafino, S. ve Garcia, M. H. (2014). Application of computational fluid dynamic modelling to improve flow and grit transport in Terrence J. O'Brien Water Reclamation Plant. *Journal of Hydraulic Research*, 52(6), 759–774. <https://doi.org/10.1080/00221686.2014.949883>
- Gençer, T. (2020). “Türbülans metodu seçiminde nelere dikkat edilmeli.” General Format. 19 Mayıs 2022 tarihinde <https://learning.numesys.com.tr/public/portal/75335/> adresinden erişildi.
- Gao, H. ve Stenstrom, M. K. (2019). Generalizing the effects of the baffling structures on the buoyancy-induced turbulence in secondary settling tanks with eleven different geometries using CFD models. *Chemical Engineering Research and Design*, 143, 215–225. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2019.01.015>
- Hoiberg, B. ve Shah, M. T. (2021). CFD study of multiphase flow in aerated grit tank. *Journal of Water Process Engineering*, 39, 101698. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101698>
- Holubec, M. (2013). Analysis of a wastewater settling tank using CFD methods. *Ovidius University Annals Series: Civil Engineering*, (15), 293-300.
- Karpuzcu, M. ve Bayar, S. (1999). The extent of environmental pollution in Turkey. The Proceeding of Symposium on the Priorities of Environmental Pollution in

- Turkey, 18–19 Kasım 1999, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, ss. 1:1–8.
- Korkmaz, C. ve Kaçar, İ. (2021). *Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği simülasyonları için optimum eleman ağ yapısının belirlenmesi*. C. Korkmaz ve İ. Kaçar (Der.). Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Üzerine Güncel Araştırmalar içinde (ss. 120-121). Akademisyen Kitabevi.
- López-Jiménez, P. A., Escudero-González, J., Montoya Martínez, T., Fajardo Montañana, V. ve Gualtieri, C. (2015). Application of CFD methods to an anaerobic digester: The case of Ontinyent WWTP, *Journal of Water Process Engineering*, 7, 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.05.006>
- Madenci, E. ve Guven, İ. (2015). *The finite element method and applications in engineering using ANSYS*. Springer US., 2. Baskı, 2015, USA. doi: 10.1007/978-1-4899-7550-8
- Menter, F.R. (1994). Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Stud. J.*, 32, 1598-1605, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2016.12.020>.
- Meroney, R. N. ve Sheker, R. E. (2015). Removing grit during wastewater treatment: CFD analysis of HDVS performance. *Water Environment Research*, 88(5), 438–448. <https://doi.org/10.2175/106143015x14212658614478>
- Metcalf and Eddy. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. (4. Baskı), Boston. McGraw-Hill.
- Patziger, M. (2021). Improving wastewater treatment plant performance by applying CFD models for design and operation: Selected case studies. *Water Science and Technology*, 84(2), 323–332. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.019>
- Rajaonary, T. (2016). *Design and optimization of a hydrokinetic turbine duct with CFD*. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurumu-Türkiye, (444434).
- Robescu, L. D. ve Manea, E. E. (2015). Using CFD techniques in teaching rectangular settling tank hydrodynamics. 3. International Engineering and Tecnology Education Conference and 7. Balkan Region Conference on Engineering and Business Education, 1-4 Kasım, 2015, Sibiu, Romania. no. 1(1), ss. 41–48. <https://doi.org/10.1515/cplbu-2015-0005>
- Salim, M.S. ve Cheah, S.C. (2009). Wall y^+ strategy for dealing with wall-bounded turbulent flows. Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, 18-20 Mart, 2009, Hong Kong, China. no. 2, ss. 2165-2170.

- Samstag, R. W., Ducoste, J. J., Griboiro, A., Nopens, I., Batstone, D. J., Wicks, J. D., Saunders, S., Wicklein, E. A., Kenny, G. ve Laurent, J. (2016). CFD for wastewater treatment: An overview. *Water Science and Technology*. 74(3), 549-563. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.249>
- Samsunlu, A. (2011). *Atık Suların Arıtılması*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Stamou, A. I., Georgios, T. ve Konstantinos, X. (2009). Design of secondary settling tanks using a CFD model. *Environmental Engineering*, 135(7), 551–561.
- Şibil, R. (2019). *Farklı geometriye sahip oksidasyon hendeklerinin hidrolik ve hidrodinamik davranışlarının hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile analizi. Doktora tezi, Yüksek Öğretim Kurumu-Türkiye, (579173).*
- Şibil, R., Aras, E. ve Kankal, M. (2021). Experimental and numerical studies on predicting and improving the full- scale wastewater treatment plant hydrodynamics Experimental and numerical studies on predicting and improving the full-scale wastewater treatment plant hydrodynamics. *Desalination and Water Treatment*, 237, 1-17. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27708>
- Tarpagkou, R. ve Pantokratoras, A. (2013). CFD methodology for sedimentation tanks: The effect of secondary phase on fluid phase using DPM coupled calculations. *Applied Mathematical Modelling*, 37(5), 3478–3494. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.08.011>
- Terashima, M., So, M., Goel, R. ve Yasui, H. (2016). Determination of diffuser bubble size in computational fluid dynamics models to predict oxygen transfer in spiral roll aeration tanks. *Journal of Water Process Engineering*, 12, 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.07.001>
- URL-1, <https://www.huber.com.tr/tr/ueruenler/izgaralar-ve-ince-izgaralar/perfore-plaka-ve-cubuk-izgaralar/huber-kaba-izgara-trashmaxr.html/>. 24 Ağustos 2022.
- URL-2, <https://www.flow3d.com/flow-3d-helps-improve-design-wastewater-treatment-plant/>. 5 Haziran 2022.
- URL-3, <http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/BilgisayarDestekliTasarim/BilgisayarDestekliTasarimVeAnaliz-6-hafta.pdf/>. 17 Haziran 2022.
- URL-4, https://tr.wikisu.ru/wiki/Turbulence_modeling#Spalart%E2%80%93Allmaras,_k%E2%80%93CE%B5_and_k%E2%80%93CF%89_models/. 1 Eylül 2022.
- Vuruşkan, A. (2015). *Turaç insansız hava aracının aerodinamik tasarım, modelleme ve analizi. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurumu-Türkiye, (363687).*

Yang, W. J., Wang, C. C., Hsu, Y. Y. ve Wu, R. M. (2008). Two-phase flow simulation of reactor clarifiers. *Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers*, 39, 275-280.



ÖZGEÇMİŞ

Nagehan ŞAHİN, ortaöğrenimini Gümüşhane Mareşal Çakmak Anadolu Öğretmen Lisesi'nde, üniversite öğrenimini ise Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. 2017 yılında İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun olduktan sonra 2019 yılına kadar çeşitli şirketlerde şantiye şefliği ve proje mühendisliği yaptı. 2019 yılında Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans eğitimine başladı. 2020 yılında Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamış olup, halen bu kurumda görevine devam etmektedir. 2022 yılında katıldığı 14. Uluslararası Hidrobilim ve Mühendislik Konferansı'nda en iyi 3. bildiri ödülüne layık görülmüştür. Yazar iyi derecede İngilizce bilmektedir.

Yayınlar:

Şahin, N., Şibil, R., (2021). The Computational Fluid Dynamic Analyses of the Screens, Used in the Physical Wastewater Treatment Plant, International Online Conferences On Engineering And Natural Sciences, 5-7 July 2021, Gümüşhane, Turkey.

Şahin, N., Şibil, R., (2021). Numerical Studies On Predicting Velocity Fields Of Upstream Channel That Combined With Head Pond Used In Mechanical Wastewater Treatment Plant, 14. International Conference On Hydrosience ve Engineering, 26-27 May 2022, Izmir, Turkey.

