

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI GEOMETRİYE SAHİP OKSİDASYON HENDEKLERİNİN HİDROLİK
VE HİDRODİNAMİK DAVRANIŞLARININ HESAPLAMALI AKIŞKANLAR
DİNAMİĞİ İLE ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Rahim ŞİBİL

**HAZİRAN 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun / / gün ve sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan :

Üye :

Üye :

Üye :

Üye :

Prof. Dr. Asim KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Farklı Geometriye Sahip Oksidasyon Hendeklerinin Hidrolik ve Hidrodinamik Davranışlarının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Analizi” adlı doktora tez çalışmamda bana yardımlarını esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım Doç. Dr. Egemen ARAS’a teşekkürlerimi sunarım.

Başta bu çalışmanın ortaya çıkış noktasında bana ufuk açan yüksek lisans tez danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Mehmet BERKÜN olmak üzere; tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Ercan KÖSE ve Doç Dr. Adem BAYRAM’a, yaratıcı fikirleriyle bana yol gösteren sevgili hocalarım Prof. Dr. Ümit UZMAN ve Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU’na, takıldığım yerlerde sağladığı destekle ve bilgi paylaşımıyla bana ivme kazandıran sevgili Dr. Talia Ekin TOKYAY’a, değerli vaktini ayırıp tezimi inceleyen Doç. Dr. Murat KANKAL’a ve üzerimde emeği olan tüm hocalarıma katkılarından ötürü teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında bana her türlü desteği veren Gümüşhane Atık Su Artıma Tesisi çalışanlarına ve Su Ürünleri Mühendisi Taner DEMİREL’e teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca her türlü fedakarlığı ve desteklerini esirgemeyen canım annem İsmnaz ŞİBİL’e, sevgili babam Hüseyin ŞİBİL’e, canım kız kardeşlerim Nuray DEDİLER, Nurcan AKBULUT ve Hatice ŞİBİL’e ve ailemin diğer bütün fertlerine teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarımın son aşamasında hayatıma katılan, ona renk katan ve güzelleştiren sevgili eşim hayatımın özlemi Özlem ŞİBİL’e, bana gösterdiği sabır ve fedakârlıklar için teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca bana her türlü desteği sağlayan akıl hocam ve sevgili ağabeyim Doç. Dr. Enver AKARYALI’ya teşekkür ederim.

Bana sağladıkları desteklerle her zaman yanımda olduklarını hissettiğim sevgili arkadaşlarım Dr. Öğretim Üyesi İbrahim ÇAVUŞOĞLU, Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Ali GÜCER, Arş. Gör. Yusuf ŞAHİNKAYA’ya ve adlarını buraya sığdıramayacağım tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Farklı Geometriye Sahip Oksidasyon Hendeklerinin Hidrolik ve Hidrodinamik Davranışlarının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Egemen ARAS’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 24/06/2019

Rahim ŞİBİL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XV
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	3
1.2. Genel Bilgiler.....	4
1.2.1. Aktif Çamur	4
1.2.2. Aktif Çamur Sistemi ile İlgili Temel Kavramlar	5
1.2.3. Aktif Çamur Konfigürasyonları	7
1.2.4. Oksidasyon Hendekleri	7
1.2.5. Sonlu Elemanlar Analizi	8
1.2.5.1. Neden Sonlu Elemanlar Yöntemi?.....	9
1.2.5.2. Mühendislikte Sonlu Elemanlar Uygulamaları.....	9
1.2.5.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi için Genel Süreç	10
1.2.5.4. Düğüm Noktaları (Nodes).....	11
1.2.5.5. Elemanlar (Elements).....	12
1.2.6. ANSYS	14
1.2.7. ANSYS Workbench ile Sonlu Elemanlar Analizi	15
1.2.8. Hesaplama Akışkanlar Dinamiği (HAD).....	16
1.2.9. ANSYS Fluent Programı	19
1.2.9.1. Hesaplama Akışkanlar Dinamiği Probleminin ANSYS Fluent ile Çözüm Adımları	21
1.3. Geçmiş Çalışmalar	23
1.3.1. Aktif Çamur Yöntemi için HAD Uygulamaları ile İlgili Yapılmış Geçmiş Çalışmalar	26
1.3.2. Oksidasyon Hendekleri için HAD Uygulamaları ile İlgili Yapılmış Geçmiş Çalışmalar	31
1.4. Çalışmanın Literatürdeki Yeri ve Özgün Değeri	43

2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME.....	45
2.1.	Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi	45
2.1.1.	Proje Alanının Tanıtılması.....	45
2.1.1.1.	Isı Durumu	46
2.1.1.2.	Yağış Durumu.....	47
2.1.1.3.	Mevcut Yeraltı Tesisleri	47
2.1.2.	Proje Yılları Nüfus Hesapları, Proje Debileri ve Kirlilik Yükleri	48
2.1.2.1.	Proje Debileri	49
2.1.2.2.	Kirlilik Yükleri.....	49
2.1.2.3.	İller Bankası Aktif Çamur Prosesi Genel Şartnamesi.....	50
2.1.2.4.	Proje Arıtılmış Su Kalitesi	50
2.1.3.	Atık Su Arıtma Tesisi Yapı Elamanları	51
2.1.3.1.	Biyolojik Atık Su Arıtma Ünitesi Tasarım Özellikleri	52
2.2.	Materyal ve Yöntem	53
2.2.1.	Fluent Programının Çözüm Algoritmasının Temel Esasları.....	54
2.2.1.1.	Kütlenin Korunumu Denklemi	54
2.2.1.2.	Momentumun Korunumu Denklemleri.....	54
2.2.1.3.	Akışkan Hareketinin Tanımı	55
2.2.1.4.	Akışkan Akımının Tipleri	55
2.2.1.5.	Navier-Stokes Denklemleri.....	56
2.2.1.6.	Fluent Yazılımında Bulunan Türbülans Modelleri	57
2.2.1.7.	Akışkan Akımının Modellenmesi	61
2.2.1.7.1.	Akışkan Alanı	62
2.2.1.7.2.	Sonlu Eleman Ağının Oluşturulması	62
2.2.1.7.3.	Sınır Şartları	63
2.2.1.7.4.	Çözümlerin Görselleştirilmesi	64
2.3.	Oluşturulan Modeller	64
2.3.1.	Model Doğrulaması	65
2.3.1.1.	Tam Ölçekli Tesis Ölçümleri.....	65
2.3.1.2.	Tesisin ANSYS Workbench'te Modellenmesi ve HAD Analizi	68
2.3.1.3.	Ölçüm Sonuçları ile Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	70
2.3.2.	Model 1, Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi Oksidasyon Hendeği Modeli.....	72
2.3.2.1.	Model 1 Geometrisinin Oluşturulması.....	72

2.3.2.2.	Model 1 Sıvı Hacmin Oluşturulması	75
2.3.2.3.	Model 1 Sonlu Eleman Ağıının (Mesh) Oluşturulması	75
2.3.2.4.	Model 1'in ANSYS Fluent ile HAD Analizi	79
2.3.3.	Model 2, Model 1'deki Oksidasyon Hendeklerinin Simetri Olması Durumu	88
2.3.3.1.	Model 2 Geometrisinin Oluşturulması.....	89
2.3.3.2.	Model 2 Sonlu Eleman Ağıının Oluşturulması.....	90
2.3.3.3.	Model 2'nin HAD Analizi	91
2.3.4.	Model 3, Özgün Geometri 1	97
2.3.4.1.	Model 3 Geometrisinin Oluşturulması.....	97
2.3.4.2.	Model 3 Sonlu Eleman Ağıının Oluşturulması.....	100
2.3.4.3.	Model 3'ün HAD Analizi	101
2.3.5.	Model 4, Özgün Geometri 2	107
2.3.5.1.	Model 4 Geometrisinin Oluşturulması.....	107
2.3.5.2.	Model 4 Sonlu Eleman Ağıının Oluşturulması.....	111
2.3.5.3.	Model 4'ün HAD Analizi	112
2.3.6.	Özgün Modellerin Genel Olarak Değerlendirilmesi.....	118
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	120
4.	KAYNAKLAR	123
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

FARKLI GEOMETRİYE SAHİP OKSİDASYON HENDEKLERİNİN HİDROLİK VE HİDRODİNAMİK DAVRANIŞLARININ HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMIĞI İLE ANALİZİ

Rahim ŞİBİL

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Egemen ARAS
2019, 145 Sayfa

Bu çalışmada biyolojik atık su arıtma tesislerinden oksidasyon hendeklerinin (OH) hidrolik ve hidrodinamik davranışları, seçilen tam ölçekli bir tesiste deneysel doğrulama ile birlikte Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yardımıyla incelenerek; tesisin hidrodinamik açıdan zayıf yönleri belirlenmiş ve bu zayıf yönlerin giderimi ve buna bağlı olarak arıtma veriminin artırılması, işletme maliyetinin azaltılması amacıyla, farklı geometriye sahip özgün modeller oluşturulmuştur.

Öncelikli olarak, Model 1’de, mevcut tesisin proje değerleriyle ve imalat hatalarıyla beraber, Model 2’de ise imalat hataları olmadan, mevcut tesisin mimari projesine göre modellenmesi ve analizi yapılarak Model 1 ve Model 2’deki analiz sonuçları karşılaştırılmış ve imalat hatalarının analiz sonuçlarını nasıl etkilediği ortaya konmuştur. Daha sonra Model 2’ye göre tesisin HAD analizi sonucu ortaya çıkan hidrolik açıdan zayıf yönleri belirlenmiş ve bu zayıf yönlerin giderimi için Model 3, 4’te yeni geometriler ve bu geometrilere ait modeller sunulmuştur. Son kısımda bu modellerin genel değerlendirilmesi yapılmış ve hidrolik açıdan en iyi model belirtilmiştir. Hendek içerisindeki hızların homojen dağılımı ve büyüklüğü bakımından Model 3 diğer modeller içerisinde en iyi sonuçlar veren model olmuştur.

Anahtar Kelimeler: ANSYS Fluent, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, k-ε Türbülans modeli, Oksidasyon Hendeki

PhD. Thesis

SUMMARY

THE HYDRAULICS AND HYDRODYNAMICS BEHAVIOUR ANALYSIS OF THE OXIDATION DITCHES HAVING DIFFERENT GEOMETRIES BY CFD

Rahim ŞİBİL

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Egemen ARAS
2019, 145 Pages

In this study, Hydraulic and hydrodynamic behaviors of the oxidation ditches (ODs) have been investigated by experimentally validated Computational Fluid Dynamics (CFD) in a selected full-scale plant, and the poor points of the plant in terms of hydrodynamics have been determined. Moreover, according to the analyses results, the original models have been created in ANSYS Fluent software in order to increase treatment efficiency and decreasing the operating cost. And, the new original models have been presented.

Firstly, Model 1 has been modeled and analyzed according to the architectural project of the existing plant with the project values and observed construction errors and, Model 2 has been modeled in the case without construction errors. And so, the analysis results of Model 2 and Model 1 have been compared and, how the construction errors affect the velocity fields in ODs have been revealed. Thereafter, according to analysis results of the Model 2, the hydraulic weaknesses of the plant, have been determined and new geometries and models have been presented in Models 3 and 4 for the removal of these weaknesses. In the last part, general evaluation of these models has been made and the best hydraulic model has been mentioned. In terms of homogeneous distribution and size of velocities in the OD, Model 4 has been the best model among the other models.

Key Words: ANSYS Fluent, Computational Fluid Dynamics, k- ϵ model, Oxidation Ditch

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Geleneksel aktif çamur tesisi	5
Şekil 1.2. Oksidasyon hendeği.....	8
Şekil 1.3. Delikli bir plaka ve sonlu elemanlara bölünmüş hali	9
Şekil 1.4. Uygulamalı mühendislik problemlerinin SEA gösterimi, (Madenci ve Guven, 2015'ten değiştirilmiştir)	11
Şekil 1.5. Bir alanın alt alanlara bölünmesi (elemanlara).....	12
Şekil 1.6. Çizgi, alan ve hacim elemanlarının, eleman seviyesindeki düğüm noktası sayılarıyla açıklaması	13
Şekil 1.7. Bir alanın ayrıştırılması: eleman ve düğüm numaralandırma.....	13
Şekil 1.8. Sayısal modelleme ile elde edilmiş serbest yüzeyli akım modeli.....	16
Şekil 1.9. Bir kontak stabilizasyon tankının HAD simülasyonu ve hız büyüklükleri	17
Şekil 1.10. Bir servis rezervuarının HAD simülasyonu ve hız büyüklükleri.....	17
Şekil 1.11. Fiziksel arıtım üniteleri HAD simülasyonları	18
Şekil 1.12. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Probleminin Çözüm Adımları.....	21
Şekil 1.13. Aktif çamur tankı geometrik şekli, hız alanları ve akım çizgisi gösterimleri	27
Şekil 1.14. Laboratuvar ölçekli reaktörün şematik görünümü.....	28
Şekil 1.15. Deney düzeneği	29
Şekil 1.16. OH şematik şekli, birim; mm	32
Şekil 1.17. OH şematik şekli, boyutlar: mm.....	33
Şekil 1.18. Laboratuvar ölçekli OH'nin şematik gösterimi, (a) Üstten görünüş, (b) Yandan görünüş	33
Şekil 1.19. Analizi yapılan OH'nin şeması, birim: mm.....	34
Şekil 1.20. İki farklı işletme koşulu için şematik gösterim a-) var olan işletme koşulu b-) geliştirilen işletme koşulu.....	36
Şekil 1.21. Suya batmış karıştırıcı için fan modeli	36
Şekil 1.22. Deneyle ilgili ayrıntılı bilgi a-) OH'nin plan biçimi b-) enine kesit ölçüm noktaları c-) DSC 325 ters şemsiye yüzey havalandırıcısının önden görünüşü (birim: mm) d-) orijinal yüzey havalandırıcısının önden görünüşü	37
Şekil 1.23. OH'nin şematik şekli a-) akışkan hızı ölçme noktaları b-) birimler, mm.....	38

Şekil 1.24. Tam boyutlu OH'nin şematik gösterimi ve ölçüm noktaları	39
Şekil 1.25. Hidrojetlerle havalandırılan OH'nin şematik şekli	40
Şekil 1.26. Carrousel OH'nin pilot şekli	41
Şekil 1.27. Tesisin 2 boyutlu ve 3 boyutlu gösterimi	41
Şekil 1.28. Carrousel OH ve karıştırıcı	42
Şekil 1.29. Carrousel OH'nin şematik görünüşü	42
Şekil 1.30. OH'nin şematik şekli	43
Şekil 2.1. Gümüşhane İli'nin Türkiye'de ki yeri ve şehir merkezinden bir görünüm (ölçeksiz), (İller Bankası, 2009)	46
Şekil 2.2. Gümüşhane Merkez İlçenin yıllara göre nüfus dağılımı	48
Şekil 2.3. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi yapı elamanları	52
Şekil 2.4. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi	52
Şekil 2.5. Akım bölgesi tanımlamaları: (a) iç akış ve (b) dış akış	62
Şekil 2.6. Sonlu eleman ağının çözünürlüğü akış özelliğini yeterince yansıtmalıdır.	63
Şekil 2.7. Üçgen piramit (tetrahedrons) eleman	63
Şekil 2.8. Tesis ölçümlerinden kesitler	66
Şekil 2.9. Tesis'te ölçüm alınan noktaların konumları	67
Şekil 2.10. Modelin geometrisi ve boyutları	68
Şekil 2.11. Modelin sonlu eleman ağı	69
Şekil 2.12. Model'in yüzeyden 1,6 m derinlikte ske ve RNG hız çizgileri dağılımı	69
Şekil 2.13. Deney sonuçları ile analiz sonuçlarının karşılaştırılması	70
Şekil 2.14. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi'nin biyolojik arıtma ünitesi, oksidasyon hendeği	72
Şekil 2.15. Model 1, oksidasyon hendeği katı modelinin a) su dolu hali, b) boş hali c) su dolu halinin arkadan görünümü, d) sıvı hacmin katı hacimden çıkartılmış hali	73
Şekil 2.16. Model 1, tam ölçekli oksidasyon hendeğinin ANSYS Design Modeler ve SpaceClaim programlarında oluşturulmuş katı modeli, çeşitli görünüşleri ve boyutları, a) üstten görünüş b) sağdan görünüş, c) soldan görünüş, d) önden görünüş e) arkadan görünüş f) toplam yüzey alanı ve hacmin gösterilmesi	74
Şekil 2.17. Model 1, sıvı hacmin oluşturulması	75
Şekil 2.18. Model 1, isim atamaları	77
Şekil 2.19. Model 1, temas bölgeleri	77
Şekil 2.20. Model 1, sonlu eleman ağı	78

Şekil 2.21. Model 1, sonlu eleman ağının çeşitli kesitlerden görüntüleri a-) ön kesit, b-) orta kesit, c-)üst kesit, d-) boru kesiti	78
Şekil 2.22. Model 1, sınır şartları.....	79
Şekil 2.23. Model 1 için simülasyon sonucunda, oksidasyon hendeklerinde, su yüzeyinde oluşan hız çizgileri	82
Şekil 2.24. Model 1 için simülasyon sonucunda, oksidasyon hendeğinde, a) $y = 2,625$ m b) $y = 0,5$ m c) $y = - 0,5$ m su yüksekliklerinde oluşan bölgesel (local) aralıkta hız çizgileri.....	84
Şekil 2.25. Model 1, oksidasyon hendeğinde derinlik - hız değişiminin incelendiği noktalar	85
Şekil 2.26. Model 1, hız vektörleri, üstten görünüm	86
Şekil 2.27. Model 1 için simülasyon sonucunda oluşan hız vektörleri, 3B	86
Şekil 2.28. Model 1 için simülasyon sonucunda OH'de oluşan hızlar için akım çizgileri, üstten görünüm, a) maksimum ve minimum hız aralığında gösterim b) belli bir hız aralığında gösterim.....	87
Şekil 2.29. Model 1 için simülasyon sonucunda OH'de oluşan hızlar için akım çizgileri, 3 boyutlu görünüm.	88
Şekil 2.30. Model 2, a) boş OH'ler, b) su dolu OH'ler, c) sıvı hacmin katı hacimden çıkartılmış hali	89
Şekil 2.31. Model 1 ve Model 2 geometrisi arasındaki farklar.....	90
Şekil 2.32. Model 2, sonlu eleman ağı.....	91
Şekil 2.33. Model 2, hız çizgileri, su yüzeyi, bölgesel	92
Şekil 2.34. Model 2 için simülasyon sonucunda, OH'de a) $y = 2,625$ m b) $y = 1,3$ m c) $y = 0,7$ m derinliklerde oluşan bölgesel (local) aralıkta hız çizgileri	93
Şekil 2.35. Model 2, derinlik-hız değişiminin enkesitler boyunca gösterimi	94
Şekil 2.36. Model 2, hız vektörleri	95
Şekil 2.37. Model 2, akım çizgileri.....	96
Şekil 2.38. Model 1 ve Model 2'nin hız vektörleri dağılımı karşılaştırılması.....	97
Şekil 2.39. Model 3 de ki OH'lerin katı modeli, a) dolu önden görünüm, b) boş hali, c) dolu arkadan görünüm, d) sıvı hacmin çıkartılmış hali	98
Şekil 2.40. Model 3 geometrisinin çeşitli açılardan görünümleri ve boyutları.....	99
Şekil 2.41. Model 3'ün geometrisinin Model 2 geometrisinden farklı olan kısımları.....	100
Şekil 2.42. Model 3'ün sonlu eleman ağı	101
Şekil 2.43. Model 3, sınır şartları.....	101
Şekil 2.44. Model 3, hız çizgileri dağılımı, su yüzeyi	102

Şekil 2.45. Model 3 için simülasyon sonucunda, oksidasyon hendeğinde çeşitli derinliklerde bölgesel (local) aralıkta hız çizgileri, a) $y=2,875$ m b) $y = 1,3$ m c) $y = 0,7$ m.....	103
Şekil 2.46. Model 3, enkesit boyunca derinlik-hız profili; a) 0-0,5 m/sn aralığında b) 0-0,1 m/sn aralığında.....	104
Şekil 2.47. Model 3, hız vektörleri dağılımı.....	105
Şekil 2.48. Model 3, akım çizgileri.....	106
Şekil 2.49. Model 2 ve Model 3'ün karşılaştırılması (0-0,1 m/sn).....	106
Şekil 2.50. Model 4, OH'lerin katı modeli, a) boş önden görünüm, b) su dolu hali, c) boş arkadan görünüm, d) sıvı hacmin katı hacimden çıkartılmış hali.....	108
Şekil 2.51. Model 4 için oluşturulan geometrinin çeşitli açılardan görünüşleri ve boyutları, a) üstten görünüş b) soldan görünüş, c) sağdan görünüş, d) önden görünüş e) arkadan görünüş f) toplam yüzey alanı ve hacmin gösterilmesi.....	109
Şekil 2.52. Model 2 ve Model 4 geometrisinin karşılaştırılması.....	110
Şekil 2.53. Model 4 için sonlu eleman ağının gösterimi.....	112
Şekil 2.54. Model 4 için sınır şartları.....	113
Şekil 2.55. Model 4, hız çizgileri, su yüzeyi.....	113
Şekil 2.56. Model 4, hız çizgileri, su yüzeyi, üstten görünüm.....	114
Şekil 2.57. Model 4 için simülasyon sonucunda, oksidasyon hendeğinde, a) $y = 2,25$ m b) $y=1,3$ m c) $y = 0,6$ m derinliklerde oluşan bölgesel (local) aralıkta hız çizgileri.....	115
Şekil 2.58. Model 4 için derinlikle-hız profilleri.....	116
Şekil 2.59. Model 4, hız vektörleri.....	117
Şekil 2.60. Model 4, akım çizgileri, üstten görünüm.....	117
Şekil 2.61. Model 2 ve Model 4'ün karşılaştırılması (0-0,1 m/sn).....	118

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1.	Aktif Çamur konfigürasyonları	7
Tablo 1.2.	Farklı mühendislik dalları için SEA'da serbestlik dereceleri ve kuvvet vektörleri	12
Tablo 1.3.	Eleman seviyesindeki numaralandırmanın açıklanması	13
Tablo 2.1.	Sıcaklık durum tablosu.....	46
Tablo 2.2.	Yağış durum tablosu.....	47
Tablo 2.3.	Gümüşhane Merkez İlçe için yıllara göre nüfus sayım sonuçları	48
Tablo 2.4.	Atık su debileri	49
Tablo 2.5.	Atık su kirlilik yükleri	50
Tablo 2.6.	Projede arıtılmış su standartları.....	51
Tablo 2.7.	Biyolojik atık su arıtma tesisi boyutları ve tasarım değerleri.....	53
Tablo 2.8.	Tesiste yüzeyden 1,6 m derinden 14 noktada alınan ölçüm değerleri	67
Tablo 2.9.	Ölçüm sonuçlarıyla simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması	71
Tablo 2.10.	Model 1, sonlu eleman ağı program ayarları.....	76
Tablo 2.11.	HAD analizi için Fluent program girdileri.....	80
Tablo 2.12.	Modellerin genel olarak değerlendirilmesi	118

SEMBOLLER DİZİNİ

- A : Ara yüzey alanı
- AAÇ : Atılan aktif çamur
- A_p : Öngörülen ara yüzey alanı
- BDİ : Bilgisayar destekli imalat
- BDM : Bilgisayar destekli mühendislik
- BDT : Bilgisayar destekli tasarım
- BOİ : Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
- BSL : Temel k- ω modeli
- C_D : Sürtünme katsayısı
- C_G : Kabarcık içerisindeki oksijen konsantrasyonu
- $\overline{c'_k v'_k}$: Konsantrasyonun çalkantı yayını
- $C_L^* - C_L$: Oksijen transferinin sürülen kuvveti
- C_L^* : Sudaki doyma konsantrasyonu
- $C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}$ ve $C_{3\varepsilon}$: Sabitler
- D_L : Sudaki oksijenin difüzyon katsayısı (20 °C)
- DNS : Doğrudan Sayısal Simülasyon
- E_0 : Eötvös sayısı
- F : Gövde kuvveti
- F_D : Basınca ve viskoz gerilme dağılımına göre ara yüzey momentum transferi
- G : Hız gradyanlarının ortalamasıyla bulunan türbülans enerjisinin üretimi
- G/M : Gıda maddesi / mikroorganizma oranı
- GAÇ : Geri döndürülen aktif çamur
- GASAT : Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi
- G_b : Kaldırma kuvveti nedeniyle üretilen türbülans kinetik enerjisi
- g_i : Yerçekimsel vektörün i_{th} doğrultusundaki bileşeni
- G_k : Hesaplanan ortalama hız gradyanlarından dolayı türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu
- HAD : Hesaplmalı Akışkanlar Dinamiği
- HOTS : Hücrelerin ortalama tutulma süresi
- I : Birim tensör
- i ve j : Alt indisleri i, j=1,2,3

- J_k : Moleküler difüzyona bağlı akış
 k_L : Yerel kütle transfer katsayısı
KOİ : Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KSYKAK: Karışık sıvıdaki yanabilir karakterli askıda katılar
KE : Katı envanteri
 \bar{L}_k : Ara yüzey transfer konsantrasyonunu
LDH : Laser Doppler Hızölçer
LES : Large Eddy Simülasyonu
 m : Henry'ye (He) bağlı bir katsayısı
 p : Statik basınç
 P : Basınç
 P_G : Kabarcık içerisindeki basınç
 P_k : k fazın basıncı
 P_{rt} : Enerji için türbülanslı Prandtl sayısı
 R : Radyal koordinat
RBM : Doğrusal basınç-şekil değiştirme
RONS : Reynolds-Ortalama Navier-Stokes denklemleri
RNG : Renormalizasyon grubu k- ϵ modeli
RSM : Reynolds Stress Model
 S : Ortalama gerilme tensörü oranının modülü
SAS : Ölçek Uyumlu Simülasyon Modeli
SD : Bir düğüm noktasının serbestlik dereceleri
 S_k ve S_ϵ : Kullanıcı tanımlı kaynak terimler
SRS : Scale-Resolving Simülasyonu gösteren sürtünme kuvveti
 u, v, w : Partiküllerin hız vektörü u 'nun bileşenleri
 U_i : i yönündeki hız bileşeni
 $u\nabla u$: Yatay akım
 y_e : Burada havadaki oksijenin hacimsel oranı
 $\nu\nabla^2 u$: Difüzyon
 V_x : Eksenel hız
 V_r : Radyal hız
 V_z : Dönme hızı

- Y_M : türbülanstaki dalgalı dilatasyonun, genel dağılım hızına katkısı
- X_i : i yönündeki koordinat bileşeni
- ν_t : Eddy viskozite
- $|\overline{V}_r|$: Rölatif hızı
- $\overrightarrow{v_d}$: Sürüklenme hızı
- X : Eksenel koordinat
- $\overline{\tau}$: Gerilme tensörü
- ρ : Yoğunluk
- $\rho \vec{g}$ ve \vec{F} : Sırasıyla yerçekimi cisim kuvveti ve dış cisim kuvveti
- μ : Moleküler viskozite
- $\partial u / \partial t$: Bir akışkan parçacığındaki hız
- $\nabla p / \rho$: Basınç gradyanı
- σ_k ve σ_ϵ : Sırasıyla k ve ϵ için türbülanslı Prandtl sayıları
- β : Isıl genleşme katsayısı

1. GİRİŞ

Dünyada 1,4 milyar km³ su mevcut olup bunun büyük bölümü okyanus ve denizlerde tuzlu su, küçük bölümü ise tatlı su şeklinde bulunur. Bu tatlı suyun %99'dan fazlası kutuplarda ve buzullarda buz olarak bulunmaktadır ya da çok derinde ve çıkarılması çok pahalı olan yeraltı suyu şeklindedir. Dolayısıyla insanların yararlanabileceği su %0,003 civarındadır. Bugün yeryüzü nüfusunun beşte biri su kaynaklarının yanlış kullanımı, kirlilik, alan kaybı gibi nedenlerden dolayı sağlıklı, temiz ve içilebilir suya sahip değil. Gelecek 25 yılda bu sayının 2 katına çıkacağı tahmin ediliyor. Dünya nüfusunun %40'ını barındıran 80 ülke şimdiden su sıkıntısı çekmektedir. Nüfusun hızla artması, buna karşılık su kaynaklarının giderek azalması sebebiyle su ihtiyacı her geçen gün artmaktadır (URL 1, 2018).

Ülkemizde ise tatlı su kaynakları oldukça sınırlıdır ve ihtiyaca ancak cevap vermektedir. Türkiye'nin kullanılabilir su potansiyeli 110 milyar m³ olup, bunun %16'sı içme ve kullanmada, %72'si tarımsal sulamada, %12'si de sanayide tüketilmektedir. Türkiye su kıtlığı çeken ülkeler arasında yer almamakla birlikte, hızlı nüfus artışı, kirlenme ve yıllık yağış ortalamasının dünya ortalamasından düşük olması; mevcut kaynakların daha dikkatli kullanılmasını ve kirlenmeye karşı gerekli tedbirlerin bir an önce alınmasını gerektirmektedir. Bu tedbirlerin en önemlilerinden biri de güneşin sağladığı enerji ile tabiatta katı, sıvı, gaz halinde devamlı bir döngü içinde olan suyun, insanlar tarafından bu döngüden alınıp kullanıldıktan sonra arıtılarak tekrar bu döngüye verilmesi gelmektedir. Diğer bir deyişle, atık suların arıtılması, azalan su kaynakları doğrultusunda geri kazanımının sağlanması ve çevreye en az zarar verecek şekilde deşarj edilmesi hızla büyüyen ve endüstrileşen dünya için önemli önlemlerin başında gelmektedir (Şibil, 2008).

Genel olarak atık suların arıtma işlemleri üç kademededen oluşur. Birinci kademe arıtma da mekanik ve fiziksel, ikinci kademe de biyolojik ve üçüncü kademe de ileri arıtma yöntemleri gerçekleştirilir. Birinci kademe de fiziksel işlemler sonucunda yüzen ve çökelebilen maddeler, ikinci kademe de biyolojik ve kimyasal reaksiyonlar sonucu organik maddelerin büyük bir çoğunluğu, üçüncü kademe de ise önceki kademelerde istenilen seviyede arıtılmayan maddeler (inert, kimyasal olarak aktif olmayan maddeler) ile yeteri kadar arıtılmamış azot ve fosfor giderilir. Birinci derece arıtımda, çökeltme ve dengeleme için debi ve hız kontrolleri son derece önemlidir. İkinci derecede arıtımda Kimyasal ve

biyolojik reaksiyonların gerçekleştiği yerler genel olarak “reaktör” olarak adlandırılır (Samsunlu, 2011). Bu reaktörlerin tasarımında; organik ve hidrolik yüklerin, atık suyun reaktörlerden geçişi sırasındaki hidrodinamik davranışlarının, biyolojik arıtımda meydana gelen kinematik reaksiyonların, kütle taşınımı ve substrat oluşumu gibi olayların; sistem kontrolü ve tesisinin verimli ve ekonomik bir şekilde tasarımı için hesaplanması gerekmektedir. Su ve atık su arıtma reaktörlerinin tasarımı temel olarak bir kimya mühendisliği problemi. Fakat kimya mühendisliğinde çözülecek problemlerin karmaşık olması bu reaktör probleminin çözümünde klasik yöntemlerin yüzeysel kalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle bu problemlerin daha gerçekçi, detaylı ve kontrol edilebilir şekilde çözülmesi gerekmektedir (Do-Quang, vd., 1999).

Hemen hemen bütün su ve atık su arıtma sistemleri suyun sürekli akışına dayanır. Bazı sistemler bu akışın iyi karışımını gerektirirken bazıları da piston akışa gerek duyarlar. İyi karışan sistemlere örnek olarak aktif çamur sistemleri, kimyasal dozlama üniteleri ve oksijensiz çürütücüler verilebilirken, piston akışlı sistemlere kum filtreleri, durultucular, adsorbsiyon (tutma) üniteleri ve çözünmüş hava flotasyon üniteleri verilebilir. Aktif çamur tesislerinde nitrojen giderimi gibi bazı yöntemlerle hem piston akım hem de tam karışımli reaksiyon bölgelerinin birleştirilmesine ihtiyaç duyarlar. Diğer yandan mikroorganizmaların taş seramik, plastik ve benzeri maddelerin üzerinde tutulması ve birbirlerine tutunarak çoğalması prensibine dayanarak arıtım yapan damlatmalı filtreler, biyodisk tesisleri gibi biyolojik arıtma tesislerinde hem hidrolik yükleme koşulları hem hidrodinamik koşullar hem de kimyasal reaksiyonların kinetiği ve kimyasal reaksiyona giren maddelerin taşınımı gibi hususlar son derece önemlidir ve bunların sürekli kontrolü gerekmektedir. Laboratuvar ölçeğinde bir tesisin tasarım koşulları ve tasarım verilerinin elde edilmesi için yapılan deneyler, genelde ideal akış şartlarında işletilmektedir (URL 2, 2018). Bu tasarım verileri de ne yazık ki tam ölçekli tesislere taşındığında, büyük ölçekler üzerinde benzer ideal şartlara ulaşmanın zorlukları ve büyük maliyetleri nedeniyle uyumsuzluklar göstermektedir. Buda tasarım mühendislerini çoğu zaman güvenli tarafta kalmak için gerekenden daha büyük ve pahalı ekipman seçimine götürmektedir. Bu da mühendisliğin üç kuralından biri olan ekonomiklikten uzaklaşılmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle atık su arıtma tesislerinin projelendirilmesinde tesisten en fazla miktarda verim alınması hedeflenerek projelendirilmesi son derece önemlidir. Gelişen teknolojiyle birlikte verimli bir tasarım oluşturmak ve aynı zamanda var olan sistem ekipmanlarını

denetlemenin en ekonomik ve kolay yolu modern hesaplama yöntemlerinin kullanılmasıdır.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada tip proje olarak uygulanan atık su arıtma tesisleri biyolojik arıtma ünitelerinden oksidasyon hendeğinin (OH), atık su arıtım verimi ve işletme maliyetini doğrudan etkileyen hidrolik ve hidrodinamik açıdan değerlendirilmesi, seçilen bir atık su arıtma tesisinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile yapılarak, OH'lerin hidrolik açıdan zayıf yönlerinin belirlenmesi ve bu zayıf yönlerin giderilmesi için uygun kesit ve özgün modeller verilerek, atık su arıtma tesisinin istenilen akım koşulların da maksimum verim ve düşük maliyette projelendirilmesi ve geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla tam ölçekli tesis olarak, Gümüşhane Merkez İlçe'nin atık sularının arıtımının yapıldığı, Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisinin (GASAT) biyolojik arıtım sağlayan OH'ler seçilmiştir.

Tezin birinci aşamasında, belirlenen tam ölçekli atık su arıtma tesisinin mevcut arıtım yöntemi (aktif çamur yöntemi), tasarım kriterleri ve işletme koşulları ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Bu kapsamda, mevcut tam ölçekli tesis projeleri ile yerinde yapılan deneyler sonucu tasarım verileri elde edilmiştir.

Tezin ikinci aşamasında, atık su arıtma sisteminin mevcut projeleri ve tam ölçekli tesiste yapılan deneysel çalışmalar yardımıyla elde edilmiş mevcut tasarım ve işletim verileri, HAD analizi için ANSYS Workbench programına girilmiştir. Öncelikli olarak, mevcut işletme koşullarında sınır koşulları girilerek tesisin ANSYS Fluent programı ile HAD analizleri yapılmış ve deney sonuçlarıyla analiz sonuçları karşılaştırılarak modelin doğrulanması yapılmıştır. Daha sonra, Model 1'de tesisin tam kapasite de ve proje değerleriyle, Model 2'de ise imalat hatalarından kaynaklı geometrik simetri sorunları giderilerek modellemeleri ve HAD analizleri yapılarak, karşılaştırılmıştır.

Tezin üçüncü aşamasında, Model 3 ve 4 mevcut tesisin yapılan HAD analizi sonucunda, tesisin hidrolik ve hidrodinamik davranışlarının iyileştirilmesi için tasarlanmıştır. Oluşturulan bu modellerin analiz sonuçları hem mevcut modelle hem de kendi içlerinde genel olarak karşılaştırılarak en uygun özgün modeller sunulmuştur.

1.2. Genel Bilgiler

Bu çalışmada seçilen problem kapsamında atık su arıtma tesislerinin biyolojik arıtma ünitelerinden aktif çamur yöntemi ve onun bir varyasyonu olan OH'lerden bahsedilecektir.

1.2.1. Aktif Çamur

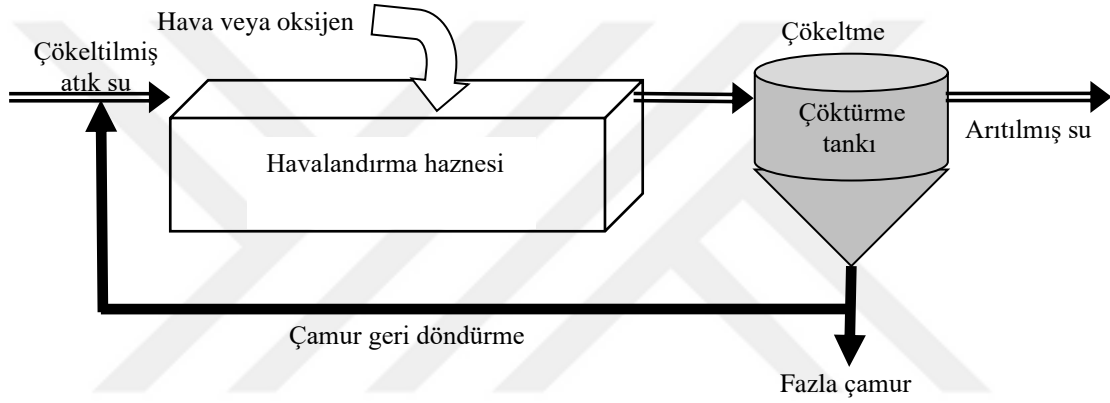
Aktif çamur metodunun amacı, atık suyun içindeki organik maddelerin mümkün olduğu kadar biyolojik anlamda ortadan kaldırmaktır. Atık suları aktiveleştirilmiş biyolojik yumaklar haline dönüştürmeyi hedef alan aktif çamur metodu, kirli suların aerobik koşullar altında doğal olarak kendi kendini arıtımı olayına eşdeğer bir işlemdir. Bu sistemin esası şu şekilde ifade edilir.



Bu sistemde kullanılmış su içindeki mikroorganizmalar askıdaki ve çözünmüş haldeki maddeleri gıda maddesi olarak kullanırlar. Mikroorganizmalar aerobiktir. Bundan dolayı aktivitelerinin sürdürülebilmesi için sisteme hava veya oksijen verilmesi gerekir. Havalandırma havuzundan çıkan karışık sıvı ikinci durultucu adıyla bilinen çökeltme ünitesine geçirilir. Bu durultucu akış hızını düşürerek karışık sıvının yer çekimi ile çökeltmesini sağlar. Çökeltmenin iyi olabilmesi aktif çamurun özelliğine bağlıdır. Buda sistemde mikroorganizma ile organik madde arasındaki ilişkinin iyi kurulabilmesine bağlıdır. Son çökeltme havuzu (durultucu) tabanına çöken aktif yumakların bir kısmı, havalandırma havuzuna giren suyu, mikroorganizmalarla aşılama amacıyla geri döndürülür. Buna geri devir çamuru adı verilir. Durultucuda çökelen karışık sıvının üzerinde kalan berrak sıvı sistemden dışarı atılır (sistem çıkış suyu). Çökeltme haznesinin alt tarafından alınan geri dönüş aktif çamuru sisteme giren kullanılmış su ile havalandırma haznesinde karışır. Bu karışıma karışık sıvı denir. Karışık sıvı havalandırma haznesinin içinde birkaç saat (genellikle 6 saat) havalandırılır. Bu sürede atık sudaki bazı organik maddeler yeni mikroorganizma yumakları haline, diğerleri ise başka maddelere dönüştürülür (H₂O ve CO₂ gibi). Karışık sıvı havalandırma haznesinden durultucuya geçer ve yumaklar çökelererek geri dönüş aktif çamurunu oluşturur. Çamurun havalandırma haznesine geri döndürülerek verilmesinin sebebi, havalandırma haznesinde karışık sıvı

içindeki mikroorganizma miktarının kontrol edilmesidir. Aktif çamur sisteminin başarılı şekilde operasyonunun dayandığı temel fikir, karışık sıvıdaki (gıda maddesi/mikroorganizma) oranı dengesinin korunmasıdır. Bu denge genellikle yöntem yükü oranı olarak (Gıda Maddesi/Mikroorganizma, Food/Microorganism GM/M) şeklinde ifade edilir. Uygun operasyon koşulları mikroorganizmaların gıda maddesi ve oksijen gereksinimini dengeli bir şekilde sağlar. Eğer gıda maddesi veya oksijen mikroorganizmaların çoğalmalarını kısıtlayıcı etki yaparsa oluşan yumaklar durultucuda yeterince çökeltilemezler (Berkün, 2017).

Geleneksel bir aktif çamur tesisinin akım şeması Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Geleneksel aktif çamur tesisi

1.2.2. Aktif Çamur Sistemi ile İlgili Temel Kavramlar

Aktif çamur sistemi ile ilgili kavramların anlaşılabilmesi için öncelikle ilgili terimlerin anlamlarının bilinmesi gerekir. Aktif çamur (AÇ): Havalandırılan kullanılmış su içinde oluşan mikroorganizma topluluklarıdır. Aktif çamurlar mikroorganizma toplulukları, organik maddeler ve bir kısım inorganik maddelerden meydana gelir. Mikroorganizmalar; bakteriler, mantarlar ve tek hücreliler ile sinek larvaları, kurtlar vs. gibi çok hücreli canlılardan oluşur. Bakteriler ve mantarlar organik maddeleri ayrıştırarak çoğalırlar. Aktif çamur yumakları, koloidal ve süspansiyon haldeki maddeleri çözültüden adsorbe etme özelliğindedir.

Karışık sıvı (KS): Aktif çamurun ve kullanılmış suyun havalandırma havuzundaki karışmış halidir.

Karışık sıvıdaki yanabilir karakterli askıda katılar (KSYKAK): Askıda katı maddelerin aktif (canlı) kısmının konsantrasyonudur. Yakma deneyleri ile bulunur. Bunun değeri havalandırma haznesindeki mikroorganizma konsantrasyonu ile orantılıdır.

Net çoğalma miktarı: Mikroorganizmaların çoğalma ve azalma miktarları arasındaki farktır. Net çamur miktarı olarak da bilinir.

Hücrelerin ortalama tutulma süresi (HOTS): Mikroorganizmaların (hücrelerin) sistemde harcadığı ortalama zamandır. Sistem kontrolünde önemlidir.

Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ): Atık suyun içerisindeki organik içeriğin ve kirlilik miktarının belirlenmesi için en yaygın testlerden birisi Biyokimyasal Oksijen İhtiyacıdır. Organik içeriğin biyolojik oksidasyonunda ki mikroorganizmalar tarafından kullanılan çözülmüş oksijen (ÇO) miktarıdır. Genellikle 5 günlük BOİ değerleri kullanılır. Fakat BOİ'nin tam anlamıyla ölçülmesi 28 gün sürmektedir. BOİ₅ ile BOİ'nin %60'lık bir kısmı ancak belirlenebilir. 5 günlük BOİ değerlerinden 28 günlük BOİ değerlerinin hesaplandığı çeşitli matematiksel yöntemler vardır (Sibil vd., 2014).

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ): Kimyasal olarak oksitlenebilen organik maddelerin oksijen ihtiyacı KOİ ile ifade edilir. KOİ asit ortamda kuvvetli bir kimyasal oksitleyici (potasyum dikromat gibi) vasıtasıyla ölçülür. Kimyasal olarak oksitlenebilecek bileşikler, biyolojik olarak oksitlenebileceklerden daha fazla olduğundan, kimyasal oksijen ihtiyacı, biyolojik oksijen ihtiyacından daha büyüktür. Tasfiye edilmemiş atık sular için BOİ₅/KOİ = 0,4-0,8 (ortalama 0,65) alınabilir.

Gıda maddesi / mikroorganizma oranı (GM/M): GM, atık suyun içindeki kgKOİ/gün (veya kgBOİ/gün) olarak tanımlanan gıda maddesi konsantrasyonudur. M, havalandırma haznesindeki mikroorganizmaların KSYKAK (kg) olarak toplam miktarıdır (Katı Envanteri). Sistem kontrolünde önemlidir. GM değerinin hesabında geri dönüş çamuru (Geri Dönüş Çamuru, GDC) dikkate alınmaz.

Çamur yaşı (ÇY): Kullanılmış sudaki askıda katı madde miktarının (kg/gün), havalandırma haznesindeki katı envanterine oranıdır. HOTS ile karıştırılmamalıdır.

Geri döndürülen aktif çamur (GDAÇ): Durultucunun alt akış kısmında toplanan ve havalandırma haznesine geri döndürülen karışık sıvı çökeltisidir.

Atılan aktif çamur (AAÇ): Biyolojik sistemde dengeyi sağlamak için sistemden atılması gereken fazla mikroorganizma miktarıdır.

Yöntem yükü: GM/M ile ölçülen organik yükleme değeridir.

Katı envanteri (KE): Havalandırma haznesinde askıdaki katıların içindeki yanıcı katı maddelerin toplam miktarıdır. Yanıcı katılar envanteri olarak da bilinir (Berkun, 2017).

1.2.3. Aktif Çamur Konfigürasyonları

Temel aktif çamur prosesinin pek çok uygulaması vardır. Tablo 1.1’de biyolojik olarak parçalanabilir Kimyasal Oksijen İhtiyacı’nın (KOİ) oksidasyonu ve nitrifikasyon için kullanılan bazı konfigürasyonları listelemektedir.

Nitrifikasyon bakterilerinin çoğalması heterotrofik bakterilerden çok daha yavaş olduğu için, nitrifikasyon için tasarlanan sistemler genellikle daha uzun hidrolik bekleme süresi ve çamur yaşına sahiptir.

Tablo 1.1. Aktif Çamur konfigürasyonları

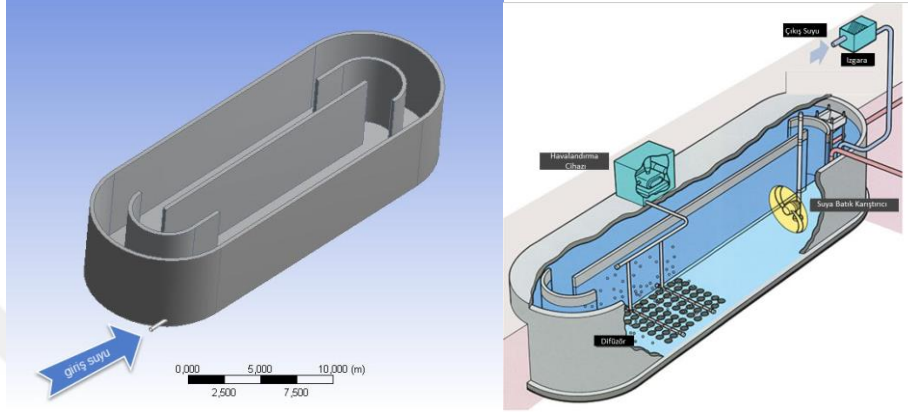
Aktif çamur konfigürasyonları
Piston akımlı (klasik)
Kademeli beslemeli (kademeli havalandırmalı)
Tam karışım
Oksidasyon hendeği
Ardışık kesikli reaktör
Kademeli aktif çamur
Temas stabilizasyonlu
Selektörlü klasik
Kademeli havalandırmalı aktif çamur
Uzun havalandırmalı

1.2.4. Oksidasyon Hendekleri

OH’leri aktif çamur biyolojik arıtma yönteminin modifiye edilmiş bir şeklidir (Şekil 1.2). Güvenirliliği, işletme kolaylığı ve az çamur üretimi gibi avantajlarından dolayı günümüzde geniş bir kullanım alanına sahiptir (Yang vd., 2011).

İdeal akış modeli piston akımdır ve geri dönüşü yoktur. Hız, katı maddelerin çökmesini önlemek için 0,3 m/sn’nin altına düşmemelidir. Hendek içerisindeki akış modeli çok karışık olduğundan akışın hidrodinamik karakteristikleri tasarımda çok önemli rol oynamaktadır (Luo vd., 2005). Mekanik havalandırıcılarla donatılmış oval veya kanallı yapısı ile, piston akım ve tam karışım reaktörlerin faydalarını tek bir tank sağlar (Şekil 1.2). Havalandırma için kullanılan enerji aynı zamanda karıştırmayı da sağlar. Karışık sıvı

5-15 dakikada sirkülasyonu tamamlar. Kanal içerisindeki akım gelen atık suyu 20-30 kez seyreltir. Sonuç olarak, yöntem kinetikleri tam karışımli reaktör yaklaşımıdır ve kanal boyunca oluşan piston akımla sağlanır. Akım bir devreyi kısa sürede tamamladığı halde hidrolik bekletme süresi nispeten uzundur.



Şekil 1.2. Oksidasyon hendeği

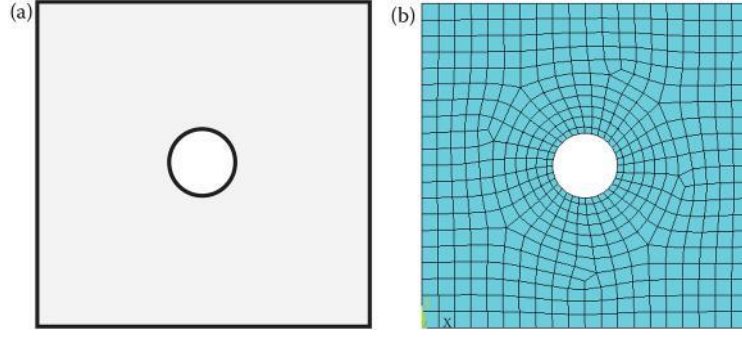
Bu sistem hem denitrifikasyon hem de Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) giderimini sağlamak için işletilebilir (%75-90 artırım verimi). İşletilmesi nispeten kolaydır ve iyi bir arıtma sağlar. Bu yöntem tipik olarak arazinin sınırlı olmadığı daha küçük, kırsal yerleşimlerde uygulama bulur (Davis, 2010).

1.2.5. Sonlu Elemanlar Analizi

Turner vd. (1956) tarafından ilk defa sunulan Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) yöntemi, genel sınır koşullarına tabi, karmaşık hesap alanlarına sahip, çeşitli "gerçek dünya" mühendislik problemlerine yaklaşık çözümler sunmak için geliştirilen, güçlü bir hesaplama tekniğidir.

Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) veya SEA, karmaşık bir nesneyi basit bloklarla inşa etmek veya karmaşık bir nesneyi basit bloklarla bölerek küçük ve yönetilebilir parçalar haline getirmek fikrine dayanır (Şekil 1.3). Bu basit fikrin uygulanmasına mühendislikte olduğu gibi günlük hayatın her adımında karşılaşılabılır.

SEY'de matematiksel terimlerle, sadece limit kavramı kullanılır. SEY'de amaç, sonlu sayıda basit parçayla pürüzsüz bir nesneye yaklaşmak veya temsil etmek ve bu gösterimin doğruluğunu iyileştirmek için bu tür parçaların sayısını arttırmaktır.



Şekil 1.3. Delikli bir plaka ve sonlu elemanlara bölünmüş hali

1.2.5.1. Neden Sonlu Elemanlar Yöntemi?

Bilgisayarlar, mühendislik uygulamalarında devrim yaratmıştır. Sıkıcı el çizimleri ile yapılmış olan bir ürünün tasarımı, bilgisayar grafiklerini kullanarak, bilgisayar destekli tasarım (BDT) ile değiştirilmiştir. Elle yapılan hesaplamalarla yapılmış bir tasarımın analizi ve testlerin birçoğu, bilgisayar destekli mühendislik (BDM) yazılımı kullanılarak, bilgisayar simülasyonları ile yer değiştirmiştir. Bununla birlikte; BDT, BDM ve bilgisayar destekli imalat (BDİ), mühendislik alanını büyük ölçüde değiştirmiştir.

BDM için tüm hesaplama araçları arasında SEY, mühendislik öğrencileri ve profesyoneller için en yaygın şekilde uygulanan yöntem veya mevcut en güçlü "hesaplayıcılar" arasındadır. SEA, bir ürün tasarımını tamamıyla test etmeyi sağlar. Kullanıcıların, tasarımlarını anlamalarına ve ürün geliştirme sürecinin başlarında uygun tasarım değişiklikleri yapmalarına yardımcı olur (Chen ve Liu, 2015).

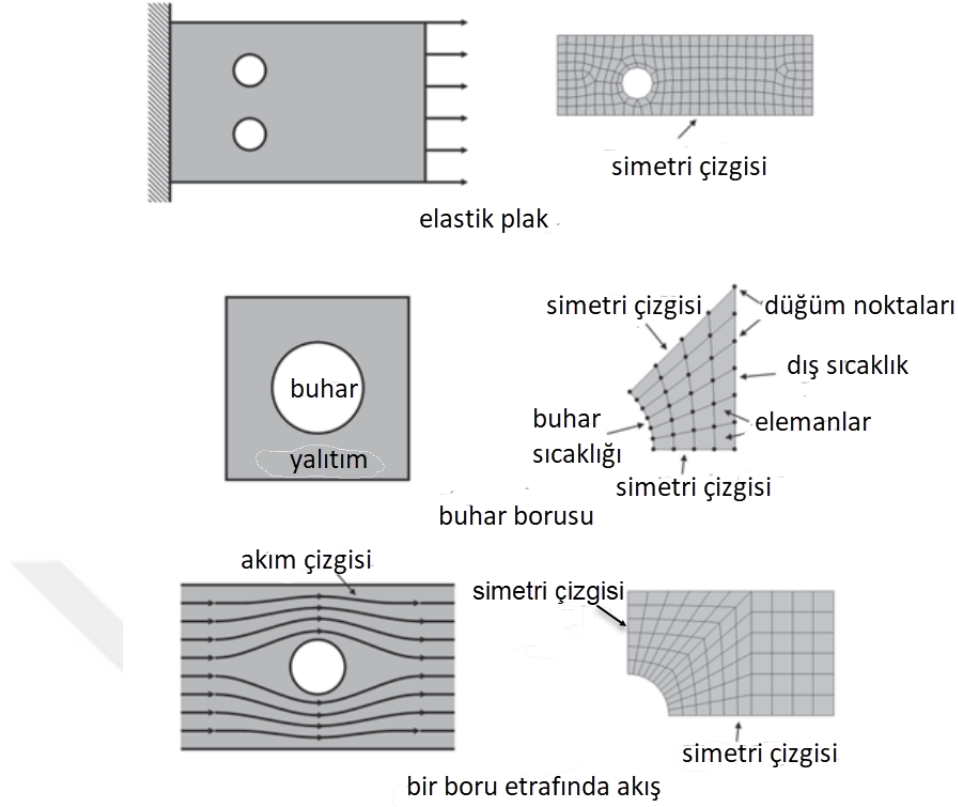
1.2.5.2. Mühendislikte Sonlu Elemanlar Uygulamaları

SEY, birçok mühendislik probleminin matematiksel modellerini; farklı mekanik, termik veya elektromanyetik yükler altında; kafes ve çerçeve yapılarının veya karmaşık makinelerin gerilme analizinden, otomobillerin, trenlerin veya uçakların dinamik tepkilerine çözmektedir. Otomotiv, havacılık, savunma, tüketici ürünleri ve endüstriyel ekipmanlardan, enerji, nakliye ve inşaat alanlarına kadar sanayide sayısız sonlu elemanlar uygulamaları bulunmaktadır. SEA'nın uygulamaları, son yıllarda malzeme bilimi, biyomedikal mühendisliği, jeofizik ve daha birçok gelişmekte olan alana da genişletilmiştir.

1.2.5.3. Sonlu Elamanlar Yöntemi için Genel Süreç

Bir SEY analizi için genel süreç aşağıdaki gibidir.

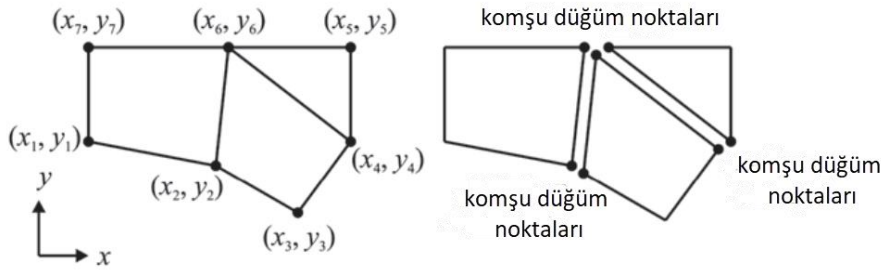
- Bir sonlu eleman ağı “mesh” oluşturmak için CAD / geometrik modeli parçalar halinde bölün (düğüm noktalı elemanlar topluluğu, Şekil 1.4)
- Fiziksel özelliklerin her bir element üzerindeki davranışını tanımlayın. Yaklaşık bir sistem eşitliği oluşturacak şekilde düğümlerdeki elemanları bağlayın
- Yükleri ve sınır koşullarını uygulayın (ör. Modelin hareket etmesini önlemek için)
- Düğüm noktalarında bilinmeyen miktarları içeren denklemler sistemini çözün (ör. yer değiştirme)
- Elemanlarda veya düğümlerde istenen miktarları hesaplayın. (ör. gerilme ve basınçlar)
- Ticari SEA yazılımında, bu prosedür tipik olarak aşağıdaki şekilde yeniden düzenlenmiştir
- Ön işleme “Preprocessing” (SEY modelleri oluşturun, eleman özelliklerini tanımlayın ve yükleri ve kısıtlamaları uygulayın)
- SEA çözücü “FEA solver” (SEY sistem denklemlerini bir araya getirip çözer, eleman sonuçlarını hesaplar)
- Sonradan işleme “Postprocessing” (sonuçları sıralama ve görüntüleme) (Chen ve Liu, 2015)



Şekil 1.4. Uygulamalı mühendislik problemlerinin SEA gösterimi, (Madenci ve Guven, 2015'ten değiştirilmiştir)

1.2.5.4. Düğüm Noktaları (Nodes)

Şekil 1.5'te gösterildiği gibi, pratik mühendislik probleminin matematiksel bir ifadeye dönüşümü, ilgi alanın alt alanlara bölünmesiyle sağlanır. Bu elemanlar birbirlerine ortak düğüm noktalarıyla bağlıdır. Bir düğüm noktası, var olan fiziksel problemin, uzayda ki serbestlik derecesinin ve hareketinin koordinat konumunu belirtir. Denklemlerin matris sistemindeki düğüm noktaları ile ilgili bilinmeyenleri, birincil alan değişkenlerinden birini (veya daha fazlasını) temsil eder. Bir elemana atanmış düğüm değişkenlerine, elemanın serbestlik derecesi denir. Şekil 1.5'te gösterilen ortak düğüm noktaları, düğüm değişkenleri (serbestlik derecesi) için süreklilik sağlamaktadır. Bir düğüm noktasının serbestlik dereceleri (SD), problemin fiziksel doğası ve eleman türü tarafından belirlenir.



Şekil 1.5. Bir alanın alt alanlara bölünmesi (elemanlara) (Madenci ve Guven, 2015'ten değiştirilmiştir)

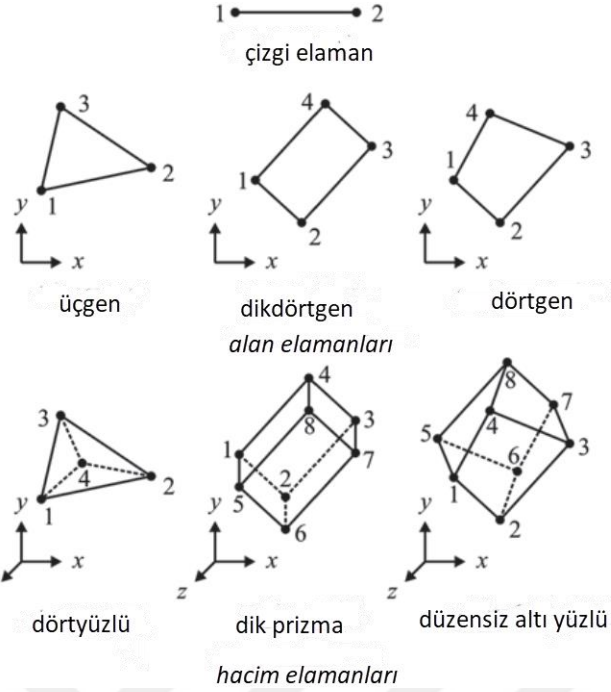
Tablo 1.2'de, farklı fiziksel problemler için SEA 'da kullanılan serbestlik dereceleri (SD) ve karşılık gelen "kuvvetler" verilmektedir.

Tablo 1.2. Farklı mühendislik dalları için SEA'da serbestlik dereceleri ve kuvvet vektörleri

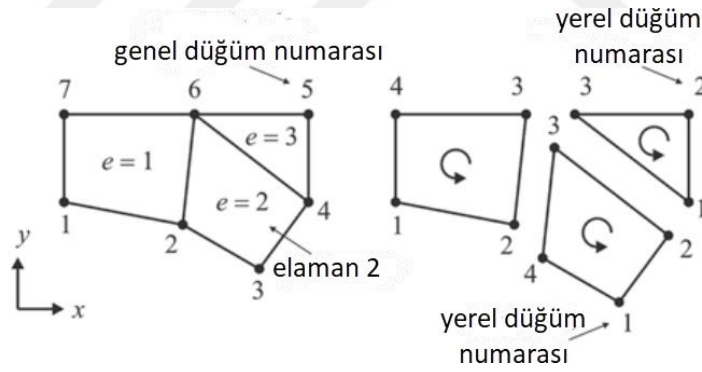
Bilim dalı	Serbestlik derecesi	Kuvvet vektörü
Yapısal/katılar	Yer değiştirme	Mekanik kuvvetler
Isı iletkenliği	Sıcaklık	Isı akışı
Ses akımı	Yer değiştirme potansiyeli	Parçacık hızı
Potansiyel akım	Basınç	Parçacık hızı
Genel akımlar	Hız	Akışlar
Elektrostatik	Elektrik potansiyeli	Şarj yoğunluğu
Manyetostatik	Manyetik potansiyeli	Manyetik şiddet

1.2.5.5. Elemanlar (Elements)

Problemin geometrisine ve fiziksel yapısına bağlı olarak, ilgi alanı, çizgi, alan veya hacim elemanları kullanılarak ayrık hale getirilebilir. SEA (FEA) da ki yaygın elemanlardan bazıları Şekil 1.6'da gösterilmiştir. Bir eleman numarası ile belirlenen her eleman, genel düğüm numaralarının belirli bir dizisi ile tanımlanır. Bu belirli dizi (genelde saat yönünün tersine) eleman seviyesindeki düğüm noktası numaralandırmasına dayanır. Şekil 1.7'de gösterilen elemanlar için düğüm numaralandırma sırası Tablo 1.3'te sunulmuştur (Madenci and Guven, 2015).



Şekil 1.6. Çizgi, alan ve hacim elemanlarının, eleman seviyesindeki düğüm noktası sayılarıyla açıklaması (Madenci ve Guven, 2015'ten değiştirilmiştir)



Şekil 1.7. Bir alanın ayrıştırılması: eleman ve düğüm numaralandırma (Madenci ve Guven, 2015'ten değiştirilmiştir)

Tablo 1.3. Eleman seviyesindeki numaralandırmanın açıklanması

Eleman numarası	Düğüm 1	Düğüm 2	Düğüm 3	Düğüm 4
1	1	2	6	7
2	3	4	6	2
3	4	5	6	

1.2.6. ANSYS

ANSYS, mühendislikteki ısı transferi ve elektromanyetik analizlerin yanı sıra yapısal ve titreşim analizleri ve akışkanlar dinamiği ile fiziğin bütün bilim dallarında ki etkileşimleri benzeştirmek için genel amaçlı bir sonlu elemanlar yazılım paketidir. ANSYS, bir ürün prototipi üretilmeden sanal ortamda tasarımların test edilmesini sağlar. ANSYS ile ürünün zayıf yönleri belirlenebilir ve geliştirilebilir, ürün ömrü hesaplanabilir ve sanal ortamlarda 3B simülasyonlar yapılarak olası sorunlar öngörülebilir. ANSYS, havacılık, otomotiv, biyomedikal, köprü ve inşaat mühendisliği, elektronik ve ağır teçhizat ve makine vb. aletler, olmak üzere kapsamlı olmayan sanayi dalları tarafından kullanılmaktadır. BDT boyutu sadece sonlu elemanlar modelinin kendisi ile sınırlı değildir, ayrıca ANSYS sonlu elemanlar yönteminin uygulanması için gereken düğüm noktalarının ve elemanların konumlarını belirten bir yöntemdir. BDT, düğüm noktaları ve elemanlar oluşturmak için bir sonlu eleman ağı bulma işleminden oluşur. SEY, bir yapıyı birkaç elemana (yapı parçalarına) ayırır, her bir elemanın davranışının basit bir açıklaması verir ve daha sonra bu elemanları tekrar bir araya getirir. Bu işlem eş zamanlı cebirsel denklemler kümesi ile tanımlanır.

ANSYS'e bağlı anahtar ürünler şunları içerir:

- ANSYS Structural: Bu ürün, yapıları hesaplamak için uygulanan mekanik simülasyonlara izin verir. Başlıca özellikleri şunlardır:
- ANSYS Mechanical: Bu ürün, Radyasyon modellemesi ile termal çözücü ilavesi ile ANSYS Yapısal ile aynı özelliklere sahiptir.
- ANSYS CFX ve Fluent: Bu iki yazılım programı akışkanlar mekaniğinde simülasyonlar yapmak için kullanılabilir.
- ANSYS AUTODYN ve ANSYS LS-DYNA: Bu yazılım paketlerinde, yukarıda listelenen ürünlerin tersine, çözülecek denklemler için açık formülasyonlar kullanan çözücüler bulunur. Uygulama alanları, mekanik olarak çok büyük şekil değiştirmeleri içeren modellerle sınırlandırılmıştır.
- ANSYS Electromagnetics ve Ansoft: Bu ürün, elektromanyetik olayları içeren modellerin çözülmesini sağlar.
- ANSYS Multiphysics: Bu ürün, kapalı nümerik simülasyonlar için tüm ANSYS araçlarını birleştirir.

ANSYS kodunu uygulamak için iki yazılım ortamı kullanılabilir:

- ANSYS Classic: Kronolojik olarak geliştiriciler tarafından sunulan ilk yazılım çözümüdür. Temel işlemlerle kolaylıkla monte edilebilen basit geometrilere sahip sonlu eleman modelleri oluşturmak için tasarlanmıştır. Bu ortamda, kullanıcı doğrudan komut dosyası dilini, örneğin ANSYS Parametrik Tasarım Dili'ni (APDL) kullanarak sonlu eleman modelleri oluşturur. ANSYS Classic, sayısal simülasyonlar konusunda deneyime sahip olan kullanıcılara yöneliktir.
- ANSYS Workbench: Bu platform, model oluşturmak için, orijinal ANSYS kodunu yeniden kullanarak, farklı bir yaklaşım benimser. Bu, özellikle karmaşık geometri (parçaları olan birçok nesne) problemlerin çözümü için uygundur ve kullanıcıların hesaplamalarda deneyim sahibi olmasına gerek yoktur. Bu ortamda, kullanıcı esas olarak modelin geometrisi üzerinde çalışır, modelin kendisinde çalışmaz. Bu nedenle, platform, çözme işlemini başlatmadan önce, kullanıcı tarafından belirtilen komutların ANSYS koduna dönüştürülmesini tamamlar. Bununla birlikte oluşturulan sonlu eleman modelleri, yine de ANSYS koduna özel komutlar ekleyerek elle çalıştırılabilir (ANSYS HELP, 2013).

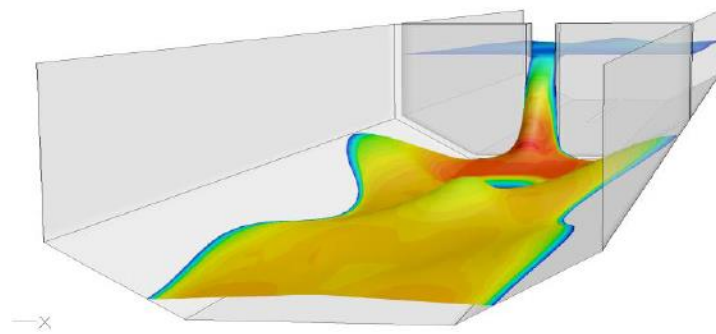
1.2.7. ANSYS Workbench ile Sonlu Elemanlar Analizi

Son birkaç on yılda, SEY için pek çok ticari program hizmete sunulmuştur. Sonlu elemanlar simülasyon çözümlerinin kapsamlı bir yelpazesi arasında önde gelen BDM şirketleri tarafından sunulan ANSYS Workbench, gelişmiş mühendislik simülasyon teknoloji paketi ile, ANSYS'e sorunsuzca entegre edilmek için tasarlanmış, kullanıcı dostu bir platformdur. Büyük BDT sistemlerine çift yönlü bağlantı sunar. Workbench ortamı, mühendislik ekipleri arasında üretkenliği ve kullanım kolaylığını artırmaya yöneliktir. ANSYS Workbench, birçok farklı şirkette ürün geliştirme için vazgeçilmez bir araç olarak, pek çok farklı mühendislik alanında uygulama bulmaktadır (Chen ve Liu, 2015).

ANSYS Workbench platformu, ileri mühendislik simülasyon teknolojisinin üstün bilgi birikiminin üzerine kurulmuş bir sistemdir. Yenilikçi proje şeması görüntüsü, kullanıcının, tüm simülasyon işlemini, sürükle-bırak basitliğiyle zorlu multifizik analizlerinde bile yol göstererek, tek ekranda yapmasını sağlar. ANSYS Workbench platformu; çift yönlü BDT etkileşimi, güçlü ve otomatik ağ yapısı, her adımda güncelleme mekanizması, gelişmiş parametre yönetimi, etkileşimli optimizasyon araçları ile simülasyon tabanlı ürün gelişimini etkinleştirerek eşi görülmemiş bir üretkenlik sağlar.

1.2.8. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)

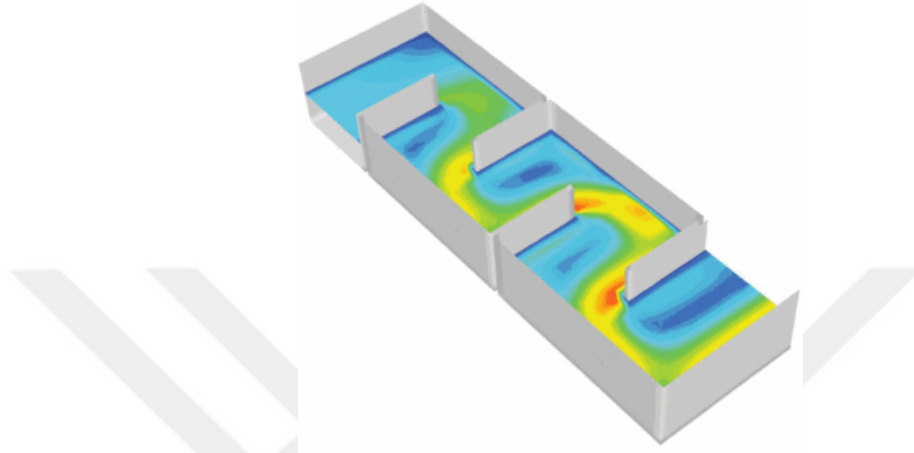
Birçok mühendislik uygulama alanında karşılaşılan akışlar karmaşık geometriler etrafında olup, 3B, kararsız, üniform olmayan ve türbülanslı akışlardır. Akışkanların hareketini belirlemek için, temel denklemlerden ve deneysel sonuçlardan yola çıkarak geliştirilmiş bazı matematiksel yöntemler vardır. Bu yöntemlerin sayısal çözümlenmesi, karmaşık modeller için ancak bilgisayar desteği ile mümkün olabilmektedir. Sonlu elemanlar gibi sayısal yöntemler kullanılarak geliştirilen matematiksel modeller bilgisayar desteği ile çok hızlı ve etkili bir şekilde çözülebilir. 3B modellerde hassas çözüm için sonlu eleman sayısı çok fazla artacağından çözüm zamanı ve zorluğu da çok fazla artmaktadır. 3B'li hassas çözümler, günümüzde kullanılan hızlı ve bellek kapasitesi yüksek bilgisayarlar yardımı ile yeni yeni mümkün olmaktadır. Akışkanlarla ilgili problemlerin çözülmesinde gelişen teknolojiyle birlikte yeni ve gelişmiş bilgisayar yazılımları piyasaya çıkarılmıştır. Bu yazılımlardan HAD yazılımları yabancı literatürde “Computational Fluid Dynamics” (CFD) olarak bilinen çok geniş kapsamlı yazılımlardır. CFD ya da Türkçesi ile HAD akımın bünye denklemlerini bilgisayar yardımıyla çözmekte kullanılan bir tekniktir. Akışkanların hareketini belirlemek için temel denklemlerden yola çıkılarak geliştirilmiş bu teknikle, karmaşık akımların sayısal çözümlenmesi sonlu elemanlar, sonlu farklar veya sonlu hacimler yöntemlerinin uygulanmasıyla mümkün olabilmektedir. Şekil 1.8’de HAD ile elde edilmiş bir serbest yüzeyli akım modeli görülmektedir (Aydın, 2005).



Şekil 1.8. Sayısal modelleme ile elde edilmiş serbest yüzeyli akım modeli (Aydın, 2005’ten alınmıştır)

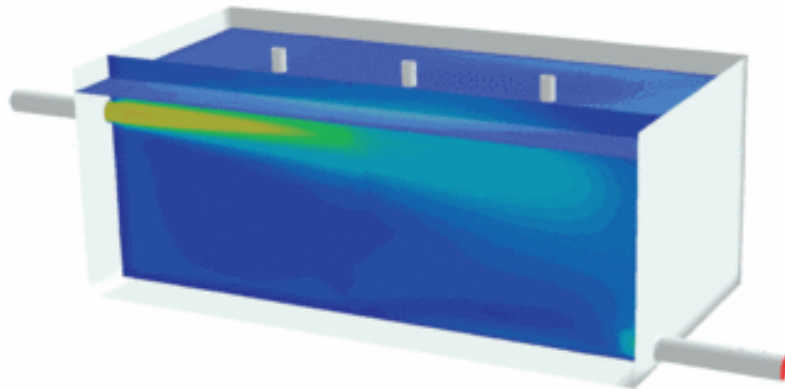
Örneğin Şekil 1.9’da bir kontak tankın HAD simülasyonu sonucu hız dağılımları görülmektedir. Burada HAD simülasyonları bir kontak tank için tutma zamanı dağılıma eğrilerinin hızlıca belirlenmesi için kullanılabilir. Örneğin suya enjekte edilmiş bir

belirtecin zamanla konsantrasyonundaki değişiminin sonuçları HAD ile incelenebilir (URL 3, 2018). Bu örnekte atık suyun havayla temasını sağlayarak biyolojik olarak arıtımını sağlayan bir kontak tankın hız alanları gösterilmiştir. Hız alanlarına bakıldığında yeşil, sarı ve turuncu renkler sırasıyla su hızının fazla olduğu alanları göstermektedir.



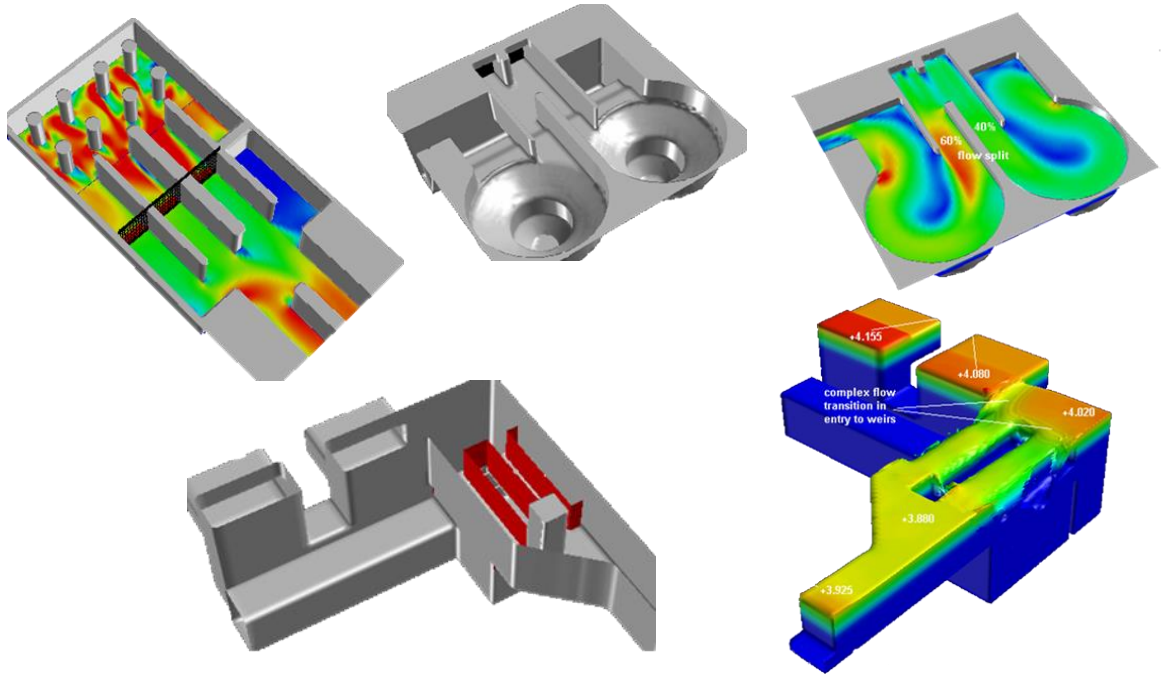
Şekil 1.9. Bir kontak stabilizasyon tankının HAD simülasyonu ve hız büyüklükleri (URL 3, 2018).

Şekil 1.10'da bir servis rezervuarında hız dağılımları görülmektedir. Bu örnek rezervuarın giriş ve çıkışları birbirine karşılıklı yerleştirildiğinde, girişten çıkışa rezervuarda kısa bir dinlenmeyle direk olarak geçen su akımı için içme suyu kalitesini negatif yönde etkileyen ölü bölgelerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Şekil incelendiğinde koyu mavi alanlar düşük hızları ve dolayısıyla ölü bölgeleri göstermektedir.



Şekil 1.10. Bir servis rezervuarının HAD simülasyonu ve hız büyüklükleri (URL 3, 2018).

Şekil 1.11’de HAD, bir atık su arıtma tesisinde fiziksel arıtım tesisinin giriş odası, ızgara odası, kum tutucu üniteleri ve taşkın kontrol ve bypass kanalını içeren bir seri elemanlarının analizleri için kullanılmıştır (URL 4, 2018).



Şekil 1.11. Fiziksel arıtım üniteleri HAD simülasyonları (URL 4, 2018)

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere ve matematik hesaplarındaki ilerlemelere bağlı olarak gittikçe daha fazla bir biçimde akademik ve endüstriyel çalışmalarda kendini göstermeye başlamıştır. İlk zamanlarda deneysel akışkanlar dinamiğinin yanında sınırlı olarak kullanılırken sonraları (geçerliliği ve doğruluğu kanıtlanmak üzere) tasarım iyileştirmelerinde daha fazla kullanılır olmuştur. Geometrinin kolayca oluşturulup analiz edilmesine imkân vermesinin yanında, deneysel çalışmalara oranla oldukça da ucuz olması HAD’ın yerini sağlamlaştırmıştır. Günümüzde enstitülerde, üniversitelerde ve endüstride yaygın olarak HAD’dan yararlanılmaktadır (Johnson vd., 2005).

1.2.9. ANSYS Fluent Programı

Bu çalışmada HAD yazılımı olarak ANSYS Fluent kullanılmıştır. Fluent sonlu hacimler yöntemini kullanan bir HAD yazılımıdır. 1983'ten bu yana dünya çapında birçok endüstri dalında kullanılan ve günden güne gelişerek tüm dünyadaki HAD piyasasında en çok kullanılan yazılım durumuna gelen Fluent, en ileri teknolojiye sahip ticari HAD yazılımı olarak kullanıcılarının en zor problemlerine kolay ve kısa sürede elde edilen çözümler sunmaktadır.

ANSYS Fluent, akışkan akışını, ısı transferini ve karmaşık geometrilerdeki kimyasal reaksiyonları modellemek için kullanılan modern bir bilgisayar programıdır. ANSYS Fluent, C bilgisayar dilinde yazılmış olup dilin sunduğu esnekliği ve gücü tam olarak kullanmaktadır. Sonuç olarak, doğru dinamik bellek ayırma, etkili veri yapıları ve esnek çözücü kontrolünün hepsi mümkündür. Buna ek olarak, ANSYS Fluent, kullanıcı / sunucu mimarisi kullanır; bu mimari, kullanıcı masaüstü iş istasyonlarında ve güçlü hesaplama sunucularında ayrı ayrı eşzamanlı işlemler yapmasını sağlar. Bu mimari, etkili çalıştırma, etkileşimli kontrol ve farklı makineler veya işletim sistemleri türleri arasında tam bir esneklik sağlar.

ANSYS Fluent, karmaşık geometrilerle ilgili olarak kolayca oluşturulabilen yapılandırılmamış sonlu eleman ağlarını kullanarak akış sorunlarınızı çözme becerisi de dahil olmak üzere komple ağ esnekliğini sunar. Desteklenen sonlu eleman ağı yapısı türleri arasında 2B üçgen / dörtgen, 3B dört yüzlü / altı yüzlü / piramit / kama / çok yüzlü ve karışık (melez) sonlu eleman ağları bulunur. ANSYS Fluent, ayrıca, akış çözümüne göre sonlu eleman ağınıza düzeltmenize veya büyütmenize olanak sağlar.

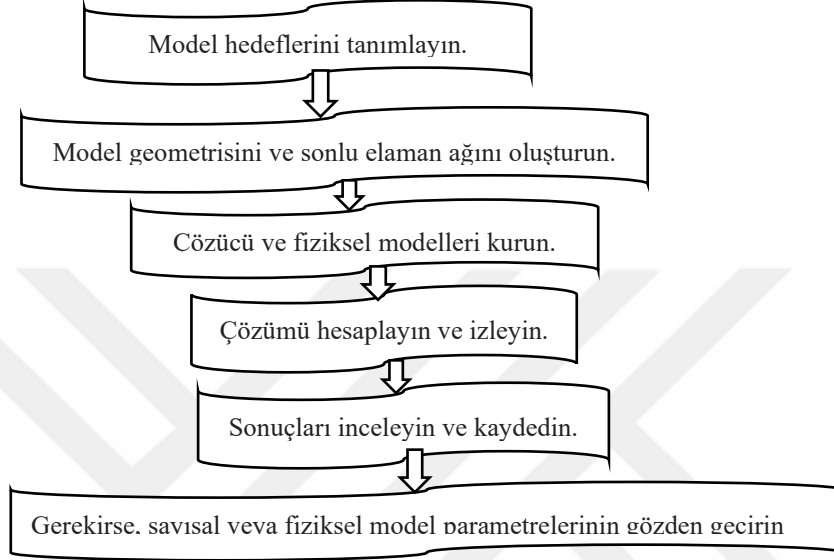
Sonlu eleman ağı oluştururken, ANSYS Fluent, sağlam ve yapılandırılmamış hacimli bir sonlu elman ağı oluşturucu olarak işlev görür. Çözüm modunda iken Fluent aşağıdaki simülasyonların yapılmasını sağlar (Chen ve Liu, 2015).

- 2B düzlemsel, 2B eksenel simetrik, girdaplı 2B eksenel simetrik (dönen simetrik) ve 3B akımlar
- Dörtgen, üçgen, altı yüzlü (tuğla), dört yüzlü, kama, piramit, çok yüzlü ve karışık sonlu eleman ağları üzerindeki akımlar
- Kararlı ve kararsız akımlar
- Tüm hız rejimleri (düşük ses altı, transonik, süpersonik ve hipersonik akışlar) dahil olmak üzere sıkıştırılamaz veya sıkıştırılabilir akımlar

- Viskoz olmayan, laminer ve türbülanslı akımlar
- Newton veya Newtonian olmayan akımlar
- İdeal veya gerçek gazlar
- Isı transferi (Basınçlı, doğal ve karışık konveksiyon, eşlenik (katı / sıvı) ısı transferi ve radyasyon dahil)
- Kimyasal türlerin karıştırılması ve reaksiyonu (Homojen ve heterojen yanma modelleri ve yüzey çökme / reaksiyon modelleri dahil)
- Gaz-sıvı, gaz-katı ve sıvı-katı akışlar için serbest yüzey ve çok fazlı modeller
- Sürekli faz birleşimi ve sprey modelleme dahil, dağınık faz (parçacıklar / damlacıklar / kabarcıklar) için Lagrangian yörünge hesaplamaları
- Kavitasyon modeli simülasyonları
- Faz değişim modelini kullanarak erime / katılaşma uygulamaları
- İzotropik olmayan geçirgenlik, atalet direnci, katı ısı iletimi ve gözenekli yüz basınç sıçrama koşullarına sahip gözenekli ortam
- Fanlar, pompalar, radyatörler ve ısı eşanjörleri için yuvarlanmış parametre modelleri
- Akıma bağlı gürültüyü tahmin etmek için akustik modeller
- Ataletsiz (sabit) veya ataletsiz (dönen veya hızlanan) koordinat sistemleri
- Çoklu referans sistemi ve kayan sonlu eleman ağı seçeneklerini kullanarak çoklu hareket eden referans sistemleri
- Kütle korunumu ve girdap korunumu seçenekleri ile rotor-stator etkileşimlerinin, tork konvertörlerinin ve benzeri turbo makine uygulamalarının karma düzlem model simülasyonları
- Hareketli ve deforme olan sonlu eleman ağı alanlar için dinamik sonlu eleman ağı model simülasyonları
- Hacimsel kütle, momentum, ısı ve kimyasal tür kaynakları
- Malzeme özellikli veri tabanı kullanan simülasyonlar
- Tasarımın revize edildiği veya optimize edildiği simülasyonlar, eklenik çözücü veya sonlu eleman ağı modphor / iyileştirici kullanılarak
- Kullanıcı tanımlı fonksiyonlarla özelleştirilmiş simülasyonlar

1.2.9.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Probleminin ANSYS Fluent ile Çözüm Adımları

Çözölmek istenen problemin önemli özellikleri belirlendikten sonra, aşağıda gösterilen temel adımlar izlenir.



Şekil 1.12. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Probleminin Çözüm Adımları

ANSYS Fluent programında bir problemin çözümü için Şekil 1.12’de belirtilen temel adımlar ayrıntılı olarak aşağıda açıklanmıştır.

1. Cözücü ve Fiziksel Modelleri Kurma

Verilen bir problem için şu adımlar izlenir.

- Sonlu eleman ağını içeri aktarın ve kontrol edin.
- Sayısal çözücüü seçin (örneğin yoğunluk tabanlı, basınca dayalı, kararsız ve benzeri).
- Uygun fiziksel modelleri seçin
 - Türbülans, yanma, çok fazlı ve benzeri
- Malzeme özelliklerini tanımlayın.
 - Akışkan
 - Katı
 - Karışık
- Çalışma koşullarını belirtin.

- Sınır koşullarını tüm sınır bölgelerinde belirtin.
- Başlangıç çözümü yapın
- Çözücü kontrollerini kurun.
- Yakınsama denetleyici ayarlarını yapın
- Akış alanını başlatın.

2. Çözümünüzün Hesaplanması ve İzlenmesi

Çözümün hesaplanması ve izlenmesi şu şekilde olur;

- Ayrıklaştırılmış korunum denklemleri tekrar tekrar çözülür.
 - Yakınsamış bir çözüme ulaşmak için genellikle birkaç tekrar gerekir.
- Yakınsama şu durumlarda gerçekleşir:
 - Çözümde; bir adımdan sonraki adıma geçildiğinde değerlerdeki değişim önemsizdir.
 - Kalanlar, bu eğilimi izlemeye yardımcı olacak bir yöntem sağlar.
 - Genel özelliklerin korunması sağlanır.
- Yakınsamış bir çözümün doğruluğu aşağıdakilere bağlıdır:
 - Fiziksel modellerin uygunluğu ve doğruluğu.
 - Mesh çözünürlüğü ve bağımsızlığı
 - Problem kurulumu

3. Sonuçların İncelenmesi ve Kaydedilmesi

Çözümü gözden geçirmek ve yararlı verileri almak için sonuçları inceleyin.

- Görselleştirme araçları aşağıdaki soruları cevaplamak için kullanılabilir:
 - Toplam akış profili nedir?
 - Ayrılma var mı?
 - Şoklar, kayma tabakaları ve benzeri yerler nerede oluşur?
 - Anahtar akış özellikleri çözülüyor mu?
- Sayısal sonuçların raporlandığı araçlar, aşağıdaki niceliksel sonuçları hesaplamak için kullanılabilir:
 - Kuvvetler ve momentler
 - Ortalama ısı transfer katsayıları
 - Yüzey ve hacim entegreli miktarlar
 - Akış dengeleri

4. Modelin Gözden Geçirilmesi

Çözüm yakınsadığında, çözümü analiz ederken aşağıdaki sorular dikkate alınmalıdır:

- Fiziksel modeller uygun mudur?
 - Akım türbülanslı mı?
 - Akım kararsız mı?
 - Sıkıştırılabilirlik etkileri var mı?
 - 3 boyut etkileri var mı?
- Sınır koşulları doğru mu?
 - Hesap alanı yeterince geniş mi?
 - Sınır koşulları uygun mu?
 - Sınır değerleri mantıklı mı?
- Sonlu eleman ağı yeterli mi?
 - Sonlu eleman ağı, sonuçları iyileştirmek için geliştirilip adapte edilebilir mi?
 - Çözüm, adaptasyonla önemli ölçüde değişiyor mu yoksa çözüm sonlu eleman ağından bağımsız mı?
 - Çözünürlük sınırı geliştirilmeli midir?

Çözüm sürecinin ikinci adımı, bir geometri modelleyicisi ve sonlu eleman ağı üreticisi gerektirir. Bunun için ANSYS Workbench'te DesignModeler ve ANSYS Meshing kullanılabilir veya geometri modelleme ve sonlu eleman ağı üretimi için ayrı bir BDT sistemi kullanarak bunlardan ANSYS'e geometri ve sonlu eleman ağı aktarılabilir. 3B geometrileri düzenlerken, Fluent'in meshing modu da kullanılabilir.

1.3. Geçmiş Çalışmalar

Yapılması planlanan çalışmanın atık su arıtma tesislerindeki uygulamaları son yıllarda gelişmeye başlamıştır. HAD'ın bu alandaki ve bu alana yakın olduğu düşünülen çalışmalardaki uygulamalarını kısaca özetleyen geçmiş çalışmalara ait araştırma aşağıda verilmiştir.

Huang vd. (1987) tarafından biyolojik sistem modellemesi için, biyolojik reaksiyonların kinetiğine ve bileşenlerin transferine dayanan bir HAD yaklaşımı geliştirilmiş ve bu yaklaşım organik karbon içeriklerinin metabolizması ve bakteri popülasyonu analizleri için bir biyolojik atık su arıtma tesisine uygulanmıştır. Sonuçlar, reaksiyon kinetikleri ile birleştirilen HAD modelinin biyolojik sistem modellemesi için kinetik modellerden daha doğru ve daha uygun olduğunu göstermektedir.

Do-Quang vd. (1999), yaptıkları çalışmada HAD'in, su ve atık su arıtma tesislerinde kullanılan reaktörlerin, tek veya iki fazlı akış halinde, hidrodinamik ve kütle transfer performanslarını inceleyen farklı uygulamalarını sunmuşlardır. Bu çalışmada üç tane farklı tesisin HAD modellemeleri yapılmıştır. Bunlar içme suyu arıtma tesisi reaktörü, içme suyu ozon kontaktörü ve atık su arıtma tesisi olarak bir dolaşım yatak biyoreaktörüdür. Bu çalışmalarda sayısal simülasyonlar ESTET-ASTRID HAD kodları ile yapılmıştır. Yazarlar, HAD'in arıtma tesislerinde en iyi hidrodinamik ve kütle transfer performansını sağlamak için en uygun geometri ve işletme koşullarının seçilmesinde yardımcı olduklarını belirtmişlerdir. Yazarlar sonuç olarak HAD'in mevcut atık su arıtma tesislerinin tasarımının geliştirilmesinde ve arıtma verimini artırılmasında hem güvenilir hem de ekonomik çözümler sunduğunu belirtmektedirler.

Lopes ve Quinta-ferreira (2007), damlatmalı yatak reaktörleri adı verilen atık su arıtma tesislerinin hesaplamalı akışkanlar modellemesi için HAD kodlu yaklaşımlar sağlamaya çalışmışlar ve çok fazlı akış modellerinin ortaya çıkmasıyla birlikte sistem ekipmanlarının tasarımlarının HAD potansiyelini araştırmışlardır. HAD modeli, hidrodinamik parametreleri reaksiyon koşullarıyla oldukça iyi tahmin etmiştir. Ayrıca, katalitik performans, Toplam Organik Karbon açısından incelenmiştir ve kullanılan HAD modelinde akışkan/akışkan ve akışkan/parçacık etkileşimleri için iyi kapanımın mevcut olması halinde, Euler k-akışkan modelinin dolgu yataklarda akış simülasyonu için rasyonel bir seçim olduğu sonucuna varılmıştır.

Pougatch vd. (2007) yüksek hızlı yüzen mekanik yüzey havalandırıcılar içeren geniş bir havalandırılmalı lagünün 3B akış modellemesi için HAD yardımıyla kapsamlı sayısal bir yöntem geliştirmişlerdir. Model, bir boya çalışmasının ölçüleriyle yerel ortalama kalma süresi tahminlerini karşılaştırarak doğrulanmıştır. Önerilen sayısal modellemenin uygulanabilir olduğu ve endüstriyel lagünlerin performansını ve tasarımını geliştirmede etkili yeni bir araç olduğu gösterilmiştir.

Yang vd. (2008) tarafından bir durultucunun geometrik yapısı değiştirilerek çıkış suyu kalitesini artırmak amaçlanmış ve bunun için durultucunun HAD (ANSYS Fluent programı) analizleri ve simülasyonları yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, aynı günlük çıkış suyu altında, C tipi artıcının yukarı akış akışkan hızını azaltabildiğini ve bu nedenle de atık su bulanıklığını azaltabildiğini göstermiştir.

Stamou vd. (2009) bir HAD modeli kullanarak Athen'de Avrupa'nın en büyük atık su arıtma tesislerinden biri olan Psytalia Atık Su Arıtma Tesisinin ikinci derece çökeltim

tanklarının tasarımını yapmışlardır. Hesaplamalar, yerleşim bölgelerinde nispeten sabit tabaka yüksekliğine sahip bir "üç katmanlı" yapı gözlemlenirken, giriş-flokülasyon bölgesindeki akışın tamamen karıştırıldığını göstermiştir. HAD sonuçları, çamur örtülerinin yükseklikleri ve çıkış suyu askıda katı madde konsantrasyonları dahil olmak üzere, pratik olarak istenilen parametreleri belirlemek için işlenmiştir. Bu parametreler, birincil çökeltme tanklarında bir ölçekleme parametresi olarak kullanılan Hazen numarası ile tatmin edici şekilde ilişkilendirilmiştir.

Vadasarukkai (2010) Kanada Halifax'da ki su kaynağı tesisinin yumaklaştırıcı tasarımlarının performansının hesabı için pilot ve tam ölçekleri üzerinde HAD uygulamaları yaparak, yumaklaştırma sisteminin hidrolik performansını incelemiştir. Bu çalışma ile flokülasyon tanklarının etkin yumaklaştırma için yeterince karıştırılmadığı gösterilmiştir. (Alvarado vd., 2013) tam boyutlu bir atık stabilizasyon havuzunda havalandırıcıların en uygun şekilde konfigürasyonu için HAD çalışmaları yapılmıştır. Bu analiz, tüm 10 havalandırıcılı havalandırma düzeninin, sadece 6 veya 8 havalandırıcının kullanılmasına kıyasla benzer bir hidrolik davranış sergilediğini göstermiştir. Mevcut çalışma düzenleri, günün en yoğun saatlerinde bazı havalandırıcıları kapatmayı ve gece boyunca tüm 10 havalandırıcının çalışmasını içermektedir. Bu güncel uygulama ekonomik olarak, genel karıştırmayı önemli ölçüde etkilemeden sürekli olarak 4 veya 6 havalandırıcı olarak çalışabilir. Ayrıca, sürekli bir karıştırma rejimi, havuzdaki oksijen seviyelerini artıran çökelmiş oksijen ihtiyacını en aza indirdiği sonucuna varılmıştır.

Amparo López-Jiménez vd. (2015) HAD simülasyonları kullanarak gerçek bir oksijensiz çürütücüdeki farklı akım koşullarında ve farklı geometrilerdeki giriş akımından kaynaklanan çamur karışım karakteristikleriyle ilgili bir çalışma yapmışlardır. Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RONS) denkleminin dayalı bir yaklaşım uygulanmış ve klasik standart $k-\epsilon$ modeli kullanılarak kapatılmıştır. Bu özel durumda, çamur simülasyonları için hem Newtoniyen hem de Newtoniyen olmayan davranış göz önüne alınarak tek fazlı bir model uygulanmıştır. Bu tek fazlı ön sonuçlar, çürütücünün içinde mümkün olan kısa yollarla belirlenen ölü bölgelerin ortaya çıkmasına izin vermiştir. Model, mevcut deneysel basınç ve sıcaklık verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Sonuç olarak, iyi karıştırılma koşulları etkili oksijensiz çürüme için son derece önemlidir. Ölü bölgelerin hacmini azaltma önerileri verilmiş ve tartışılmıştır.

Terashima vd. (2016) helezon makaralı havalandırma tanklarında oksijen transferini tahmin etmek ve difüzör kabarcık boyutunun belirlenmesi için hesaplamalı akışkanlar

dinamiği ile modellemeler yapmışlardır. Farklı havalandırma tanklarındaki hidrolik davranışların simülasyonu için HAD hesaplamaları yapılmış ve hacimsel oksijen kütle transfer katsayısının (KL_a) hesaplanan değerleri deneysel olarak ölçülen verilerle karşılaştırılmıştır. Temiz su içeren toplam 19 tank ve farklı havalandırma tipleri ve havalandırma yoğunluklarına sahip atık su içeren 8 tankın benzeşimi yapılmıştır. Bu konfigürasyonlar için belirlenen KL_a değerleri, HAD simülasyonlarında belirtilen kalibre edilmiş bir kabarcık boyutu (d_B) değeri ile uyumlu sonuçlar vermiştir.

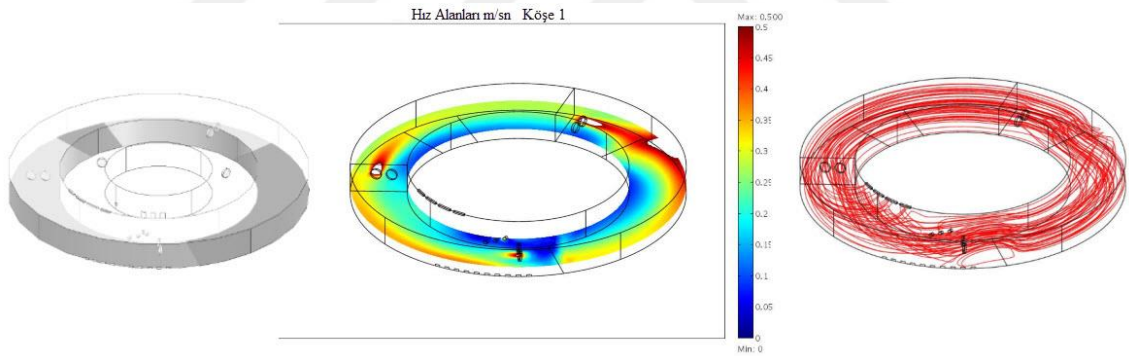
Fan vd. (2018) iki fazlı gaz-sıvı akımının, düşük yükseklik/çap oranlı karıştırılmalı reaktörlerde akışkan hareketinin dönüşümü, gaz birikimleri, sıvı hızı, kabarcık boyutu dağılımı ve kayma hızının belirlenmesi için, 3B, zamana bağlı (kararsız) HAD modelleri yapmışlardır. 3B bir HAD modeli, farklı dönme hızları düzeninde ve yüzeysel gaz hızları (YGH) altında, daha düşük yükseklik/çap (H/Ç) oranındaki bir plastik kübik bölme karıştırıcılı reaktörde akış modelinin simülasyonu için kullanılmıştır. Simülasyonlar, akış modelinin, tek bir sirkülasyon hücresinden, dönme hızı ve YGH'nin artmasıyla, birden fazla girdaplı hücelere aktarıldığını göstermiştir. Dönme hızındaki artış, YGH'ye göre gaz birikimine, sıvı hızına, kabarcık büyüklüğü dağılımına, akış profiline ve kayma hızına daha önemli bir katkı sağlamıştır. 300 rpm'de dönme hızı ve 1,05 cm/sn'de YGH ile oksijenli granülasyon gerçekleştirmek için karıştırılmış ve havalandırılmış bir ardışık kesikli bir reaktör oluşturulmuş ve biyoreaktörün ortalama kayma hızı araştırılmıştır. Deney sonuçları, oksijenli granüllerin, granüllerin yüzeyinde dolaşan ipliksi bakterilerle başarıyla oluşturulduğunu göstermiştir. İpliksi granüler çamur, $19,6 \pm 5,1$ m/sn'de bir çökme hızı ile iyi bir yerleşime sahiptir ve çamur hacim indeksi (ÇHI) değeri 30 ile 90 mL/g arasındadır. Granüllerin çapı 1,42 mm'ye kadardır. Biyoreaktörün ortalama kayma hızı (12,62–27,52 1/sn), YGH'dan çok dönüş hızından etkilenmiştir.

Bundan sonraki kısımda çalışmada kullanılan aktif çamur yöntemi ve onun bir varyasyonu olan OH için geçmiş çalışmalar ayrı ayrı incelenmiştir.

1.3.1. Aktif Çamur Yöntemi İçin HAD Uygulamaları ile İlgili Yapılmış Geçmiş Çalışmalar

Bosma ve Reitsma (2007) atık suların ikinci derece arıtımında bir aktif çamur tankının HAD yardımıyla hidrolik tasarımını yapmışlardır. Bu çalışmada aktif çamur tankının hidrolik tasarımının yanı sıra tank tabanından 2,5 m yükseklikte yatay düzlemdeki

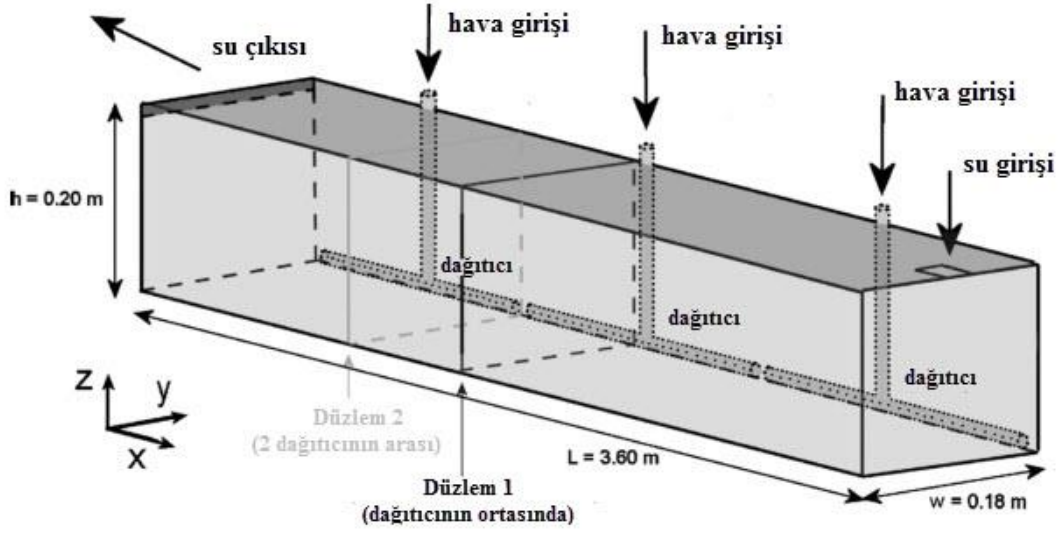
hız profili ve hava panellerinin başlangıç ve bitimindeki sirkülasyonu gösteren aerodinamik analizleri de yapılmıştır. Bu da HAD ile iki fazlı akışların modellenmesine bir örnektir. Hesaplamalar COMSOL 3.3 isimli paket programıyla yapılmıştır. HAD modelinde standart k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır. Aktif çamurun fiziksel özellikleri temiz suya çok yakındır. Bu nedenle çalışmada temiz suyun yoğunluğu ve viskozite değerleri kullanılmıştır. Aktif çamur tesisinde karıştırıcılar atık suyu çalkalayarak katı parçacıkların çökmesine ve bölmeler arasında sıvı geçişinin kesilmesine engel olmaktadır. Mikserler mikser doğrultusunda yersel hacimsel kuvvetler yardımıyla modellenmişlerdir. Yazın ve kışın biyolojik yöntemi kontrol eden geri dönüş pompaları tank duvarlarına yerleştirilmiştir ve bunlar giriş veya çıkış suyu hızı sınır koşulu olarak modellenmişlerdir (Şekil 1.13). Bu hesaplamalar, akımın kesildiği bölgeler ve çökme üzerindeki risklerin değerlendirilmesi için yararlıdır. HAD sonuçları deneysel ölçümlerle uyumluluk göstermiştir. Hidrolik tasarımdaki kazanılan iç görü, atık su arıtma tesislerinin çalışmasını iyileştirmekte ve enerji ve bakım maliyetlerini azaltmaktadır.



Şekil 1.13. Aktif çamur tankı geometrik şekli, hız alanları ve akım çizgisi gösterimleri (Bosma ve Reitsma, 2007'den değiştirilmiştir.)

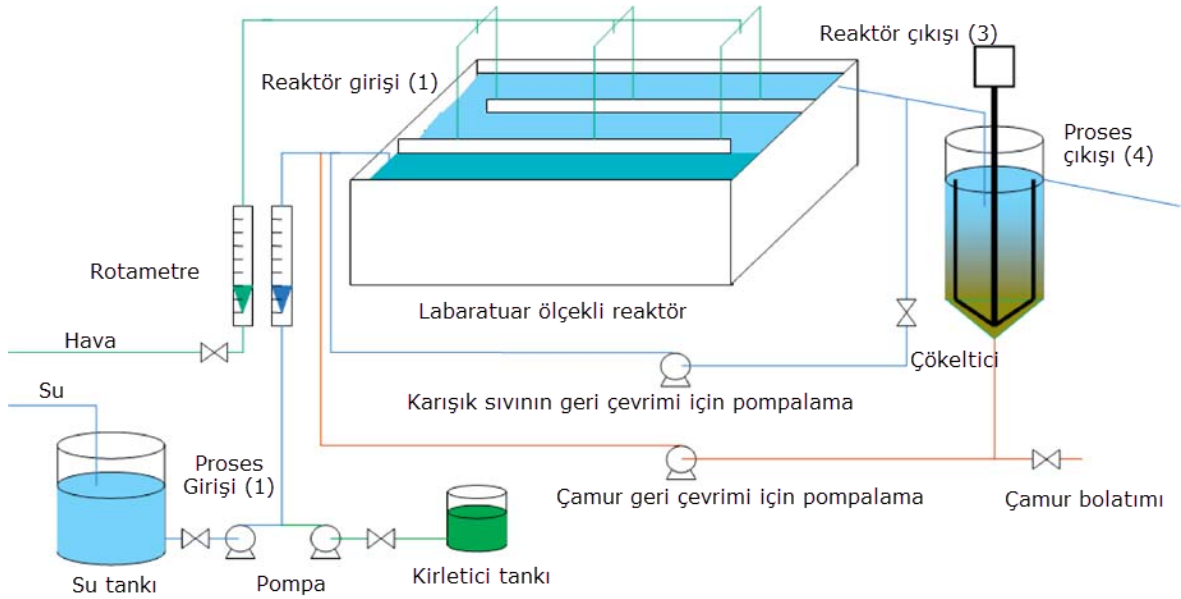
Le Moullec vd. (2008) tarafından HAD (ANSYS Fluent V 6.2) kullanarak ters akışlı bir gaz-sıvı atık su arıtma reaktörünün akım alanı ve alıkoyma süresi dağılımının simülasyonları yapılmıştır. Bu çalışmada, 3B Eulerian-Eulerian iki faz yaklaşımı, ters akışlı gaz-sıvı atık su arıtma reaktörünün simülasyonu için kullanılmıştır. İki farklı türbülans modeli test edilmiştir. Bunlar k- ϵ ve Reynolds Stress Model (RSM) modelleridir. Kabarcıkların sebep olduğu türbülans bu modele eklenmiştir. Sayısal değerler laboratuvar ölçeğinde Laser Doppler Hızölçer (LDH) ile doğrulanmıştır (Şekil 1.14). İki türbülans modeliyle birlikte simülasyonlar, reaktörün hidrodinamiğini başarılı bir şekilde tahmin

etmiştir. Bir olasılıksal parçacık izleme yaklaşımı, önceden akış simülasyonu yapılmış tutulma zamanı dağılımını hesaplamak için kullanılmıştır. Bu çalışma göstermiştir ki; reaktördeki yayılma öncelikle türbülans dolayısıdır. Sonuçlar deneysel tutulma zamanı dağılımlarıyla hem laboratuvar hem de tam ölçekli tesisler üzerinde çeşitli sıvı ve gaz debileri için karşılaştırılmıştır. K-ε modelinin nispeten eksik tahmin ettiği yerde RSM model tam olarak yayılmayı tahmin etmiştir.



Şekil 1.14. Laboratuvar ölçekli reaktörün şematik görünümü (Le Moulec vd. 2008'den değiştirilmiştir.)

Le Moulec vd. (2010) tarafından bir atık su arıtma aktif çamur kanal reaktöründe sistemin hidrodinamik davranışı, kütle transferi ve biyolojik reaksiyonlarının HAD simülasyonları yapılmış ve simülasyon sonucu elde edilen konsantrasyon profilleri, deneysel verilerle (laboratuvar ölçeğinde) karşılaştırılmıştır (Şekil 1.15). Hidrodinamik simülasyon ve validasyon: HAD simülasyonları ANSYS Fluent (V 6.2) ticari paket programı ile yapılmıştır. Euler-euler yaklaşımı ve hava kabarcıkları için kullanıcı tanımlı uygun bir sürüklenme katsayısı kullanılmıştır. Gazsız serbest yüzey ayrıca kullanıcı tanımlı bir sınır koşul ile modellenmiştir. K-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Simülasyon 300.000 tane altı yüzlü sonlu eleman hücresi kullanılarak ve sınır bölgelerinin yakınlarında sonlu eleman ağı iyileştirmesi yapılarak uygulanmıştır. Ortalama sıvı hız alanları LDV ölçümleri ile karşılaştırılmış ve tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Bütün bu sonuçlar HAD'ın hidrodinamik simülasyon için makul tahmin edici bir araç olduğunu doğrulamaktadır.



Şekil 1.15. Deney düzeneği, (Le Moullec ve diğerleri, 2010'dan değiştirilmiştir)

Karpinska ve Bridgeman (2016), aktif çamur sistemlerinin HAD destekli modellemesi hakkında bir eleştiri makalesi yapmışlardır. Bu eleştiri makalesinde, havalandırmayı modellemek, arıtma verimliliğinin artırılması ve enerji girdilerinin azaltılmasını kolaylaştırılmak için HAD kullanımının ardındaki mantık tartışılmıştır. Yapılan çalışmalarda havalandırma tankı işletimi için HAD çalışmalarında yaygın olarak kullanılan tek ve çok fazlı yaklaşımlar kapsamlı bir şekilde tanımlanmışken, Aktif Çamur (AÇ) tanklarındaki karıştırma ve kütle transferini değerlendirmek için uygulanan modelleme varsayımlarının eksiklikleri belirlenmiş ve tartışılmıştır. HAD verilerinin tesisin biyokinetiğine bağlanması ile ilgili örnekler ve metotlar, gerçek akış alanının hesaplanması, bunun oksijen kütle transferi üzerindeki etkisi ve havalandırma tanklarında meydana gelen biyolojik işlemlerin verimi de eleştirel olarak tartışılmıştır. Son olarak, değinilmeyen modelleme sorunları (örneğin, AÇ tankının ikincil arıtıcı ile birleştirilmesi ve aktif çamurun kabarcıklı akışını veya yumaklaşmasını benzeştirmek için popülasyon dengesi modellerinin kullanımı) belirlenmiş ve tartışılmıştır.

Patziger (2016) modern atık su arıtma tesislerinde sığ dairesel bir ön çökeltme tankında (ÖÇT) HAD (ANSYS Fluent V 14) araştırmaları yapmıştır. Birincil Biyogaz ve elektrik enerjisi üretiminin yanı sıra biyolojik atık su arıtma ve çamur arıtma işleminin bir parçası olan ÖÇT'lerin verimli bir şekilde çalışması için iç fiziksel dinamikleri üzerinde fazla durulmadığı gözlemlenmiştir. Bu kapsamında seçilen 16 ÖÇT'nin incelenmesi

giderim verimi, iç fiziksel dinamikleri ve içsel akış yapıları ve bunların arıtma performansına etkileri gibi açılardan yapılmıştır. Sonuçlar şunu göstermektedir: (1) ÖÇT'lerin kirlilik yükü giderme oranları genellikle şu anki tasarım kılavuzlarında göz ardı edilmektedir, (2) Farklı ÖÇT'lerin kirlilik giderme oranları, aynı hidrolik tutulma süresinde bile fazla bir dalgalanma göstermektedir ve (3) ÖÇT'lerin giriş tasarımı, özellikle kuru hava için ÖÇT'lerin üst tasarım sınırı olan, 5 m/sn'nin üzerindeki yüksek yüzeysel taşma hızlarında atık su kirlilik giderim verimiyle oldukça ilgilidir.

Meister vd. (2017) düzleştirilmiş parçacık hidrodinamiğine (DPH) dayanan atık su arıtma (AA) biyokinetiğine entegre özgün bir hidrolik model sunmuştur. Bu çalışmanın önemli sonuçları, AA havuzlarındaki bileşiklerin ayrıntılı bir mekânsal dağılımının ve karıştırıcının neden olduğu karışımın, bileşiklerin değişimi üzerindeki etkilerinin miktarsam olarak hesaplanmasıdır. DPH, burada bir arıtma tesisinin reaktör hidroliğini hesaplamak için uygulanan bir serbest sonlu elaman ağına sahip parçacık yöntemidir. Geliştirilen bu yöntem geneldir ve özellikle hidrodinamik etkilerden etkilenen kimya mühendisliği süreçlerinin modellenmesi için uygulanması beklenmektedir.

Sánchez vd. (2018) kesikli havalandırma rejimi altında çalışan bir aktif çamur reaktörünün (AÇR) HAD (OpenFoam V 4.1) modellemesini yapmışlardır. Model AÇR içindeki akışkan dinamiği ve biyolojik süreçleri göz önüne almaktadır. Biyolojik simülasyon zamana bağlı olarak kesikli havalandırma rejimini hesaplamıştır. HAD modellemesi AÇR deki bir havalandırma sistemi için kullanılmıştır. İki farklı havalandırma konfigürasyonun simülasyonu yapılmıştır. Model atık su gereksinimlerini karşılamak için gerekli havalandırma gücü tüketimini değerlendirmektedir. Hava difüzörünün yerini değiştirerek enerji tüketimi açısından %2,8'lik bir iyileştirme başarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada AÇR de ki her bir difüzöre düşen hava akımının etkisinin analizi yapılmıştır. Sonuçlar, difüzöre göre hava akış hızı azaldığında, havalandırma sisteminin enerji tüketiminde %14,5'lik bir azalma olduğunu göstermektedir. Model, AÇR'ler içinde üretilen havalandırma verimsizliklerine bir bakış açısı sağlamaktadır.

1.3.2. Oksidasyon Hendekleri İçin HAD Uygulamaları ile İlgili Yapılmış Geçmiş Çalışmalar

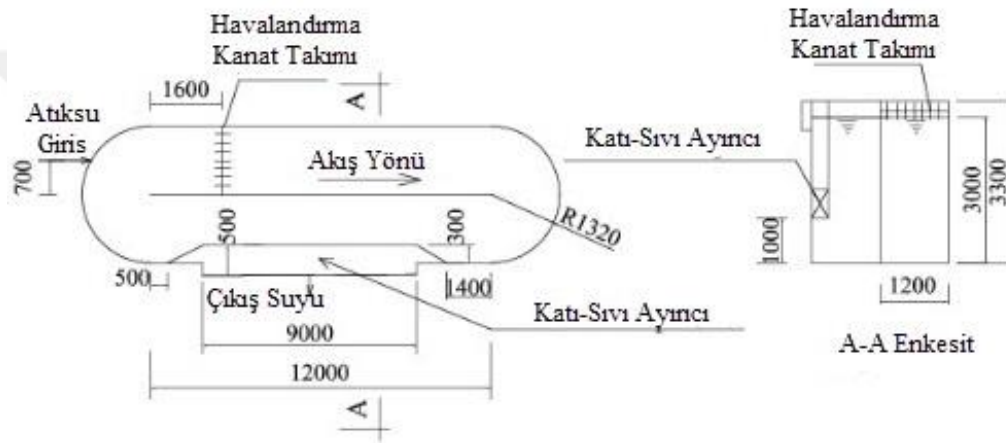
Stamou (1994) tarafından karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon gerçekleştiren bir OH içerisinde su kalitesi değişkenlerinin konsantrasyon alanlarının tahmin edilmesi için bir nehir suyu kalite modeli sunulmuştur. Model, Uluslararası Su Kirliliği Araştırma ve Kontrol Derneği (USKAKD) Aktif Çamur Modeli No 1'de açıklanan tüm değişkenler için tek boyutlu konveksiyon-dağılım denklemlerini içermektedir. Denklemler sonlu hacim yöntemi ile çözülmüştür. Modelin uygulanması sonucu aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur: (i) Kararlı durum biyokütle konsantrasyonları hendek boyunca neredeyse sabittir. (ii) Hendekteki kararlı durum KOİ konsantrasyonları çok düşüktür ve KOİ giderim verimliliği, akış hızının ve dağılım katsayısının değerlerinden hemen hemen bağımsızdır. Dağılım katsayısının küçük değerleri kullanıldığında, hendekte ki KOİ konsantrasyonunun dağılımı daha az düzenlidir. (iii) Hendekte ki ÇO konsantrasyonunun dağılımı, akış hızının, dağılım katsayısının ve rotorların kapasitesinin değerlerine çok duyarlıdır. Dağılım katsayısı azaldığında veya akış hızı arttığında DO konsantrasyonları artar. (iv) Günlük çamur üretimi, oksijen gereksinimleri ve çamur yaşı, sırasıyla 0,44 g (g KOİ çıkarılmış) -1, 0,56 g (g gelen COD) -1 ve 6,3 gün olarak hesaplanmıştır.

Stamou (1997) tarafından karbon oksidasyonu, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve çöktürme yapılan bir alternatif OH sistemi için matematiksel bir model sunulmuştur. Model, USKAKD Aktif Çamur Modeli No 1'e dayanan bir boyutlu kütle denge (konveksiyon-dispersiyon) denklemlerini içerir. Model, ÇO hariç, tüm değişkenlerin hendekte homojen olarak dağılmış olduğunu göstermek için tipik bir OH'ye uygulanmıştır; Böylece oksidasyon kanalının tamamen karışık bir reaktör gibi davranması sağlanmıştır.

Stamou vd. (1999) tarafından alternatif bir OH sistemi için matematiksel bir model sunulmuştur. Model, USKAKD Aktif Çamur Modeli No 1'e dayanan bir boyutlu kütle denge (konveksiyon-dispersiyon) denklemlerini içerir. Modelin kalibrasyonu pilot bir tesis yapılarak laboratuvar ölçeğinde gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon sonucunda rotorun düşük hızda ve yüksek hızda çalışması için dağılım katsayısının değeri $E=170.000 \text{ m}^2/\text{gün}$ ve rotor eşitliğinin düzeltme faktörleri $\alpha=0,3$ ve $0,825$ ve $\beta=0,85$ olarak belirlenmiştir. Uygulanan model, tahmin edilen çıkış suyu konsantrasyon değerleriyle deney sonuçlarının çok iyi bir uyum içinde olduğunu göstermiştir.

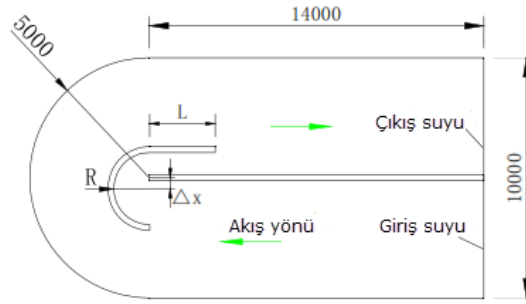
Luo vd. (2005), 3B k-ε türbülans modeli kullanarak laboratuvar ölçekli bir OH'nin akım alanlarının simülasyonunu ANSYS Fluent HAD yazılımı ile yapmışlardır (Şekil

1.16). Akışkan akımı için RONS denklemleri esas alınmış ve 3B, kararlı, sıkıştırılmayan akım kabulüyle, küçük ölçekli (94 m³) birleşik bir OH'de akışkan alanı hesaplamaları yapılmıştır. Bu çalışmada akışkanın sürüklenmesini direkt olarak yansıtmak için hareketli sonlu eleman ağı oluşturulmuştur ve güç kaynağının modellenmesi için bundan başka bir deneysel yaklaşıma ihtiyaç duyulmamıştır. Hareketli sonlu eleman ağı (mesh) suyun içindeki batık kanat kısımlarını da kapsayacak şekilde oluşturulmuştur. OH'deki hızlar LDH ile ölçülmüştür. Simülasyon sonuçları deney sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve doğruluk kabul edilebilir seviyede çıkmıştır.



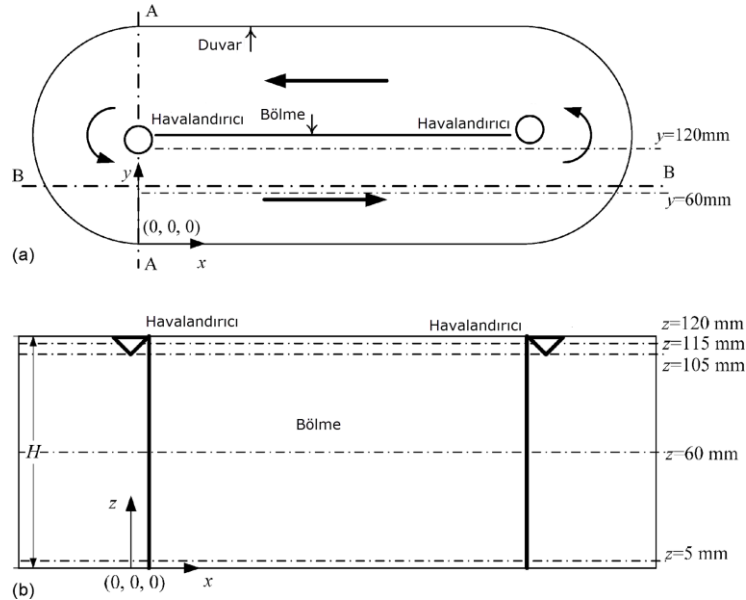
Şekil 1.16. OH şematik şekli, birim; mm

Chen ve Xu (2010) OH'deki yönlendirme duvarları kenarlarında akış profilinin iki boyutlu simülasyonunu yapmışlardır (Şekil 1.17). Analiz için ANSYS Fluent yazılımı kullanılmış ve farklı uzunluklarda ve farklı yarıçapta eğriliklerde modeller yapılarak en uygun kesit bulunmaya çalışılmıştır. Analiz sonucunda yazarlar yönlendirme duvarının HAD simülasyonu ve hız alanı yüzdesinin büyüklüğünün karşılaştırılmasıyla saptırma duvarının tasarım parametreleri belirlemek adına şu sonuçları elde etmişlerdir: (i) aşağı yönde uzatma uzunluğu 2.500 mm, (ii) yönlendirme duvarının yarıçapı 1.500 mm ve (iii) eksantriklik 400 mm olmalıdır. Ayrıca kanalizasyon arıtma yapılarının verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için, gerçek mühendislik tasarımından önce, proje tasarımına kılavuz olacak en uygun tasarım parametreleri için HAD analizlerinin ve simülasyonlarının yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.



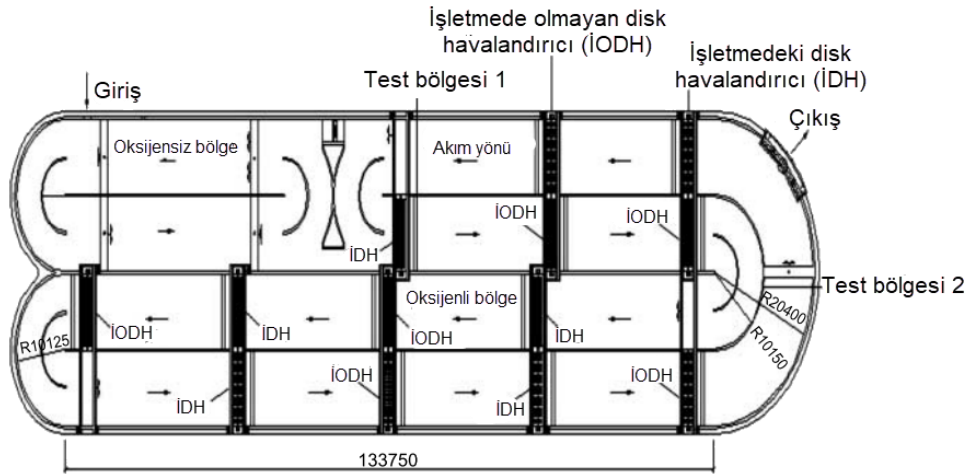
Şekil 1.17. OH şematik şekli, boyutlar: mm (Chen ve Xu, 2010'dan değiştirilmiştir)

Fan vd. (2010) yaptıkları çalışmada, bir OH'nin hidrodinamiğini hem deneysel hem de HAD (ANSYS Fluent V 6.2) ile simülasyonu yapılarak incelemiştirlerdir. Bu çalışma da deneysel olarak laboratuvar ölçeğinde, yüzey havalandırıcılarıyla havalandırılan bir OH kullanılmıştır (Şekil 1.18). Deneyler Parçacık Dinamik Çözümleyici (PDC) ile yapılmıştır. Ters şemsiye şeklinde yüzey havalandırıcılarla havalandırılan OH'deki 3B akış alanları HAD ile modellenmiştir. İki akışkan modeli ve iki fazlı katı-sıvı akış türbülansı için standart k-ε model kullanılmıştır. OH'deki katı-sıvı iki fazlı akış için simülasyonlar, PDC ile ölçülen deneysel sonuçlar ile tutarlıdır.



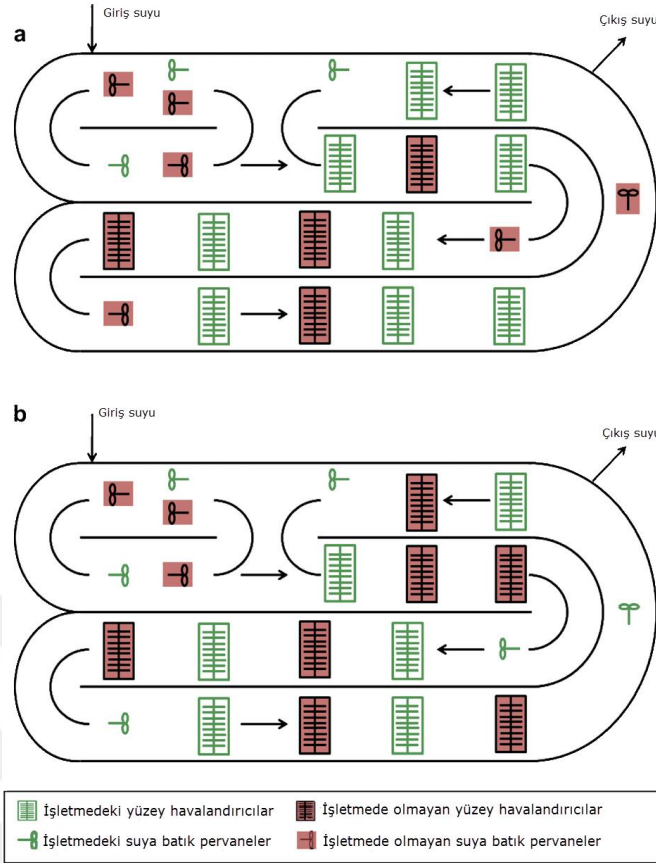
Şekil 1.18. Laboratuvar ölçekli OH'nin şematik gösterimi, (a) Üstten görünüş, (b) Yandan görünüş (Fan vd. 2010'dan değiştirilmiştir)

Yang vd. (2010), HAD (ANSYS, Fluent V 6.3) kullanarak, tam boyutlu, birlikte çalışan birçok disk havalandırıcısı yerleştirilmiş, Corrousel OH'nin akım alanı tahminlerini yapmışlardır. Carrousel Oksidasyon Hendeği her biri günde 50000 m³ atık su gelen 2 hendekten oluşmaktadır. Simülasyon için sadece bir oksidasyon hendeği seçilmiştir. Tam ölçekli kapalı çevrim biyoreaktör işletme hacmi 26000 m³ 4 kanallı dairesel tanktan oluşmaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi deneyler tam ölçekli tesiste 2 noktadan ölçüm alınarak yapılmış ve analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Şekil 1.19). Analiz için standart k-ε modeli programın varsayılan ayaları ile kullanılmıştır. Sonuç olarak; tanktaki hız tahminleri üst ve dış duvar kenarlarında düşük olmasına rağmen genel olarak deneysel ölçüm sonuçlarıyla uyumlu çıkmıştır. Hem analiz sonuçlarına hem de deney sonuçlarına göre hızlar; dış duvar boyunca artarken, dibe doğru azalmaktadır. Hız dağılımı tank boyutu ve konfigürasyonu, disk batıklığı ve disk dönme hızı ile ilişkili görünmektedir. Sonuçlar, HAD modelinin niteliksel olarak tam ölçekli tanktaki akış modelinin birçok yönünü, bazı nicel farklılıklar ile yakaladığını göstermiştir. Genel olarak, HAD benzeşimi %10'luk bir hata içinde iyi kabul edilirken, %20'lik bir hata payına kadar sonuçlar kabul edilmektedir (ANSYS HELP, 2013). Model daha hassas sonlu eleman ağlarıyla geliştirilebilir ve elde edilen hız değerleri değişebilir. Bununla birlikte, daha iyi sonuçlar, modelin karmaşıklığı ve benzeşim zamanını artırmaktadır.

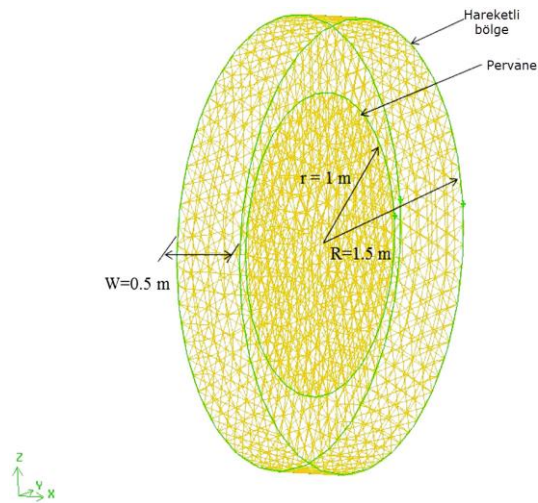


Şekil 1.19. Analizi yapılan OH'nin şeması, birim: mm

Yang vd. (2011) tam ölçekli bir OH'nin (bir önceki çalışmada verilen Carrousel Oksidasyon Hendeği) iki farklı işletme koşulunda enerji tüketimi ve çıkış suyu kalitesinin optimizasyonu için HAD modeli kullanarak çalışmalar yapmışlardır (Şekil 1.19). Model de ve deneysel doğrulamada iki önemli faktör üzerine yoğunlaşmıştır. Bunlar; akış alanları ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu profilidir. Tam ölçekli tesiste ölçümler 3 noktadan alınmış ve analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Model yüzey havalandırıcılar ve suya batmış karıştırıcılarla donatılmış bir OH'de akış profillerinin ve oksijen kütle transfer karakteristiklerinin tahminini kapsamaktadır. Türbülans modeli olarak standart k-ε kullanılmıştır. Yüzey havalandırıcıları ve suya batmış karıştırıcıların simülasyonu için sırasıyla hareketli duvar ve fan modeli kullanılmıştır (Şekil 1.21). Analizler ANSYS Fluent (V 6.3) ile yapılmıştır. Şu sonuçlar bulunmuştur: (i) HAD modelinde, tam ölçekli OH'de akım profili ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu profilleri karakterize edilmiştir. Tahmin edilen çözünmüş oksijen değerleri gerçek ölçüm değerleri ile % -4,71±4,15 arasında değişkenlik gösterirken, tahmini yapılan akım alanı değerleri gerçek ölçüm değerleriyle %1,98-4,28 arasında değişkenlik göstermektedir. (ii) Eğri dönemeç duvarındaki şiddetli çarpışmalardan kaynaklanan enerji kaybını azaltmak için eğri dönemeç girişinden itibaren 15 m civarında bir yüzey havalandırıcısı yerleştirilmelidir. (iii) Geliştirilmiş işletme koşulları altındaki OH'nin çözünmüş oksijen konsantrasyonu, eşzamanlı nitrifikasyon ve denitrifikasyonun oluşması için daha elverişlidir (Şekil 1.20).

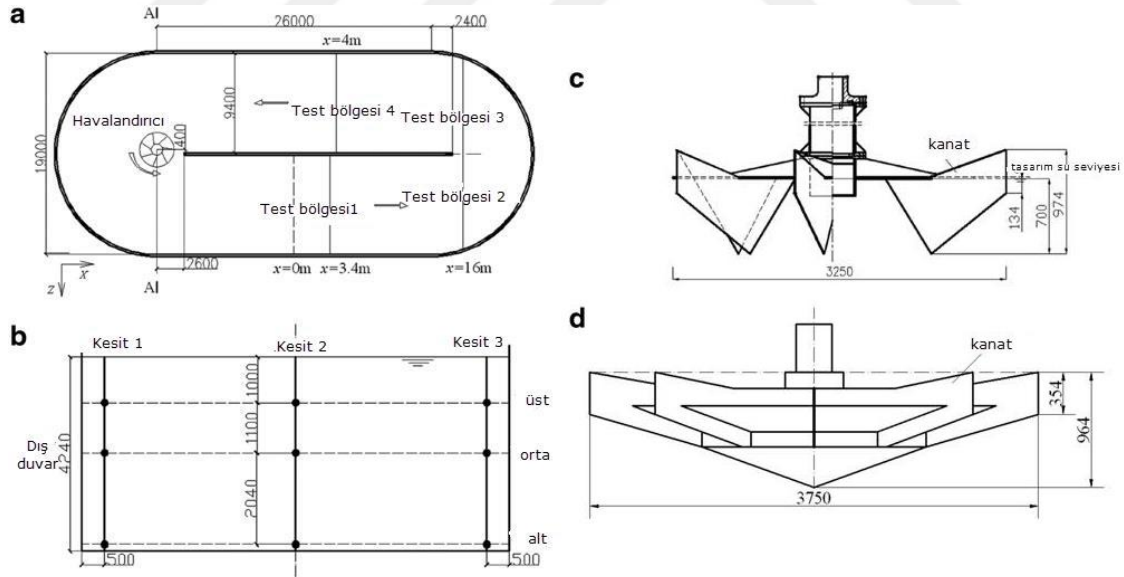


Şekil 1.20. İki farklı işletme koşulu için şematik gösterim a-) var olan işletme koşulu b-) geliştirilen işletme koşulu (Yang vd. 2011'den değiştirilmiştir.)



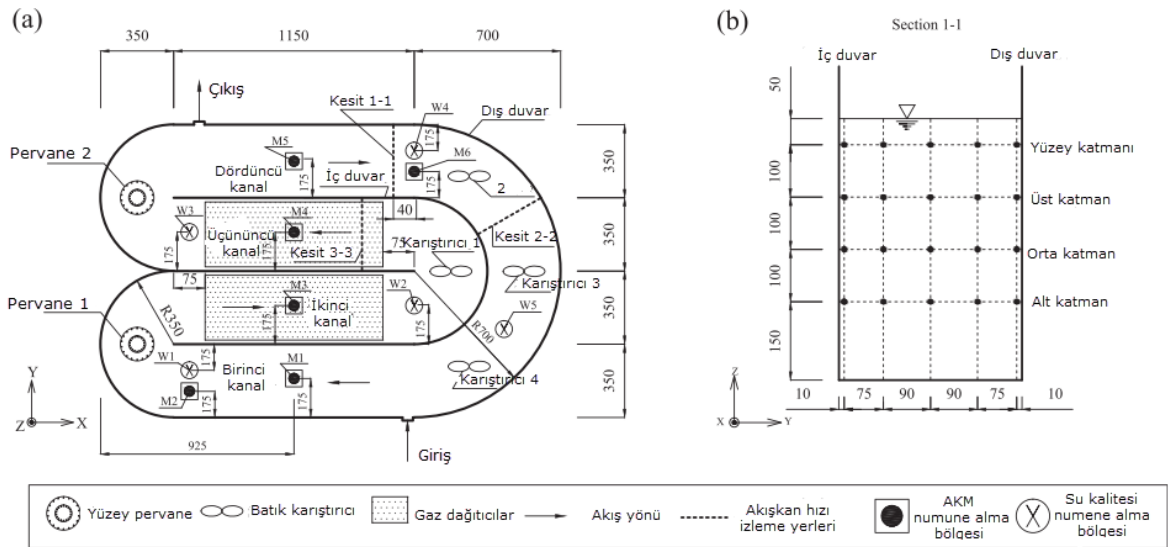
Şekil 1.21. Suyu batmış karıştırıcı için fan modeli (Yang vd. 2011'den değiştirilmiştir.)

Huang vd. (2013) yeni bir uygulama ve geometri olarak tasarlanmış şemsiye şeklinde bir yüzey havalandırıcı sunmuşlar ve bu havalandırıcının performansını tam ölçekli bir OH'de (3300 m³ hacminde) test etmişlerdir (Şekil 1.22). Ayrıca bu havalandırıcı için bir HAD modeli de verilmiştir. Analiz sonucunda yeni geliştirilen şemsiye şeklindeki havalandırıcı, diğer havalandırıcılardan daha iyi performans göstermiştir. Geliştirilen momentum kaynağı terimi yaklaşımı ters şemsiye şeklinde tasarlanan yeni yüzey havalandırıcılı OH'de akım alanlarının simülasyonu için uygulanmış ve sonuçlar standart k-ε, RNG k-ε, gerçekleştirilebilir k-ε ve RSM ile tahmin edilmiş ve deneysel çalışmayla doğrulanmıştır. Sonuç olarak, standart k-ε en düşük hesaplama süresine sahipken RSM en yüksek hesaplama süresiyle en doğru sonuçları tahmin etmektedir. Momentum kaynağı terimi yaklaşımının tahmin doğruluğu, önceki momentum kaynağından ve çoklu dönen referans eksenleri (ÇDRE) yaklaşımından daha iyi ve kayan sonlu elaman ağı (KSEA) yaklaşımına yakındır. Dahası, momentum kaynağı terimi yaklaşımı daha az çözüm zamanı ve sonlu elaman ağını daha basit bir şekilde oluşturulmasını sağlamıştır. Dolayısıyla kullanımı ÇDRE ve KSEA'dan daha kolaydır.



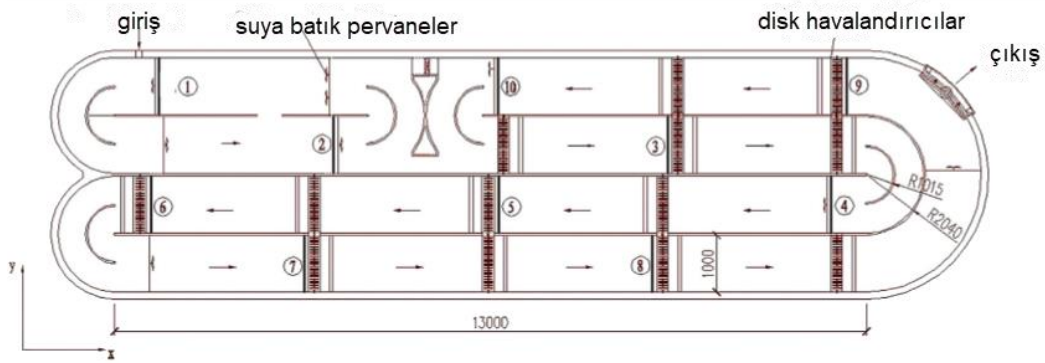
Şekil 1.22. Deneyle ilgili ayrıntılı bilgi a-) OH'nin plan biçimi b-) enine kesit ölçüm noktaları c-) DSC 325 ters şemsiye yüzey havalandırıcısının önden görünüşü (birim: mm) d-) orijinal yüzey havalandırıcının önden görünüşü (Huang vd. 2013'ten değiştirilmiştir.)

Lei ve Ni (2014), laboratuvar ölçeğinde bir OH'de hidrodinamik, oksijen kütle transferi, karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon için 3B, üç fazlı olarak bir model oluşturmuş ve bunun simülasyonunu yapmışlardır. 3 fazlı model için su-gaz, su-çamur ve gaz-çamurun etkileşimi kabul edilmiştir. 3 boyutlu çok fazlı model için ANSYS Fluent (V 6) yazılımı kullanılmıştır. Simülasyonu yapılan OH ve elemanları Şekil 1.23'te verilmiştir. OH'de açık sınır koşulları giriş akımına ve çıkış akımına uygulanmıştır. Girişte; hız girişi (velocity inlet), çıkışta ise; atmosfer basıncı sınır koşulları kabul edilmiştir. Su yüzeyindeki sıvı ve kısmen sıvı için, esnemez kapak (rigid-lid) ve kayan duvar sınır koşulu kabul edilmiştir. Bütün duvarlar için kaymayan duvar (slip wall) sınır koşulu kabulü yapılmıştır. Sonuç olarak, OH'deki akış alanının sayısal tahminleri, mikserin ve karıştırıcıların karıştırmayı artırmadaki büyük önemini göstermiştir. Sayısal simülasyonlar ve su kalitesi parametreleri için örneklenmiş veri ölçümleri arasında elde edilen mükemmel uyuşma, sayısal modelin çok fazlı akışın kinematığını ve OH'deki karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemlerini doğru bir şekilde benzeştirdiğini göstermiştir. Bu çalışma, model kalibrasyonu ve doğrulamaya odaklanmış ve sonuçlar bir OH'nin davranışı hakkında bilgi elde etmek için kullanılmıştır. Gelecekte, modelin OH'lerde pervanelerin, karıştırıcıların ve havalandırma bölgelerinin optimum düzenlemelerini seçmeye yardımcı olan bir tasarım aracı olarak kullanılabilceği önerilmiştir.



Şekil 1.23. OH'nin şematik şekli a-) akışkan hızı ölçme noktaları b-) birimler, mm (Lei ve Ni, 2014'ten değiştirilmiştir.)

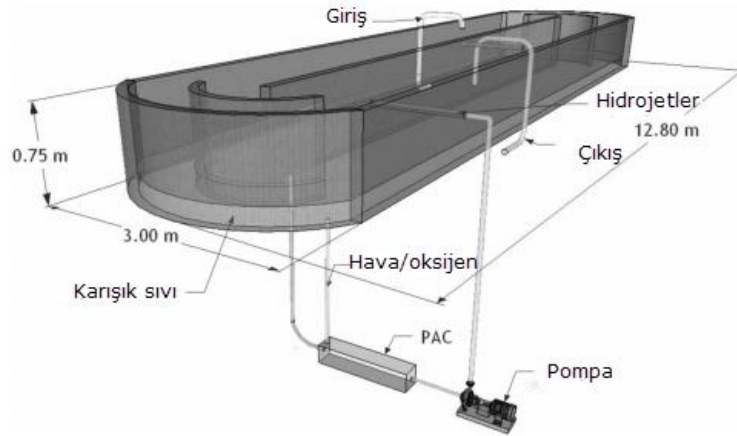
Xie vd. (2014) tarafından tam ölçekli bir OH'de akış alanı ve çamur çökeltimi simülasyonu için çift fazlı (sıvı-katı) HAD modeli önerilmiştir. Bu çalışmada çift fazlı akışın simülasyonu için (Takács, vd., 1991), çift üssel çökeltme hızı fonksiyonu uygulanmıştır. Deneysel tam ölçekli Carrousel Oksidasyon Hendeğinde 10 noktadan ölçümler alınarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.24). Simülasyon sonuçları saha verileriyle karşılaştırılmış, rölatif hata değerleri verilmiştir. Tek fazlı simülasyonla karşılaştırıldığında, iki fazlı modeldeki simülasyon sonuçları ile saha verileri arasındaki bağıl hata %8'den %5'e düşmüştür. Sonuç olarak bu çalışmada akış alanı ve çamur çökeltme simülasyon sonuçlarına göre, optimize edilmiş bir OH işletme şeması içeren bir HAD modeli önerilmiştir. Önerilen bu modelde çamurun dağılımı daha üniform hale gelmiştir. Ayrıca iç duvarın yakınındaki askıda katı madde konsantrasyonu, mevcut çalışma durumundan daha küçük hale gelmiştir. Sonuç olarak, iki fazlı akışlı HAD modeli kullanılarak katı konsantrasyon ve hız profillerinin belirlenmesi, OH'lerin tasarımının ve çalışmasının optimizasyonuna yardımcı olabilir.



Şekil 1.24. Tam boyutlu OH'nin şematik gösterimi ve ölçüm noktaları (Xie vd. 2014'ten değiştirilmiştir.)

Karpinska vd. (2015) HAD kodlarını kullanarak hidrojetlerle havalandırılan bir laboratuvar ölçeğinde bir OH'nin hidrodinamiğini ve enerji tüketimini modellemiştir (Şekil 1.25). Bu çalışmada OH'deki yerel hidrodinamikler üzerine odaklanılmıştır. Simülasyonu yapılan sistem, karışık sıvıyla dolu, kapalı devre, oval, açık bir kanaldan ve OH içerisine karşılıklı olarak yerleştirilmiş, iki tane delik enjektörlü havalandırma aygıtından oluşmaktadır. Simülasyonlar ANSYS Fluent ticari yazılımıyla yapılmıştır.

Hidrodinamik model için tek fazlı akış modeli kullanılmıştır. RONS ve Large Eddy Simülasyon (LES) denklemlerine ve kararlı akım kabulüne göre analizler yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, ortalama akım alanının doğrudan çözüldüğü durumlarda, RONS ve KZRONs'un, LES ile karşılaştırıldığında enerji tüketiminde sadece %5'lik bir fark göstermiştir. Fakat LES'in hesaplama süresi, RONS'dan çok daha yüksektir.



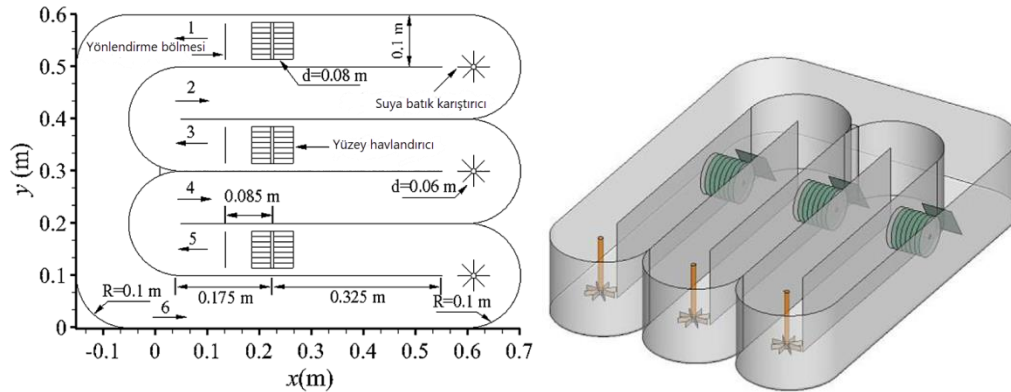
Şekil 1.25. Hidrojetlerle havalandırılan OH'nin şematik şekli (Karpinska vd., 2015'ten değiştirilmiştir.)

Wei vd. (2016-a) Smagorinsky modeli ile LES'e bağlı Carrousel OH için suya batık yüzey havalandırıcıların optimizasyonunu yapmışlardır. Bu çalışma suya batık orandaki yüzey havalandırıcıların optimizasyonu için bir pilot tesis (0,85 m uzunluk, 0,6 m genişlik ve 0,16 m yükseklik) içerisindeki hidrolik karakteristiklerin deneysel ve simülasyon çalışmalarıyla ilgilidir (Şekil 1.26). HAD için ANSYS Fluent (V 6.2.16) yazılımı kullanılmıştır. Türbülans modeli olarak RNG k- ϵ modeli kullanılmıştır. Simülasyonu yapılmış hızların ve deneysel ölçümlerin karşılaştırılması, bu simülasyonun doğruluğunun iyi olduğunu gösteren güzel bir uyuma sağlamıştır. Yüzey havalandırıcıları için en iyi suya batıklık derinlik oranı 2/3 olarak, akım alanı yapısının analizine, bir hendeğin alt katmanındaki gaz ve sıvının oranına, karışımın ortalama hızına ve akım bölgesinde ki hıza göre elde edilmiştir. Yüzey havalandırıcıları için 1/3, 1/2, 2/3 ve 3/4 suya batıklık derinlik oranları, dört işletme koşulunda çamur birikmesine neden olmuştur. Araştırma sonucunda, Carrousel OH'lerinin tasarımı için bir referans sağlayabileceği belirtilmiştir.



Şekil 1.26. Carrousel OH'nin pilot şekli (Wei vd., 2016-a'dan değiştirilmiştir)

Wei vd. (2016-b) bir OH'deki hız dağılımlarını geliştirmek için ek yönlendirme bölmelerinin simülasyonunu ANSYS Fluent (V 6.2.16) programıyla yapmışlardır. OH'deki akımı tanımlamak için 3B RNG k-e türbülans modeli ve iki fazlı gaz-sıvı modeli kullanılmıştır. Test modeli, Carrousel OH'nin bir pilot tesisi olarak, laboratuvarında 6 kanaldan ve organik camdan oluşturulmuştur (Şekil 1.27).



Şekil 1.27. Tesisin 2 boyutlu ve 3 boyutlu gösterimi (Wei vd., 2016-a'dan değiştirilmiştir)

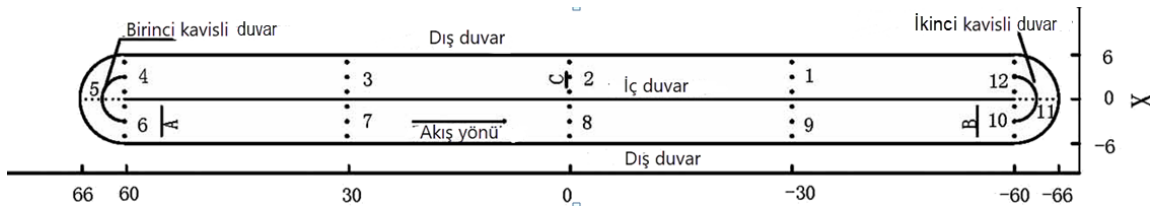
Analiz sonucunda iki durum için hız dağılımlarının karşılaştırılması (yönlendirme levhaları olup olmaması durumu), yüzey havalandırıcılarından aşağıya doğru monte edilen kılavuz levhaların, hendek dibindeki hızı arttırabileceğini ve OH'deki dikey hız dağılımlarının daha düzenli bir hale geleceğini, böylelikle OH'nin altındaki çamur

birikimini önlemeye yardımcı olacaklarını göstermiştir. Ayrıca yönlendirme levhalarının sıvı-gazkarışımı için zaman uzaması üzerinde bariz bir etkiye sahip oldukları bulunmuştur.

Zhang vd. (2016) OH içerisindeki suya batık karıştırıcıların HAD ile simülasyonunu yapmışlar ve deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. Tam ölçekli OH 12 m genişlikte, 5 m su derinliğine sahip ve 120 m uzunluktadır. Duvarların kalınlıkları 25 cm'dir (Şekil 1.28 ve Şekil 1.29). Analiz için ANSYS CFX (V 14.5) ticari programı kullanılmıştır. Analiz 3B RNG k-ε türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1.28. Carrousel OH ve karıştırıcı (Zhang vd., 2016'dan değiştirilmiştir)

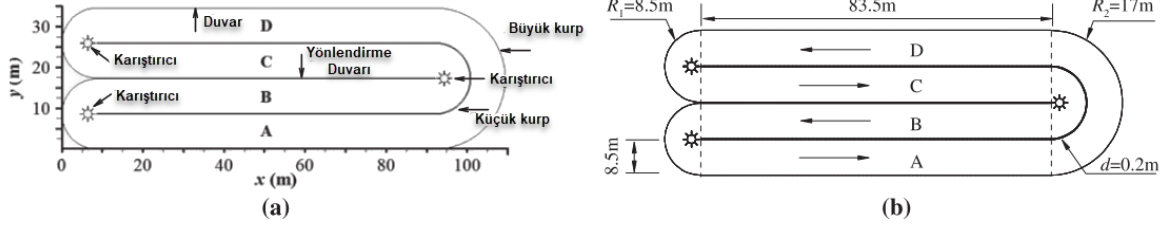


Şekil 1.29. Carrousel OH'nin şematik görünüşü (Zhang vd., 2016'dan değiştirilmiştir)

Simülasyonla bulunan sonuçlar, deneysel verilerle kıyaslandığında kabul edilebilir çıkmış ve şu sonuçlar elde edilmiştir. HAD modeli, tam ölçekli OH'de akım profili ve enerji tüketimini karakterize etmiştir. Tahmin edilen akım alanı değerleri ile ölçülen değerler arasında $-1,28 \pm 7,14\%$ farklılık vardır. Simülasyon ve deneysel sonuçlardan sonra karıştırıcıların varlığının istenilen akım profili sağlanırken güç tüketimi açısından da değerlendirilmesi gerektiğini göstermiştir.

Wei vd. (2016-c) tam ölçekli bir OH'de uygun derinlikte suya batmış karıştırıcıların sayısal simülasyonunu yapmışlardır (Şekil 1.30). Bunun yanında bir OH'de karıştırıcıların,

akış alanlarının yapısı üzerinde suya batıklık derinliğinin etkisi, HAD'a dayalı, deneysel olarak doğrulanmış ve sayısal bir araç kullanılarak çalışılmıştır. Bu çalışma için 3 farklı yerde 5 farklı derinlik için karıştırıcıların simülasyonları yapılmıştır. Simülasyonlar RNG k- ϵ türbülans modeli kullanılarak 3B olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1.30. OH'nin şematik şekli (Wei vd., 2016-c'den değiştirilmiştir.)

Yapılan simülasyonlar sonucunda, suya batıklık derinlik oranı 0,45 olan karıştırıcı dikey doğrultuda düzenli akım hızı ve OH tabanında çamur birikmesinin önlenmesi açısından en iyi sonuçları vermiştir.

Climent vd. (2019) yaptıkları çalışmada tam ölçekli bir OH (7800 m³ hacimli) içindeki 3B akışkan akımının analizi için geliştirilen HAD modellerinin deneysel doğrulamasının önemini ortaya koymaktadırlar. Tam ölçekli bir tesiste akış profili ve havalandırma düzeni yardımıyla akım davranışlarının incelenmesi için tek fazlı ve çift fazlı HAD modelleri yapılmıştır. HAD modelleri ANSYS Akademik Sürüm 16.2 ile gerçekleştirilmiştir. İki atık su arıtma hattındaki akış düzenini ve akışın hidrolik olarak dağılımı elde etmek için izleyici testleri yapılmıştır. Akışkanın 3 boyutlu, hava kabarcıklı ve hava kabarcıkları olmadan hız ölçümlerinin gerçekleştirilmesi zorluğuna rağmen, bu çalışmada HAD modelinin doğrulanması için gerekli bilgiler sağlamıştır. Bu çalışmadan işletme sürecini ve hidrodinamiği geliştirmek için pervanelerin yerleri değiştirilerek birçok simülasyon gerçekleştirilmiştir.

1.4. Çalışmanın Literatürdeki Yeri ve Özgün Değeri

Geçmiş çalışmalar incelendiğinde genel olarak mevcut OH'lerin hidrodinamik özelliklerinin belirlenmesi için HAD analizleri yapılmıştır. Bazı çalışmalar da hidrodinamik özelliklerin iyileştirilmesi için çeşitli öneriler verilmesine rağmen bu iyileştirmeler genel olarak tesis içinde karıştırıcı ve havalandırıcı gibi yapı elamanlarının

optimizasyonu ile sağlanmaya çalışılmış (Chen ve Xu, 2010, Fan vd. 2010, Yang vd., 2010, Yang vd., 2011, Huang vd., 2013, Lei ve Ni, 2014, Xie vd. 2014, Karpinska vd. 2015, Wei vd., 2016-a, Wei vd., 2016-b, Zhang vd., 2016, Wei vd. 2016-c, Climent vd., 2019), OH'lerin geometrik şeklinin hidrolik analizi ile ilgili çalışmalara rastlanmamıştır. Bu noktadan hareketle, bu çalışmanın motivasyon konusu OH'ler için hidrodinamik açıdan iyi, yeni ve özgün geometrik şekillere sahip modellerin oluşturulması olmuştur. Bu kapsamda, üç farklı yeni geometriye sahip OH'ler için HAD ile modelleme yapılmıştır. Ayrıca bu çalışma OH'lerin HAD analizlerinde atık su giriş ve çıkış noktalarında boruların kullanılarak modellenmesi bakımından yenidir. Daha önceki çalışmalarda atık su giriş ve çıkış debileri, hendek içerisindeki hız dağılımlarına etkilerinin çok az olduğu gerekçesiyle (Stamou, 1993) hesaplarda ihmal edilmiştir. Dolayısıyla, giriş ve çıkış debilerinin ve süreklilik denklemi neticesinde atık su giriş hızlarının hendek içerisindeki hız dağılımına etkilerinin incelenmesi bakımından bu şekilde bir çalışma daha önce gerçekleştirilmemiştir. HAD modeli ve analizleri için; kabul edilirliliği kanıtlanmış, yüksek tahmin gücüne sahip, geçmiş çalışmalarda da sıklıkla kullanılan (Chen ve Xu, 2010, Fan vd. 2010, Yang vd., 2010, Yang vd., 2011, Lei ve Ni, 2014, Karpinska vd. 2015, Wei vd., 2016-a, Wei vd., 2016-b, Zhang vd., 2016) ANSYS Fluent (V 13) yazılımı seçilmiştir. Genellikle, HAD modellerini doğrulamak için elde edilen deneysel veriler, özellikle tam ölçekli tank çalışmalarında; ekonomi, zaman ve karmaşıklık açısından getirdiği zorluklar nedeniyle oldukça azdır (Climent vd., 2019). Model doğrulaması için geçmiş çalışmalara bakıldığında genelde laboratuvar ölçeğinde çalışmaların gerçekleştirildiği (Luo vd., 2005, Fan vd., 2010, Lei ve Ni, 2014, Karpinska vd., 2015, Wei vd., 2016-a, Wei vd., 2016-b), tam ölçekli tesiste yapılan ölçümlerle doğrulama yapılan çalışmaların çok fazla olmadığı ve bu çalışmaların çoğunda tam ölçekli tesislerde oldukça az sayıda (<4) noktadan ölçüm alındığı, sadece iki çalışmada 10 ve 12 noktadan ölçüm alındığı görülmektedir (Yang vd., 2010-2 bölge, Yang vd., 2011-3 bölge, Huang vd., 2013-4 bölge, Xie vd., 2014-10 nokta, Zhang vd. 2016-12 nokta, Wei vd., 2016-c-3 bölge). Burada bölge, seçilen bir en kesitte alınan ölçümler demektir. Yapılan bu çalışmada ise tam ölçekli tesiste 14 farklı noktadan ve diğer çalışmalara nazaran daha sistematik bir ölçüm ağından ölçümler alınarak doğrulama yapılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

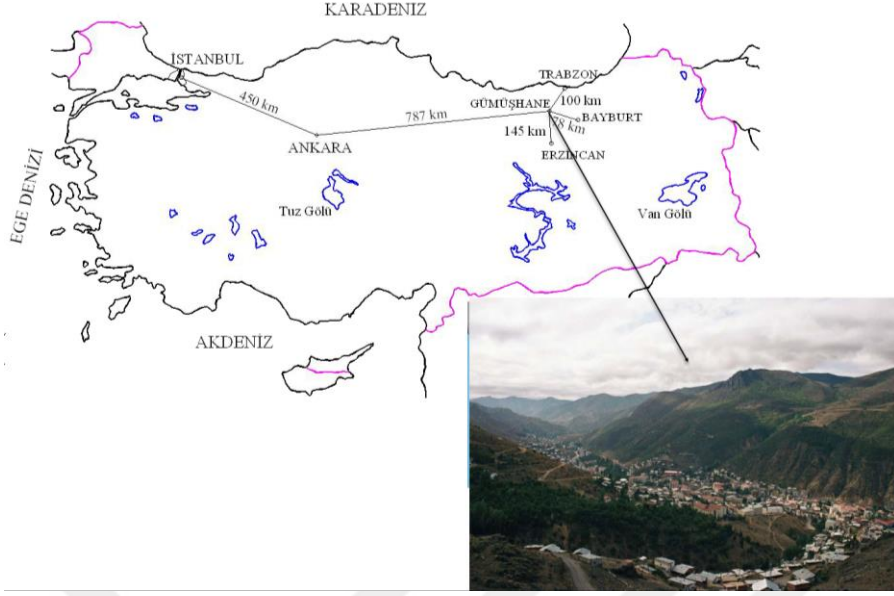
Bu çalışma da tip proje olarak uygulanan atık su arıtma tesislerinin biyolojik artıma ünitelerinden OH'lerin hidrolik ve hidrodinamik açıdan değerlendirilmesi, seçilen bir atık su arıtma tesisinde HAD ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel doğrulama ile birlikte analizler sonucunda mevcut tam ölçekli tesisin hidrolik açıdan değerlendirilmesi yapılmış ve akımın durduğu ölü bölgeler bulunarak bunların en aza indirilmesi için uygun geometrilerin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla tam ölçekli tesis olarak, Gümüşhane Merkez ilçenin atık sularının arıtımının yapıldığı, GASAT'ın biyolojik arıtım sağlayan OH'ler seçilmiştir.

2.1. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi

Bu çalışmada seçilen tam ölçekli tesis olarak Gümüşhane Merkez ilçenin atık sularının arıtımını sağlayan GASAT'a ait detaylar aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Proje Alanının Tanıtılması

Gümüşhane ili Doğu Karadeniz Bölgesi'nin iç kesimlerinde yer almaktadır. $38^{\circ} 45' - 40^{\circ} 12'$ doğu boylamları ile $39^{\circ} 45' - 40^{\circ} 50'$ kuzey enlemleri arasındadır. İl, batı ve kuzeybatıda Giresun, kuzeyde Trabzon, kuzeydoğuda Rize ve doğu ve güneydoğuda Erzurum ile çevrilidir Şekil 2.1. Yüzölçümü 6.575 km^2 olup deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 1.210 m 'dir. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer almakta olan Gümüşhane ilinin ilçeleri: Kelkit, Torul, Köse, Kürtün ve Şiran'dır. 2018 yılı itibariyle Gümüşhane Merkez ilçesinin nüfusu 57.269 'dur. Gümüşhane Merkez ilçesi Harşit Çayı'nın dar vadisinde $1100 \text{ m} - 1350 \text{ m}$ arası yüksekliklerde kuruludur. Yaklaşık 10 km boyunca uzanan ama genişliği genellikle 600 m 'yi geçmeyen bahçeler içindeki dağınık yerleşimlerden ve mahallelerden oluşan tipik bir yol boyu yerleşmesi özelliği gösterir. Yüzölçümü 1.789 km^2 'dir (Şekil 2.1). Gümüşhane'nin iklimi kara iklimi ile Doğu Karadeniz iklimi arasında bir geçiş özelliği gösterir. Kuzeydeki dağlar soğuk ve nemli kuzey rüzgârlarını engeller. Yağışlar kışın ve ilkbaharda daha çoktur.



Şekil 2.1. Gümüşhane ilinin Türkiye’de ki yeri ve şehir merkezinden bir görünüm (ölçeksiz), (İller Bankası, 2009)

2.1.1.1. Isı Durumu

Bölgedeki sıcaklık durumu 33 yıllık gözlem süresi için Tablo 2.1’de verilmiştir (İller Bankası, 2009).

Tablo 2.1. Sıcaklık durum tablosu

Aylar	Ortalama sıcaklık °C	En düşük sıcaklık °C	En yüksek sıcaklık °C
Ocak	-1,9	-5,9	2,6
Şubat	-0,8	-5,5	4,5
Mart	3,3	-1,7	9,2
Nisan	9,4	3,7	15,9
Mayıs	13,5	7,3	20,7
Haziran	17,0	10,5	24,5
Temmuz	20,1	13,6	27,9
Ağustos	20,1	13,5	28,5
Eylül	16,5	9,8	25,1
Ekim	11,3	5,6	18,6
Kasım	4,8	0,5	10,1
Aralık	0,2	-3,4	4,4
YILLIK	9,5	4	16

Tablodaki sonuçlara göre, yıllık en yüksek sıcaklık 28,5 °C ile Ağustos ayında ve yıllık en düşük sıcaklık ise -5,9 °C ile Ocak ayında gerçekleşmiştir. Yıllık ortalama sıcaklık 9,5 °C, ortalama sıcaklık farkı $20,1 - (-1,9) = 22$ °C’dir. Ayrıca ortalama sıcaklık Ocak ve

Şubat aylarında 0°C'nin altına düşmektedir. En düşük sıcaklığa bakıldığında yılın 8 ayında 0°C'nin üzerinde kalmaktadır.

2.1.1.2. Yağış Durumu

İklimin en önemli parametrelerinden olan yağış durumu 33 yıllık gözlem süresi için Tablo 2.2'de sunulmuştur (İller Bankası, 2009).

Tablo 2.2. Yağış durum tablosu

Aylar	Ortalama toplam yağış miktarı (mm)	Yağışın		
		>0,1 mm olduğu gün sayısı	>10 mm	>50 mm
Ocak	35,1	11,3	1,0	0,0
Şubat	33,6	11,2	0,7	0,0
Mart	41,1	13,3	0,7	0,0
Nisan	61,0	13,8	1,7	0,0
Mayıs	71,3	15,8	2,1	0,0
Haziran	44,7	10,3	1,2	0,0
Temmuz	12,6	4,2	0,3	0,0
Ağustos	12,1	3,6	0,2	0,0
Eylül	21,9	5,4	0,7	0,0
Ekim	47,5	9,8	1,5	0,0
Kasım	44,4	10,4	1,2	0,0
Aralık	40,4	11,9	1,1	0,0
Yıllık	465,7	121,0	12,4	0,0

Tablo 2.2 incelendiğinde görüleceği gibi ortalama en çok yağışın Mart-Haziran ve Ekim-Aralık dönemlerinde olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama toplam yağış 465,7 mm olup, en çok yağışın gerçekleştiği 7 ayda bu rakam 350,4 mm (%75) olmaktadır.

2.1.1.3. Mevcut Yeraltı Tesisleri

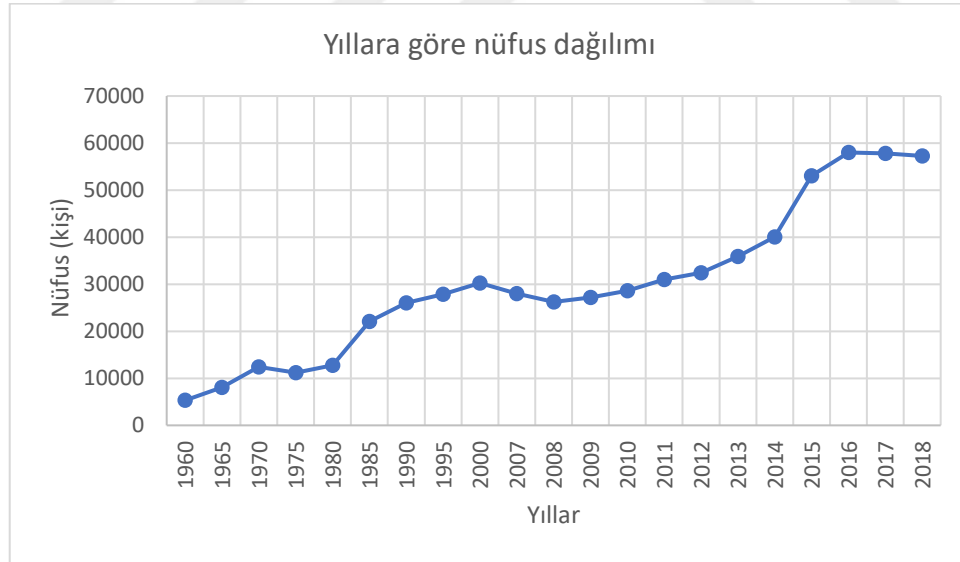
Şehirde mevcut yeraltı tesisi olarak; içme suyu şebekesi, kanalizasyon şebekesi, yağmursuyu şebekesi ile şehrin belirli bölgelerinde yer altına döşenen PTT şebekesi bulunmaktadır (İller Bankası, 2009).

2.1.2. Proje Yılları Nüfus Hesapları, Proje Debileri ve Kirlilik Yükleri

Gümüşhane Merkez İlçe'nin çeşitli yıllardaki nüfusları ve bunun yıllar içindeki değişimi sırasıyla Tablo 2.3 ve Şekil 2.2'de görülmektedir (TÜİK, 2018). Ancak GASAT projesi 2009'da yapıldığı için 2009 yılına kadar ki nüfus değerleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 2.3. Gümüşhane Merkez İlçe için yıllara göre nüfus sayım sonuçları

Yıllar	Nüfus (Kişi)	Yıllar	Nüfus (Kişi)
1960	5312	2009	27215
1965	8092	2010	28620
1970	12440	2011	31011
1975	11166	2012	32444
1980	12735	2013	35916
1985	22067	2014	40078
1990	26014	2015	53074
1995	27850	2016	58000
2000	30270	2017	57814
2007	28028	2018	57269
2008	26238		



Şekil 2.2. Gümüşhane Merkez İlçenin yıllara göre nüfus dağılımı

4 farklı metotla yapılan gelecek nüfus tahmin sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda Gümüşhane Merkez ilçesinin 2043 yılına kadarki nüfus değişimleri için İller Bankası Metodunun \bar{C}_{ort} kullanılarak bulunan değerleri kullanılmıştır. Aşağıdaki 1960–

2007 arası kesin nüfus sayım sonuçlarıyla 2007–2043 arası kabul edilen tahmini nüfus sayıları toplu olarak gösterilmiştir (İller Bankası, 2009):

Aşağıda 2043 yılına kadarki öngörülen nüfuslar belirtilmiştir;

$N_{2008} = 28\ 502$ kişi $N_{2013} = 30\ 991$ kişi $N_{2018} = 33\ 698$ kişi $N_{2023} = 36\ 641$ kişi $N_{2028} = 39\ 841$ kişi $N_{2033} = 43\ 320$ kişi $N_{2038} = 47\ 104$ kişi $N_{2043} = 51\ 218$ kişi

Proje 15 + 20 yıllık olarak 2 kademeli olarak tasarlanmıştır. 1. Kademe için proje yapım yılı olan 2008 yılı itibariyle $2008+15=2023$ yılı için tesis projelendirilecek ve daha sonra 2. Kademe için $2023+20=2043$ yılı itibariyle tesiste kapasite artırımına gidilecektir. 1. Ve 2. kademe proje nüfusları aşağıda belirtildiği gibidir. (İller Bankası, 2009);

1. Kademe (2023 Yılı) = 36 650 kişi

2. Kademe (2043 Yılı) = 51 220 kişi

Burada şunu belirtmekte gerekir ki; yapılan bu projede nüfus tahminleri değerlendirildiğinde 2018 yılı itibariyle 2043 yılı için hedeflenen değerlere çoktan ulaşılmıştır. Dolayısıyla nüfus artış hızının tekrar değerlendirip projenin revize edilmesi gerekmektedir.

2.1.2.1. Proje Debileri

1. Kademe ve 2. Kademe için bulunan proje atık su debileri Tablo 2.4'te özetlenmiştir (İller Bankası, 2009).

Tablo 2.4. Atık su debileri

Debiler	1. Kademe (2023) Nüfus=36650 kişi		2. Kademe (2043) Nüfus=51220 kişi	
	m ³ /sa	l/sn	m ³ /sa	l/sn
Q _{Minimum}	106,00	29,00	160,00	45,00
Q _{Ortalama}	165,00	46,00	249,00	69,00
Q _{Proje}	281,00	78,00	425,00	118,00
Q _{Maksimum}	336,00	93,00	508,00	141,00

2.1.2.2. Kirlilik Yükleri

Evsel tüketimden ve çeşitli kirletici kaynaklardan gelebilecek kirlilik yükleri deneylerle belirlenmiş ve proje debilerine göre konsantrasyonları saptanmıştır (Tablo 2.5).

Hem atık suya hem de yüzey suyuna uygulanan organik kirliliğin en yaygın kullanılan parametresi 5 günlük BOİ'dir (BOİ₅). Bu belirleme, mikroorganizma tarafından organik maddenin biyolojik oksidasyonunda kullanılan çözünmüş oksijenin ölçülmesini içerir. 5 günde %60 seviyelerine ulaşan BOİ'nin, tam olarak ölçülebilmesi için 28 gün geçmesi gerekir. Genellikle zamandan tasarruf etmek için 5 günlük BOİ değeri kullanılır, toplam BOİ için matematiksel modellerden yararlanır (Sibil et al., 2014). Mevcut atık su BOİ₅ değeri 280 mg/l'dir. Gümüşhane kentsel atık sularının atık su karakterizasyonuna göre, mevcut OH ve diğer üniteler 2011 yılında tasarlanmıştır (İller Bankası, 2009).

Tablo 2.5. Atık su kirlilik yükleri

Parametre	1. Kademe (2023)		2. Kademe (2043)	
	Eşdeğer Nüfus: 36650 kişi		Eşdeğer Nüfus: 51220 kişi	
	(kg/gün)	(mg/l)	(kg/gün)	(mg/l)
BOİ ₅	1106	280	1669	279
Toplam Azot	221	56	347	58
Toplam Fosfor	42,5	10	57,5	9
Askıda Katı Madde	1148	291	1725	289

2.1.2.3. İller Bankası Aktif Çamur Prosesi Genel Şartnamesi

Bu şartnamedeki arıtılmış su deşarj standartlarında BOİ ve AKM parametreleri verilmekte; ayrıca azot giderimi istenen tesisler için de bir sınırlama getirilmektedir.

- BOİ₅: Anlık numunelerde 30 mg/l, arka arkaya 5 gün alınan 2 saatlik kompozit numunelerde ise ortalama 20 mg/l BOİ₅ maksimum değerler olarak verilmiştir.
- AKM: Maksimum 20 mg/l değeri verilmiştir.
- Azot: Azot giderimi istenen tesislerde reaktördeki atık su sıcaklığının 12 °C den daha yüksek olduğu durumlarda en az %40 azot giderimi istenmektedir (İller Bankası, 2009).

2.1.2.4. Proje Arıtılmış Su Kalitesi

Ülkemizde uygulanan SKKY'deki standartlar oldukça toleranslı bulunmakta ve alıcı ortamlara verilen atık suların daha iyi arıtılması gerektiği şeklinde eleştirilmektedir. Avrupa Birliği standartlarında ise daha iyi çıkış suyu istenmekte ve ayrıca belirli büyüklükteki veya belirli bölgelerdeki tesisler için azot ve fosfor giderilmesi şartı da

getirilmektedir. Bu yüzden son yıllarda ülkemizde gerçekleştirilen bazı büyük projelerde Avrupa Birliği standartlarının uygulandığı görülmektedir.

Yukarıdaki değerlendirmeler ışığında bu proje için uygun görülen arıtılmış su standardı Tablo 2.6'daki gibidir (İller Bankası, 2009).

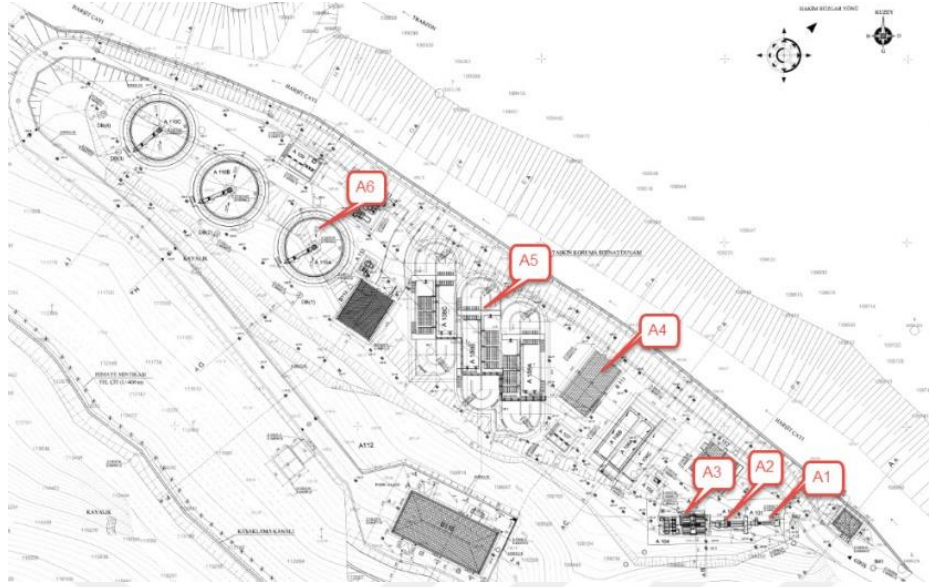
Tablo 2.6. Projede arıtılmış su standartları

Parametre	Birim	Maksimum değer
AKM	mg/l	20
BOİ ₅	mg/l	30
Toplam Azot (TN)	mg/l	15
Toplam Fosfor	mg/l	2
PH	-	6 – 9

2.1.3. Atık Su Arıtma Tesisi Yapı Elamanları

Belirlenen kirlilik yükleri, debi ve deşarj kalitesine göre İller Bankası tarafından yapılan atık su arıtma tesisi aşağıdaki yapı elamanlarından oluşmaktadır (Şekil 2.3 ve Şekil 2.4). Atık su arıtma tesisinde hem fiziksel hem de biyolojik arıtım yapılabilmektedir. Tesiste bulunan yapı elamanları şu şekildedir;

- Kaba Izgara (A1)
- İnce Izgara (A2)
- Havalandırmalı Kum Tutucu (A3)
- Anaerobik Havuz (A4)
- Oksidasyon Hendeği (A5)
- Çökeltme Havuzu (A6)



Şekil 2.3. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi yapı elamanları



Şekil 2.4. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi

2.1.3.1. Biyolojik Atık Su Arıtma Ünitesi Tasarım Özellikleri

Biyolojik arıtım için uzun havalandırmalı aktif çamur yöntemi seçilmiştir. Havuz şekli olarak OH adı verilen mimari kullanılmıştır. Burada suya yayıcılar yardımıyla hava verilerek suya oksijen kazandırılmaktadır. Bakterilerin yardımıyla atık sudaki organik madde (BOI_5) yanında azot (TN) giderimi de hedeflenmektedir. Aerobik çamur yaşı her iki

kademe için 17,5 gün seçilmiştir. 1. kademede 2 adet, 2. kademede 3 adet OH bulunacaktır. Her bir havuzun hacmi 1.679 m³'tür (Tablo 2.7) (İller Bankası, 2009).

Tablo 2.7. Biyolojik atık su arıtma tesisi boyutları ve tasarım değerleri

Parametreler	Birim	2023	2043
		Değerler	Değerler
Debi	m ³ /gün	3945	5976
BOİ ₅	mg/l	280	279
BOİ yükü	kgBOİ/gün	1106	1669
AKM	kg/gün	1148	1725
Aerobik çamur yaşı	gün	17,5	17,5
Hidrolik bekletme süresi	gün	0,85	0,85
Besin/Mikroorganizma	kgBOİ ₅ /kgAKM	0,095	0,095
V (hazne hacmi)	m ³	1679	1679
Uzunluk	m	25	25
Derinlik	m	5,25	5,25
Genişlik	m	5	5
Tesis sayısı	adet	2	3
Gereken hava hacmi	m ³ /sa/havuz	1312	1312
Kompresör gücü	kW	90	135

2.2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada aktif çamur yöntemi ile biyolojik atık su arıtma sağlayan OH geometrisine sahip bir tesisin hidrolik ve hidrodinamik davranışları mevcut çalışma koşullarında HAD ile modellenmiştir. Daha sonra analiz sonuçları değerlendirilerek tesisin hidrodinamik açıdan zayıf yönlerinin giderimi için özgün modeller oluşturulmuş ve böylece arıtım veriminin artırılması, arıza tespiti, tesisin geliştirilmesi ve ekonomik fayda hedeflenmiştir.

HAD akımın bünye denklemlerini bilgisayar yardımıyla çözmekte kullanılan bir tekniktir. Akışkanların hareketini belirlemek için temel denklemlerden yola çıkılarak geliştirilmiş bu teknikte, karmaşık akımların sayısal çözümlemesi sonlu elemanlar, sonlu farklar veya sonlu hacimler yöntemlerinin uygulanmasıyla mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, seçilen atık su arıtma tesisinin HAD hesaplamaları ve simülasyonları ANSYS Workbench (V 13) (ANSYS Workbench, 2013) programı ve onun içindeki Fluent (ANSYS Fluent, 2013) yazılımıyla yapılmıştır. Bu kapsamda, atık su arıtma sisteminin mevcut projeleri ve tam ölçekli tesiste yapılan gözlemler yardımıyla elde edilmiş mevcut tasarım ve işletim verileri, HAD analizi için ANSYS Workbench programına girilmiştir. Daha sonra tesisin katı modeli, ANSYS Workbench'in kendi içinde yer alan çizim

programını Design Modeler ile oluşturulmuş ve HAD analizi için sonlu eleman ağına (mesh) bölünmüştür. Daha sonra tesisin mevcut işletme koşullarında, sınır koşulları girilerek, Fluent yazılımı ile HAD analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları görselleştirildikten sonra hem analitik olarak hem de gerçek tam ölçekli tesis gözlemleriyle karşılaştırılmış ve değerlendirmeler yapılmıştır.

2.2.1. Fluent Programının Çözüm Algoritmasının Temel Esasları

Fluent yazılımının çözüm içeriği akışlar mekaniği ve hidrolik temel mühendislik bilim dalının esaslarına dayanır. Bu kapsamda Fluent'in temel çözüm esaslarının dayandığı akışkanlar mekaniğinin temel ilkeleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

2.2.1.1. Kütle Korunumu Denklemi

Kütle korunumu denklemi veya süreklilik denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (2)$$

Denklem 2, kütle korunumu denkleminin genel formudur ve sıkıştırılmaz akışların yanı sıra sıkıştırılabilir akışlar için de geçerlidir. Burada p basınç, t zaman, ρ yoğunluk, \vec{v} hız vektörüdür. S_m 'nin kaynağı, dağınık ikinci fazdan sürekli faza (örneğin, sıvı damlacıklarının buharlaşması nedeniyle) eklenen kütle ve kullanıcı tanımlı herhangi bir kaynaktır (Chen and Liu, 2015).

2.2.1.2. Momentumun Korunumu Denklemleri

Bir atalet koordinat sistemi içinde momentumun korunumu aşağıdaki eşitlikle tanımlanabilir.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (3)$$

Burada p statik basınç, $\bar{\tau}$ gerilme tensörü, $\rho\vec{g}$ ve \vec{F} sırasıyla yerçekimi cisim kuvveti ve dış cisim kuvvetidir (Örneğin, dağınık fazla etkileşimden kaynaklanan). \vec{F} aynı zamanda, gözenekli ortam ve kullanıcı tanımlı kaynaklar gibi modele bağlı diğer kaynak terimlerini de içerir.

Gerilme tensörü ($\bar{\tau}$) aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$\bar{\tau} = \mu \left[(\nabla\vec{v} + \nabla\vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right] \quad (4)$$

Burada μ moleküler viskozite, I birim tensör ve sağdaki ikinci terim hacim genişlemesinin etkisidir (Chen and Liu, 2015).

2.2.1.3. Akışkan Hareketinin Tarifi

Akışkanlar dinamiğinde, bir akışkanın hareketi akışkanın hızı u , akışkanın basıncı p , akışkanın yoğunluğu ρ , akışkanın viskozitesi ν gibi fiziksel nicelikler kullanılarak matematiksel olarak tarif edilir. Akışkan hızı veya akışkan basıncı akışkan hacmindeki farklı noktalarda farklılık gösterir. Akışkanın simülasyonunun amacı, akışkan alanındaki farklı noktalarda akışkanın hız ve basınç dağılımlarının izlenilmesidir. Böylece yapılan bu çalışmada akışkanın çeşitli noktalarda hız dağılımları bulunmuştur.

2.2.1.4. Akışkan Akımının Tipleri

Akışkan akımının birçok çeşidi vardır. Bir akım sıkışabilen ($\rho \neq \text{sabit}$) veya sıkışamayan ($\rho = \text{sabit}$), viskoz ($\nu \neq 0$) veya viskoz olmayan ($\nu = 0$), kararlı ($\partial_u / \partial_t = 0$) veya kararlı ($\partial_u / \partial_t \neq 0$), üniform ($\partial_u / \partial_x, \partial_v / \partial_y, \partial_w / \partial_z = 0$) veya üniform olmayan ($\partial_u / \partial_x, \partial_v / \partial_y, \partial_w / \partial_z \neq 0$) ve laminer veya türbülanslı akım olabilir. Ayrıca, bir akışkan Newtoniyen (viskozite sadece sıcaklığa ve basınca dayanıyorsa, onu etkileyen kuvvetlere bağlı değilse, diğer bir deyişle kayma gerilmesi, deformasyon hızının lineer bir fonksiyonu ise) veya Newtoniyen olmayan (viskozite onu etkileyen kuvvetlere bağlı ise, örneğin,

kayma gerilmesi akışkan deformasyon hızının lineer bir fonksiyonu değilse) olabilir (Chen and Liu, 2015).

Bu çalışmada akım sıkıştırılmaz, 3B, kararlı ve türbülanslı olarak seçilmiştir. Akımın kararlı seçilmesinin sebebi modellerde giriş ve çıkış debilerinin aynı olması dolayısıyla tesis çalışırken su seviyesinin değişmemesidir. Daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için akım 3B olarak modellenmiştir. Reynolds sayısına göre akım türbülanslı bulunmuştur.

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (5)$$

$Re < 2320$ laminar akım

$Re \approx 2320$ Geçiş akımı

$Re > 2320$ Türbülanslı akım

Buna göre akım hızı $v = 1$ m/sn, boru çapı $D = 35$ cm, Dinamik viskozite $\mu = 0,001003$ kg/msn, atık su yoğunluğu $\rho_{\text{atık su}} = 998,2$ kg/m³ ve kinematik viskozite $\nu = \mu/\rho$ olmak üzere (ANSYS Fluent, 2013).

$$Re = \frac{1,0,35}{\frac{0,001003}{998,2}} = 348325,0249 > 2320 \text{ ve akım türbülanslıdır.}$$

2.2.1.5. Navier-Stokes Denklemleri

Bu çalışmanın amacı doğrultusunda sıkıştırılmayan Newtoniyen akışkanlar üzerinde durulacaktır. Bütün akışkanlar bir dereceye kadar sıkıştırılabilirler, fakat çoğu sıvı sıkıştırılmaz olarak varsayıлып, bu sıvıların hareketleri aşağıdaki Navier-Stokes (N-S) denklemleriyle açıklanmaktadır.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u\nabla u + \nu \nabla^2 u - \frac{\nabla p}{\rho} + f \quad (6)$$

Bir akışkan parçacığındaki hızı gösteren $\partial u/\partial t$, yatay akımın $u\nabla u$, difüzyonun $v\nabla^2 u$, basınç gradyanının $\nabla p/\rho$ ve gövde kuvveti f 'nin birleşik etkileriyle elde edilebilir.

N-S denklemleri direkt olarak kütle korunumu, momentumun korunumu ve enerji ilkelerinden elde edilebilir. Akışkan akımının her bir parçası için bir N-S denklem grubuna sahip olduğumuza dikkate alalım. Bir parçacığın hızındaki değişim sırasıyla, onu saran parçacıkların onu nasıl dışa ittiği, çevrenin onun hareketine nasıl direndiği, basınç gradyanının nasıl değiştiği ve yerçekimi ivmesi gibi dış kuvvetlerin onu nasıl etkilediği gibi faktörlerden etkilenir.

3B Kartezyen koordinatlarında N-S denklemleri aşağıdaki şekilde olur.

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} + f_x \quad (7)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} + f_y \quad (8)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial z} + f_z \quad (9)$$

Burada u , v , w parçacıkların hız vektörü u 'nun bileşenleridir.

HAD modellemesinde, parçacık hareketi için N-S denklemleri belirlenmiş sınır koşulları ile birlikte analizi yapılacak 3B akışkan alanı üzerinde sayısal olarak çözülür (Chen and Liu, 2015).

2.2.1.6. Fluent Yazılımında Bulunan Türbülans Modelleri

Türbülans, orta ve yüksek Reynolds sayılarında, akışkanlarda gözlemlenen 3B, kararsız, düzensiz harekettir. Akışkan hareketleri genellikle düşük viskoziteli akışkanlara dayandığından, neredeyse tüm akımlar türbülanslıdır. Birçok teknik konu türbülansa bağlıdır. Bunlar;

- Hız, enerji ve türlerin karışımları
- Isı transferi

- Basınç kayıpları ve verimlilik
- Aerodinamik cisimler üzerindeki kuvvetler

Türbülans ilke olarak N-S denklemleri ile tanımlansa da çoğu durumda, CPU gereksinimleri ve bilgisayar kapasitesi gibi sınırlayıcı etkenlerden dolayı Doğrudan Sayısal Simülasyon ile zaman ve mekân bakımından geniş ölçek aralıklarını çözmek mümkün değildir. Bu nedenle, türbülans spektrumunun tamamının veya en azından bir kısmının filtrelenmesi için N-S denklemlerine ortalama işlemler uygulanmalıdır. En yaygın olarak uygulanan ortalama yöntem, denklemlerin Reynolds ortalamaları (pratik amaçlar için zaman ortalamaları) olup, RONS denklemleri ile sonuçlanmaktadır. Bu işleme, tüm türbülanslı yapılar akıştan elenir ve ortalama hız ve basınç alanlarının yumuşak bir değişimi elde edilebilir. Simülasyonun kalitesi için uygun bir türbülans modeli seçmek çok önemlidir. RONS'a bir alternatif, Scale-Resolving Simulation (SRS) modelleridir. SRS yöntemleriyle, türbülanslı spektrumun ve akış alanı birim boyut için çözülür. En tanınmış yöntem, Large Eddy Simülasyonu (LES)'dur, ancak birçok yeni melez (RONS ve LES arasındaki modeller) modellerde görünmektedir. Tüm SRS yöntemleri nispeten küçük zaman adımları ile zamana bağlı simülasyonlar gerektirdiğinden, bu yöntemlerin RONS simülasyonlarından hesaplama açısından çok daha uzun olduğunu bilinmektedir (ANSYS HELP, 2013).

ANSYS Fluent yazılımının sağladığı türbülans modellerinden bazıları aşağıdadır.

- Spalart-Allmaras modeli
- k- ϵ modelleri (k- ϵ models)
 - Standart k- ϵ modeli (ske)
 - Renormalizasyon grubu k- ϵ modeli (Renormalization-group (RNG) k- ϵ model)
 - Gerçekleşebilir k- ϵ modeli (Realizable k- ϵ model)
- k- ω modelleri (k- ω models)
 - 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)
- V²-f modeli (eklenti)
- Geçiş k-kl- ω modeli (Transition k-kl- ω model)
- Geçiş SST modeli (Transition SST model)
- Reynolds gerilme modelleri (Reynolds stress models (RSM))

- Doğrusal basınç-şekil değiştirme RBM (Linear pressure-strain RSM)
- İkinci dereceden basınç şekil değiştirme RBM (Quadratic pressure-strain RSM)
- Gerilme-omega RBM (Stress-Omega RSM)
- Basınç-Temel-RBM (Stress-BSL RSM)
- Ölçek Uyumlu Simülasyon Modeli (Scale-Adaptive Simulation (SAS) model),
- Ayrık Eddy Simülasyon Modeli (Detached Eddy Simulation Model)
- Geniş Eddy Simülasyon Modeli (Large eddy simulation (LES) model)

İki denklemlilik türbülans modelleri, iki ayrı taşıma denklemini çözerek türbülanslı bir uzunluk ve zaman ölçeğinin her ikisinin de belirlenmesini sağlar. ANSYS Fluent'teki standart model bu modellerin sınıfına girer ve Launder ve Spalding, (1972) tarafından önerildiğinden bu yana yapılan pratik mühendislik akış hesaplamalarının iş gücü haline gelmiştir. Çok çeşitli türbülanslı akışlar için sağlamlık, ekonomi ve makul doğruluk, endüstriyel akış ve ısı transferi simülasyonlarındaki popülerliğini açıklar. Yarı ampirik bir modeldir ve model denklemlerinin çıkarılması fenomenolojik düşüncelere ve ampirizme dayanır.

Standart k-ε modeli, türbülans kinetik enerjisi (k) ve yayılma hızı (ε) için model taşınım denklemlerine dayanan bir modeldir ve aşağıdaki denklemlerden elde edilir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (10)$$

ve

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (11)$$

Bu denklemlerde, G_k , hesaplanan ortalama hız gradyanlarından dolayı türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu temsil eder. G_b , kaldırma kuvveti nedeniyle üretilen türbülans kinetik enerjisidir. Y_M , sıkıştırılabilir türbülanstaki dalgali genişlemenin, genel dağılım hızına katkısını gösterir. $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ ve $C_{3\varepsilon}$ sabittir. σ_k ve σ_ε , sırasıyla k ve ε için türbülanslı Prandtl sayılarıdır. S_k ve S_ε , kullanıcı tanımlı kaynak terimlerdir.

RNG - modeli, standart k-ε modeline benzer bir forma sahiptir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (12)$$

ve

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} + G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (13)$$

Bu denklemlerde, G_k şu şekilde hesaplanır:

$$G_k = -\overline{\rho u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (14)$$

G_k 'yi Boussinesq hipotezi ile tutarlı bir şekilde hesaplamak için aşağıdaki denklem yazılır.

$$G_k = \mu_t S^2 \quad (15)$$

S , aşağıdaki şekilde tanımlanan ortalama gerilme tensörü oranının modülüdür,

$$S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (16)$$

Yüksek Reynolds sayılarında k - ε versiyonları kullanılırken, μ_{eff} Denklem 15'de μ_t yerine kullanılır. G_b , aşağıda hesaplandığı gibi kaldırma kuvveti nedeniyle türbülans kinetik enerji üretimidir;

$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_i} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (17)$$

Pr_i , enerji için türbülanslı Prandtl sayısıdır ve g_i , yerçekimsel vektörün i^{th} doğrultusundaki bileşenidir. Standart ve gerçekleştirilebilir k - ε modelleri için, Pr_i 'nin varsayılan değeri 0,85'tir. Önceden karıştırılmamış ve kısmi olarak önceden karıştırılmış

yanma modelleri için Pr_t , bir birime eşit Lewis sayısını sağlamak için PDF Schmidt numarasına eşit olarak ayarlanır. RNG k- ϵ modelinde, $Pr_t = 1 / \alpha$, burada α , Denklem 18 ile verilir, ancak $\alpha_0 = 1 / Pr = k / \mu c_p$ ile birlikte.

$$\left| \frac{\alpha - 1.3929}{\alpha_0 - 1.3929} \right|^{0.6321} \left| \frac{\alpha + 2.3929}{\alpha_0 + 2.3929} \right|^{0.3679} = \frac{\mu_{mol}}{\mu_{eff}} \quad (18)$$

Burada $\alpha_0=1.0$. yüksek Reunolds sayısında limit $\left(\frac{\mu_{mol}}{\mu_{eff}} \ll 1 \right)$, $\alpha_k = \alpha_\epsilon \approx 1.393$ 'dür.

Isıl genleşme katsayısı, β , aşağıdaki gibi tanımlanır (ANSYS HELP, 2013).

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (19)$$

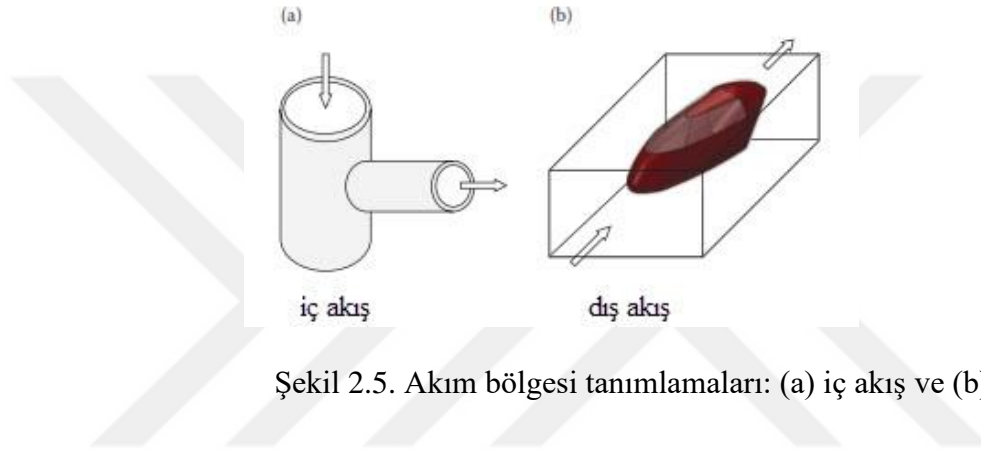
Bu çalışmada literatürde verilen modeller doğrultusunda (Luo vd., 2005; Fayolle vd., 2007; Le Moullec vd., 2008, 2010; Yang vd., 2010, 2011; Chen ve Xu, 2010; Fan vd., 2010; Alvarado vd., 2013; Huang vd., 2013; Lei ve Ni, 2014; Xie vd., 2014; Amparo López-Jiménez vd., 2015; Karpinska vd., 2015; Patziger, 2016; Terashima vd., 2016; Wei vd., 2016; Wei* vd., 2016; Karpinska ve Bridgeman, 2016; Bridgeman vd., 2017; Climent vd., 2018; Gao ve Stenstrom, 2018) türbülans modeli olarak en çok kullanılan türbülans modellerinden olan ske ve RNG doğrulamada kullanılmış, diğer modellerde ise RNG kullanılmıştır.

2.2.1.7. Akışkan Akımının Modellenmesi

HAD modellemesinin ve bu çalışmada yapılan analizlerin içerikleri aşağıda tartışılmıştır. Konu başlıkları akışkan alanının tanımlanması, sonlu eleman ağının oluşturulması, sınır koşullarının belirlenmesi ve çözümlerin görselleştirilmesini içermektedir.

2.2.1.7.1. Akışkan Alanı

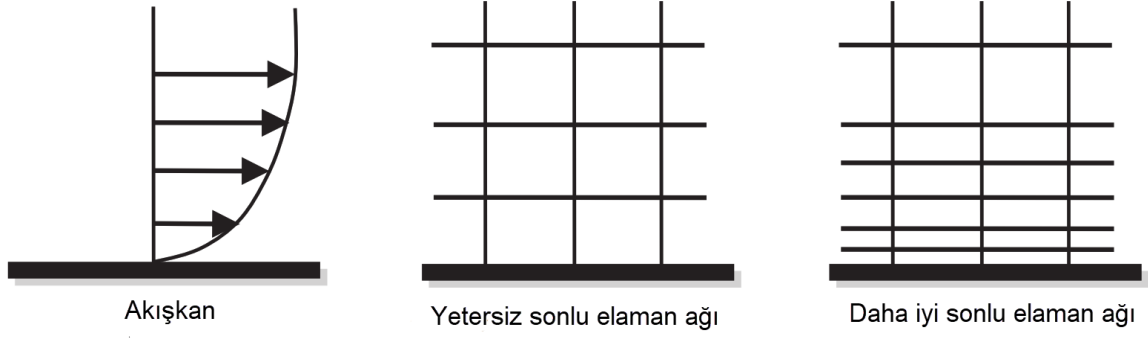
Akışkan alanı akışkanın hızı, basıncı, yoğunluğu, viskozitesi ve buna benzer parametreleriyle ilgili olan sürekli bir bölgedir. Şekil 2.5 bir iç akış ve dış akış örneklerini göstermektedir. Bir iç akış için (Şekil 2.5-a) akışkan alanı, akışkan ile temas halindeki yapının ıslak yüzeyleri tarafından kuşatılmıştır. Dış akış için ise (Şekil 2.5-b) akışkan alanı daldırılmış yapı etrafındaki dış akış bölgesidir. Bu çalışmada akışkan alanı, bir iç akıştır (Chen ve Liu, 2015).



Şekil 2.5. Akım bölgesi tanımlamaları: (a) iç akış ve (b) dış akış.

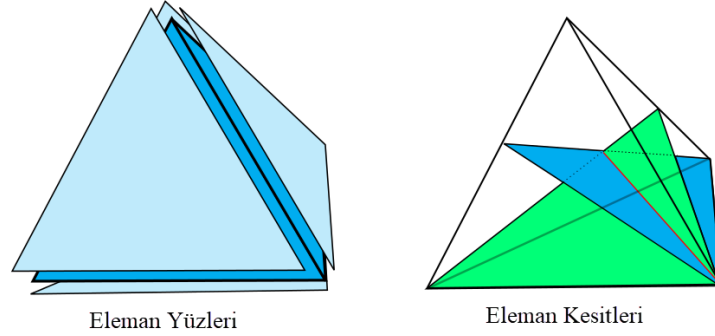
2.2.1.7.2. Sonlu Eleman Ağının Oluşturulması

HAD analizlerinde sonlu eleman ağı kalitesi çözüm zamanı ve yakınsaklık oranıyla beraber doğruluk üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İyi bir sonlu eleman ağı bilgisayar kaynaklarına çok yüklenmeden sınır tabaka, kayma tabakası ve buna benzer bütün ilgili akış özelliklerini kapsayacak kadar iyi olmalıdır (Şekil 2.6). Ayrıca iyi bir sonlu eleman ağı yakınsama ve doğruluk üzerindeki olumsuz etkisini önlemek için pürüzsüz olmalı ve farklı yoğunluklardaki sayısal ağ alanları arasında kademeli olarak geçmelidir (Chen and Liu, 2015).



Şekil 2.6. Sonlu eleman ağının çözünürlüğü akış özelliğini yeterince yansıtmalıdır.

Bu çalışmada sonlu eleman ağı için en yaygın kullanılan eleman yapılarından ve ortamdan kaynaklı fiziksel kısıtlamalardan dolayı üçgen prizma (tetrahedron) eleman yapısı seçilmiştir (Şekil 2.7). Sınır tabakaya yaklaştıkça da sonlu eleman ağı sıklaştırması yapılmıştır.



Şekil 2.7. Üçgen piramit (tetrahedrons) eleman

2.2.1.7.3. Sınır Şartları

Akışkan denklemleri akış koşullarına bağlı olarak çözülürken, tam anlamıyla akış simülasyonunu yapmak için uygun sınır şartları tanımlamak gereklidir. Genellikle sınır şartları giriş noktası, çıkış noktası, açık alan, duvar ve simetri düzlemini kapsar. Giriş sınır şartları akışın giriş yaptığı alan için tanımlanır. Çıkış sınır şartları akışkanın çıkış yaptığı alan için tanımlanır. Örneğin basınç çıkışı sınır koşulları, çıkış sınırında bir statik basıncın belirtilmesini gerektirir. Varsayılan değer olarak basınç çıkışı sınır koşulu için değerler şu şekildedir: rölatif basınç 0 atm, geri akış toplam sıcaklığı 300 K, geri akış türbülans yoğunluğu %5 ve geri akış türbülans viskozite oranı 10'dur. Açık alan sınır şartları

akışkanın serbest olarak girebildiği ve çıkabildiği alan için tanımlanır. Duvar sınır şartları akış modelinde katı sınır şartları için tanımlanır. Sabit duvarlar için, bu, genellikle akış hızı için kaymayan duvar sınır şartı (no slip wall) anlamına gelir. Kaymayan duvar sınır şartında, duvarın hemen yanındaki akışkanın hızı duvarın hızı varsayılır ve sıfır alınır. Simetri düzlemi sınır şartları hem geometri hem de akış simetri eksenlerini göstermek için kullanılır. Simetri düzlemi sınır koşulu, her iki taraftaki akışı "yansıtan" kısıtlamalar getirir. Örneğin, simetri düzlemi sınırındaki normal hız bileşeni ve sınıra doğru normal olan skaler değişken gradyanlar sıfıra ayarlanır. ANSYS Fluent, bir simetri sınırı boyunca tüm niceliklerin akışını sıfır varsayar. Simetri düzleminde konvektif akış yoktur. Simetri düzlemindeki normal hız bileşeni sıfırdır. Simetri düzleminde difüzyon akışı yoktur ve tüm akış değişkenlerinin normal gradyanları simetri düzleminde sıfırdır. Basınç sınırı akış basıncını tanımlayan sınır şartıdır. Hız sınırı, hız profilinin verildiği sınır şarttır. Farklı sınır şartları farklı akış profilleri oluşturur. Akış sınırlarını tam olarak yansıtan gerçekçi sınır şartları belirlemek, HAD analizlerinde son derece önemlidir. Bu çalışmada sınır şartları olarak; su yüzeyinde simetri sınır şartı, giriş sınır şartı olarak hız girişi (velocity inlet), çıkış sınır şartı olarak basınç çıkışı (pressure outlet), duvarlar için kaymayan (no slip) sınır şartı seçilmiştir.

2.2.1.7.4. Çözümlerin Görselleştirilmesi

Bir problem bir kere sonlu eleman ağına bölünmüş akışkan alanıyla ve belirlenmiş sınır koşullarıyla tanımlandıktan sonra, problemin çözümü için çözücüye girilebilir. Akış hareketi bir kesit düzleminde veya 3B uzay düzleminde akış değerleriyle grafikleri çizilerek tanımlanabilir. HAD da genelde kullanılan grafikler basınç kontur, kayma gerilmesi- deformasyon ve türbülans kinetik enerji dağılımları grafikleri ile akış çizgisi grafiği ve akış alanının vektörel grafiğidir.

2.3. Oluşturulan Modeller

OH geometrisine sahip aktif çamur biyolojik atık su arıtma sistemleri tip proje olarak yıllardır uygulanmaktadır. Bu çalışmada OH geometrisine sahip bir tesisin hidrodinamik açıdan değerlendirilmesi HAD (Fluent yazılımı) yardımıyla yapılarak, tesis içerisinde atık su arıtma verimi, enerji tüketimi, problem tespiti, tesis kapasite artırımı gibi parametreleri

olumlu yönde etkileyecek geliştirmeler sağlamak amacıyla, yeni özgün geometriler içeren yeni modeller sunulmuştur.

OH geometrisine sahip bir aktif çamur siteminde hendek içeresinde karışık sıvının ve hendekteki askıda maddenin hareketinin devam etmesini sağlamak ve atık su arıtma sürecince BOİ'nin karşılanması için yoğun bir havalandırma sağlamak amacıyla mekanik karıştırıcılar ve hava yayıcı difüzörler kullanılmaktadır. Bunların OH içeresinde yerleşimi özellikle akım hızının düştüğü, ölü noktaların oluştuğu bölgeler olarak seçilmekte ve böylece hendek akışının sürekliliği ve homojenliği sağlanmaktadır. Dolayısıyla hendek geometrisi hidrolik ve hidrodinamik açıdan ölü noktaların oluşumunu ne kadar azaltacak şekilde tasarlanırsa, mekanik karıştırıcı ve havalandırıcılara o kadar az ihtiyaç duyulacaktır. Bu nedenle, analizi yapılacak OH için havalandırma ve karıştırıcılar hesaba katılmamış, mevcut geometrinin herhangi bir dış etken olmadan hidrodinamik özellikleri incelenmiştir.

2.3.1. Model Doğrulaması

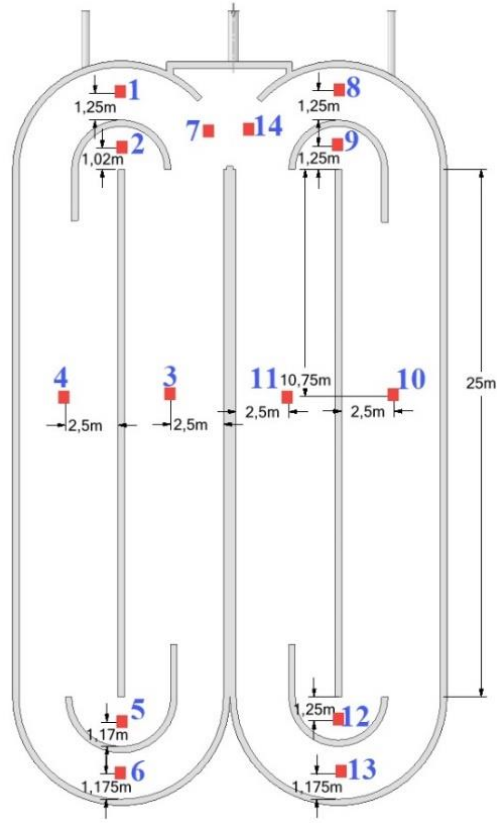
ANSYS Workbench'te yapılan modellerin doğrulanması için öncelikle mevcut işletme koşulları ile gerçek tesiste ölçümler alınarak modelleme yapılmış ve analiz sonuçları deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Doğrulanması yapılan tesis, pilot tesis olarak seçilen GASAT'ın, biyolojik atık su arıtma ünitesi için yapılan ve aktif çamur yönteminin bir varyasyonu olan OH'lerdir.

2.3.1.1. Tam Ölçekli Tesis Ölçümleri

Tam ölçekli tesisin mevcut işletme koşullarında (2443,33 m³/günlük debi ve V= 0,3466 m/sn'lik giriş hızları) OH'lerde belirlenen 14 noktada ölçümler alınmıştır (şekil 2.8 ve şekil 2.9). Ölçümler rüzgâr hızlarının etkisini asgariye indirmek için yüzeyden 1,6 derinlikte ve Acoustic Doppler Hızölçer (Nortek Vectrino FieldProbe, P24213 Probe ID: VCN 8045) cihazıyla yapılmıştır.



Şekil 2.8. Tesis ölçümlerinden kesitler



Şekil 2.9. Tesis'te ölçüm alınan noktaların konumları

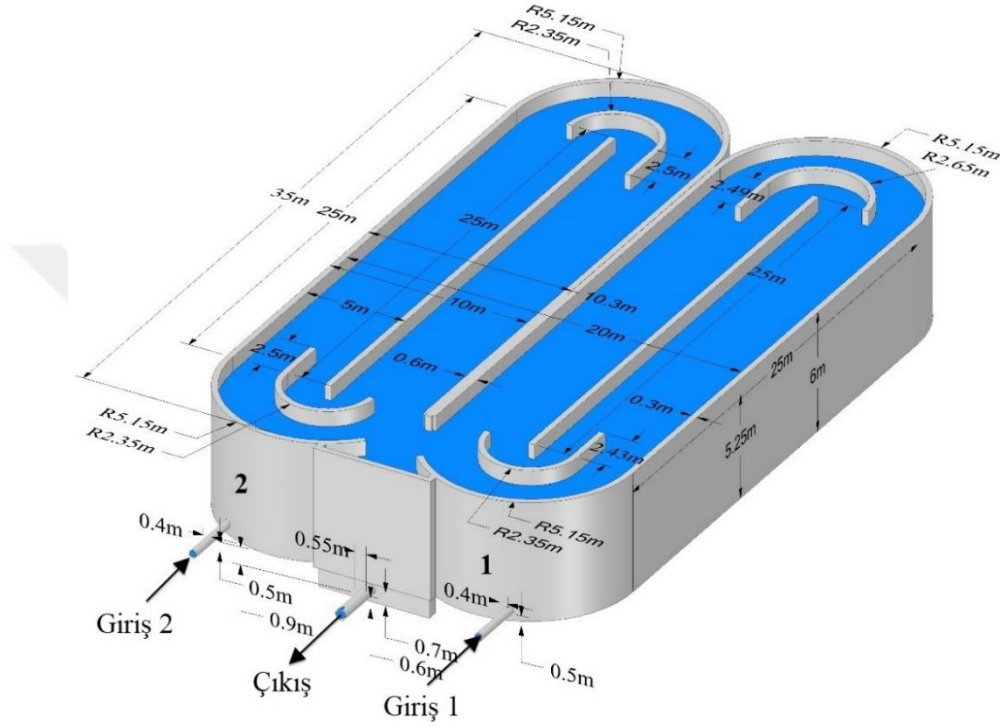
14 noktada alınan ölçüm sonuçları Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8. Tesiste yüzeyden 1,6 m derinden 14 noktada alınan ölçüm değerleri

Nokta	DeneySEL hız değerleri, cm/sn
1	2.978523
2	1.301461
3	1.554429
4	0.994786
5	0.947259
6	1.72618
7	2.613599
8	3.411818
9	1.734733
10	0.820061
11	1.750029
12	0.957079
13	3.097726
14	4.529205

2.3.1.2. Tesisin ANSYS Workbench'te Modellenmesi ve HAD Analizi

Ölçümleri alınan tesis mevcut işletme koşullarında ANSYS Workbench'te modellenmiştir. Model oluşturma ve analiz aşamaları ayrıntılı olarak bir sonraki bölümde verilmiştir. Geometri gerçek ölçülerde oluşturulmuştur (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Modelin geometrisi ve boyutları

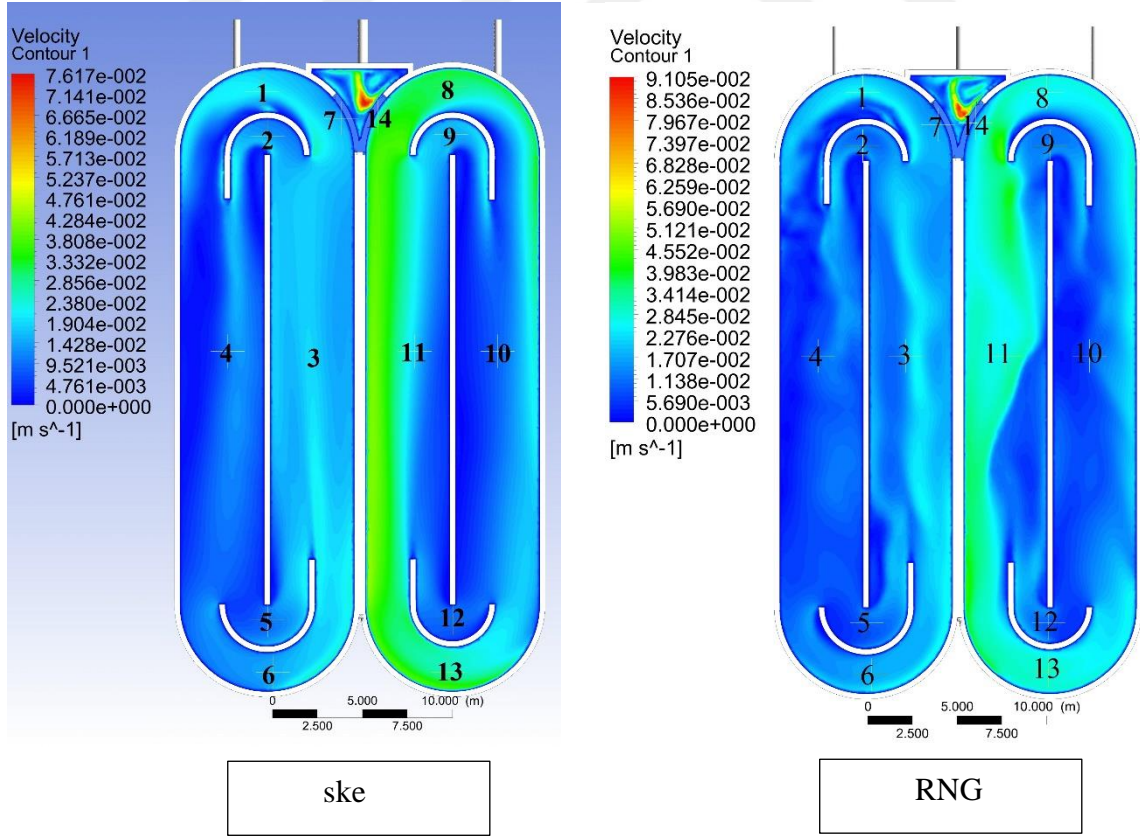
Modelin sonlu eleman ağı ANSYS Meshing programında minimum ve maksimum eleman boyutları sırasıyla 0,05 m ve 0,20 m olacak şekilde oluşturulmuştur (Şekil 2.11).

Modelin analizi 3B, kararlı, sıkıştırılmayan akım kabulüyle, ske ve RNG k-ε türbülans modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sınır şartları olarak, su giriş noktalarında hız girişi (velocity inlet), çıkış noktasında basınç çıkışı (pressure outlet) ve su yüzeyinde de simetri (symmetry) sınır şartları seçilmiştir. Mevcut işletme koşullarında su Giriş 1 ve Giriş 2 noktalarından $V=0,3466$ m/sn ile girmektedir.



Şekil 2.11. Modelin sonlu elaman ağı

Analiz sonucunda yüzeyden 1,6 m derinlikte oluşan hız çizgileri dağılımı Şekil 2.12’de gösterilmiştir.

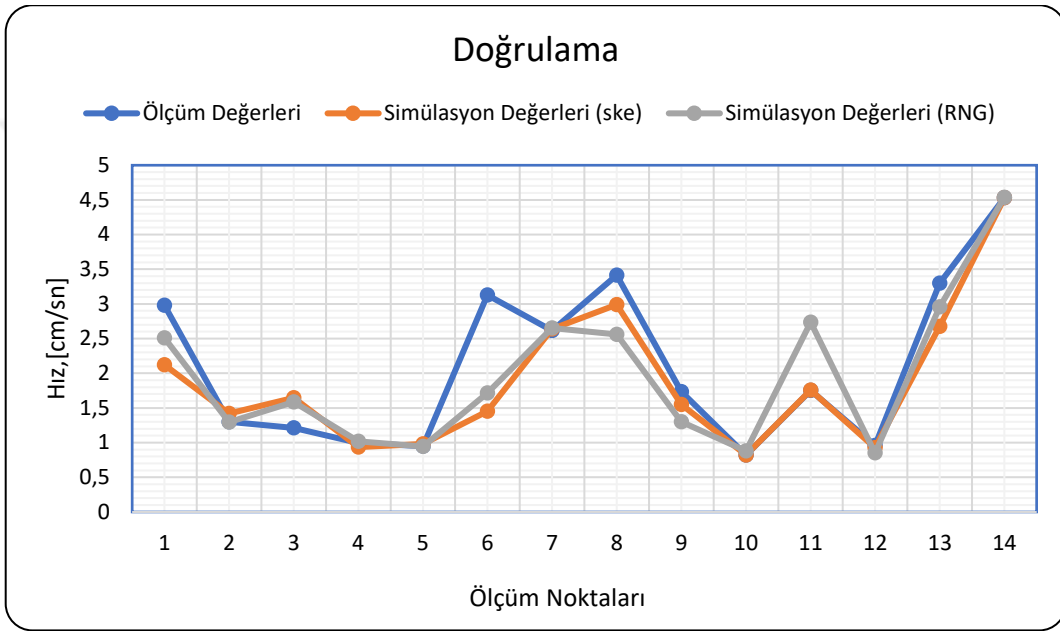


Şekil 2.12. Model’in yüzeyden 1,6 m derinlikte ske ve RNG hız çizgileri dağılımı

Şekil 2.12 incelendiğinde ske türbülans modeli ile hesap edilen hız değerleri RNG'den daha küçüktür ve OH'deki hız çizgilerinin dağılımı RNG'den daha homojendir.

2.3.1.3. Ölçüm Sonuçları ile Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tesiste yerinde yapılan ölçüm sonuçlarıyla bilgisayarda modellenen analiz sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 2.13'te verilmiştir.



Şekil 2.13. Deney sonuçları ile analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 2.13 incelendiğinde gerçek tesiste yapılan ölçüm değerleriyle simülasyon sonuçları birbirleriyle tutarlı çıkmıştır. Deney sonuçlarıyla analiz sonuçlarının karşılaştırılması bağıl hata cinsinden Tablo 2.9'da verilmiştir. Doğrulama iki adet türbülans modeli (ske ve RNG) kullanılmış ve bunlar tam ölçekli tesisten alınan gerçek ölçümlerle kıyaslanmıştır. Ske ve RNG türbülans modelleri ile yapılan simülasyonlar sonucu elde edilen hızlarla, ölçüm hızları karşılaştırıldığında sırasıyla %13 ve %17 bağıl hata oranlarıyla, ske daha doğru tahmin sonuçları vermiştir. HAD uygulamalarında %10'un altındaki hatalar iyi bir simülasyon olarak değerlendirilirken, %20'nin altındaki hatalarda kabul edilebilir olarak değerlendirilmektedir (ANSYS HELP, 2013). Sonuç olarak her iki türbülans modeli ile elde edilen sonuçlar birbirine yakın çıkmışlardır.

Literatürde RNG modelleri daha çok kullanıldığı için türbülans modeli olarak o seçilmiştir (Wei vd., 2016-a, Wei vd., 2016-b, Zhang vd., 2016, Wei vd., 2016-c).

Tablo 2.9. Ölçüm sonuçlarıyla simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Nokta	Ölçülen Hız cm/sn	Simülasyon Hızı ske		Simülasyon Hızı RNG	
		Birim cm/sn	Bağlı Hata %	Birim cm/sn	Bağlı Hata %
1	2.978523	2.12	0.29	2.508	0.16
2	1.301461	1.419	0.09	1.297	0.00
3	1.554429	1.644	0.36	1.585	0.31
4	0.994786	0.9346	0.06	1.016	0.02
5	0.947259	0.9823	0.04	0.9437	0.00
6	1.72618	1.451	0.54	1.714	0.45
7	2.613599	2.639	0.01	2.651	0.01
8	3.411818	2.988	0.12	2.561	0.25
9	1.734733	1.551	0.11	1.298	0.25
10	0.820061	0.8217	0.00	0.8791	0.07
11	1.750029	1.757	0.00	2.735	0.56
12	0.957079	0.9272	0.03	0.8496	0.11
13	3.097726	2.675	0.19	2.957	0.10
14	4.529205	4.529	0.00	4.537	0.00
		0,13		0,17	

Geçmiş çalışmalar incelendiğinde, bu tip çalışmalarda deneysel veri Başlık 1.4'te ayrıntılı olarak verildiği üzere çoğunlukla laboratuvar ölçeğinde alınmakta ve simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmaktadır. Laboratuvar ölçeğinde yapılan çalışmalarda ölçümleri etkileyen rüzgâr hızları, debi değişimleri, imalat hataları gibi dış faktörler asgariye düşmektedir. Gerçek tesiste ise bu derece küçük ve hassas olan hızlarda dış faktörler ölçüm değerlerini etkilemektedir. Dolayısıyla gerçek tesis koşullarının tam olarak modele yansıtılması mümkün olmamakta ve Şekil 2.13'te de görüldüğü gibi ölçüm ve analiz sonuçlarında bir miktar farklar görülebilmektedir. Fakat yine de yapılan bu çalışmada daha geçekçi sonuçlar elde etmek için deneysel ölçümler, laboratuvar ölçeğinden gerçek tesis ölçeğine taşınmış ve gerçek tesis ölçümlerinde ortaya çıkabilecek dış faktörler tecrübe edilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçların kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu ortaya çıkmıştır.

2.3.2. Model 1, Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi Oksidasyon Hendeği Modeli

Model 1, doğrulaması yapılan pilot tesis olarak seçilen GASAT'ın, biyolojik atık su arıtma ünitesi için yapılan ve aktif çamur yönteminin bir varyasyonu olan OH'nin analizlerini kapsamaktadır. Model 1 proje değerleriyle modellenmiştir. 1. Kademe için 2 adet OH vardır. Her bir OH'ye gelecek maksimum debi $7345 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür (İller Bankası, 2009).

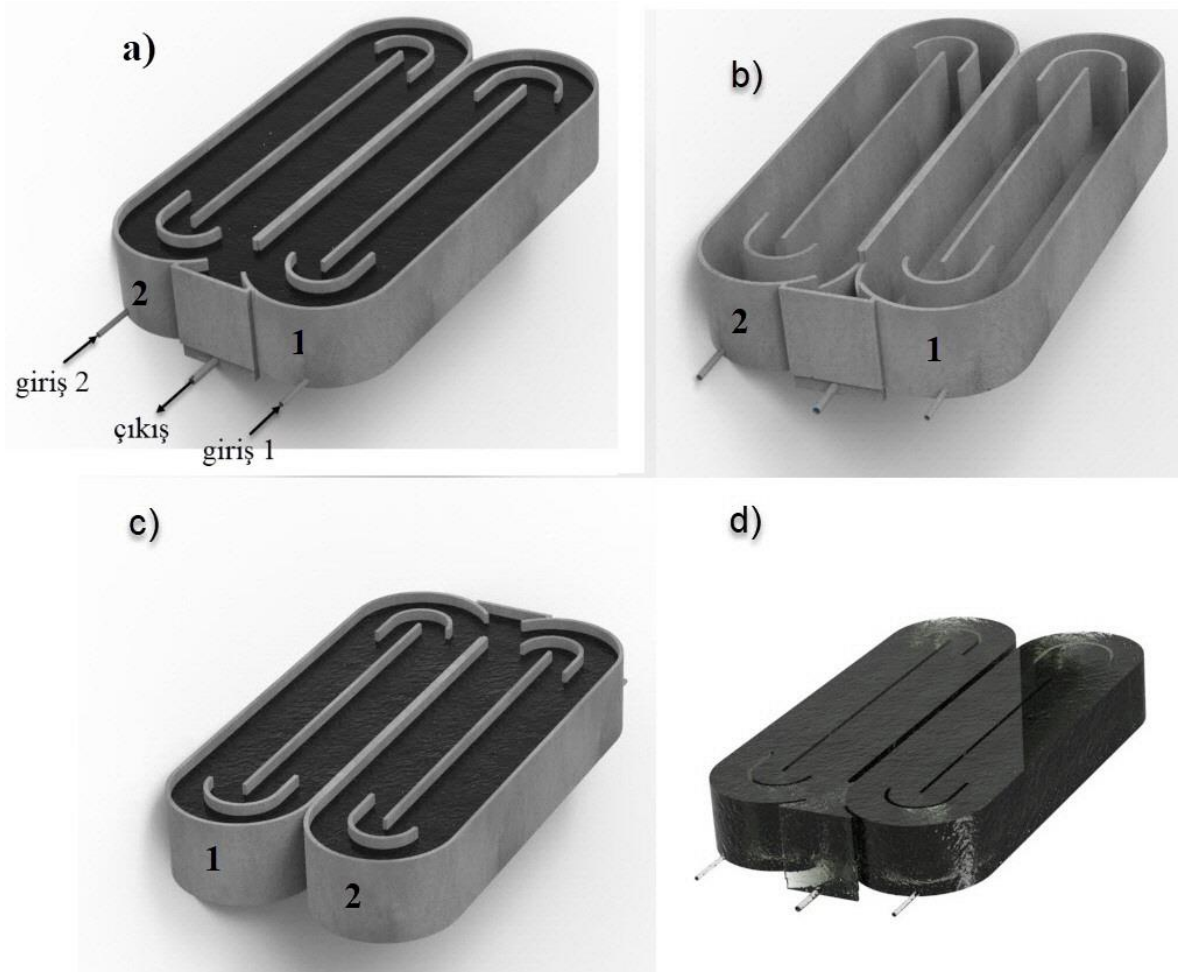
2.3.2.1. Model 1 Geometrisinin Oluşturulması

Analizi yapılacak tam ölçekli tesis olarak, atık suların biyolojik olarak arıtımında kullanılan, havalı süreçlerden, aktif çamur yönteminin modifiyeli hali, OH seçilmiştir (Şekil 2.14). 2 adet OH'nin bilgisayarda ki katı modeli "ANSYS Workbench" programının geometri ara yüzü yazılımları olan "Design Modeler" ve "SpaceClaim" ile hazırlanmıştır. Programda model geometrisi gerçek ölçüler kullanılarak oluşturulmuştur. OH'ler 1. kademe için mevcut atık su debisini karşılayacak şekilde yan yana 2 adet olarak inşa edilmiştir. Ancak nüfus artışının hızdan dolayı 3. OH'de inşa edilerek kapasite artırımına gidilmiştir. Fakat 3. OH'ni ilk 2 OH'den bağımsızdır. Dolayısıyla burada dikkate alınmayacaktır. Bu OH'lerin yüksekliği 6 m, uzunluğu 25 m ve genişliği 10 m'dir.



Şekil 2.14. Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi'nin biyolojik arıtma ünitesi, oksidasyon hendeği

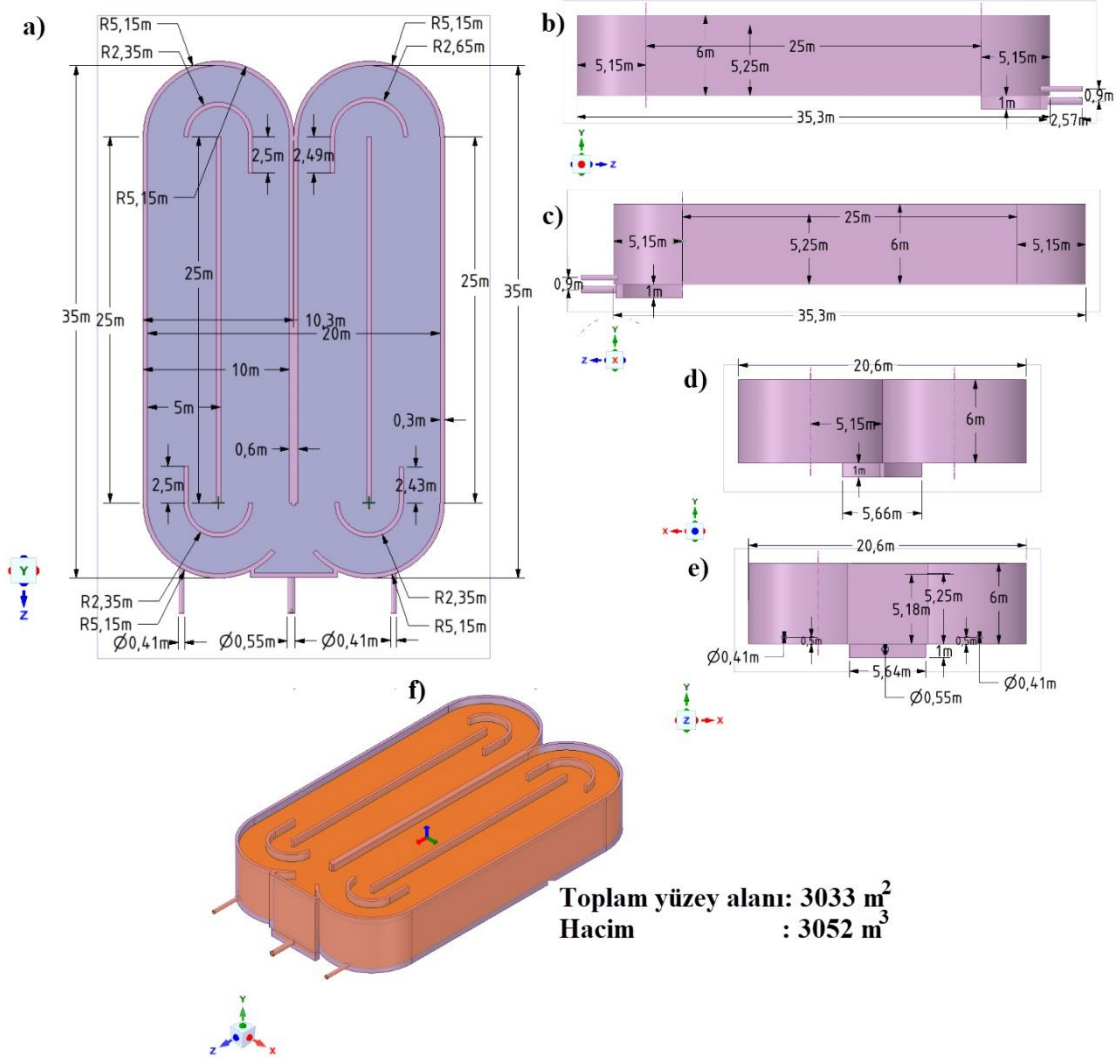
Model 1 için oluşturulan geometrinin çeşitli formlardaki görüntüleri Şekil 2.15'te görülmektedir.



Şekil 2.15. Model 1, oksidasyon hendeği katı modelinin a) su dolu hali, b) boş hali c) su dolu halinin arkadan görünümü, d) sıvı hacmin katı hacimden çıkartılmış hali

Şekil 2.16 a'da; modelin üstten görünüşü verilmiştir. Burada, modelin uzunluğu 35 m, genişliği 20 m ve orta bölmelerin uzunluğu 25 m'dir. Suyun döngüsünü sağlayan oval büyük ve küçük dönemeçlerin yarıçapları; üç küçük dönemecin yarıçapı 2,35 m, diğer küçük dönemecin yarıçapı 2,65 m ve büyük dönemeçlerin yarıçapı 5,15 m'dir. Suyolunu uzatan küçük dönemeçlerin uzantıları, soldaki OH'de 2,5 m, sağdaki OH'de ise sırasıyla 2,49 m ve 2,43 m'dir (imalat hatasından dolayı simetri olmadıkları görülmektedir). Giriş borularının dış çapı \varnothing 405 (40,5 cm), çıkış borusu dış çapı \varnothing 550 (55,0 cm) ve boru et kalınlıkları da 5 cm'dir. Beton duvar kalınlıkları 30 cm'dir. Şekil 2.16 b ve c'de modelin sırasıyla sol ve sağ taraftan görünüşleri verilmiştir. Burada, OH yüksekliği 6 m, su yüksekliği 5,25 m, çıkış bölümündeki düşük duvarların yüksekliği 5,18 m ve modelin

uzunluğu bir duvarın kalınlığı ile birlikte 35,3 m'dir. Ayrıca büyük dönemeçlerin yarıçapı 5,15 m ve giriş çıkış boruları arasında 0,9 m kot farkı olduğu görülmektedir.

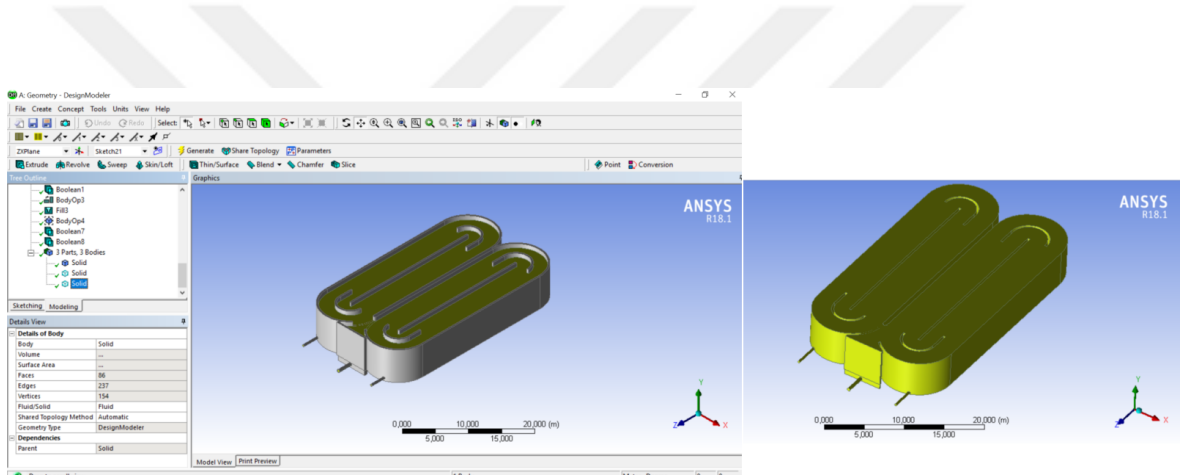


Şekil 2.16. Model 1, tam ölçekli oksidasyon hendeğinin ANSYS Design Modeler ve SpaceClaim programlarında oluşturulmuş katı modeli, çeşitli görünüşleri ve boyutları, a) üstten görünüş b) sağdan görünüş, c) soldan görünüş, d) önden görünüş e) arkadan görünüş f) toplam yüzey alanı ve hacmin gösterilmesi

Şekil 2.16 d ve e'de modelin ön ve arkadan görünüşleri verilmiştir. Burada, modelin genişliği duvar kalınlıklarıyla beraber 20,6 m, OH yüksekliği 6 m ve çıkış bölümü tabanı OH tabanından 1 m aşağıdadır.

2.3.2.2. Model 1 Sıvı Hacmin Oluşturulması

OH katı (solid) olarak, atık su ise sıvı olarak (fluid) modellenmiştir. Sıvı hacmi oluşturulurken “Design Modeler” yazılımında “extrude_add material_add frozen” komutuyla “fill” ve “boolean” komutlarından yararlanılmıştır. OH içerisindeki sıvı hacmi, “extrude” komutunun “add material” kısmında “add frozen” komutuyla oluşturulmuştur. Boruların içerisindeki sıvı hacmi “fill” komutuyla oluşturulmuş, “boolean” komutunun “unit” kısmıyla boru içerisinde oluşturulan sıvı hacimleri ile OH içerisindeki sıvı hacmi birleştirilmiş ve yine “boolean” komutunun “subtract” kısmıyla sıvı hacminden katı hacim çıkartılmıştır. Böylece toplam sıvı hacmi $3.052,2 \text{ m}^3$, yüzey alanı 3.033 m^2 olarak oluşturulmuştur (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Model 1, sıvı hacmin oluşturulması

2.3.2.3. Model 1 Sonlu Eleman Ağının (Mesh) Oluşturulması

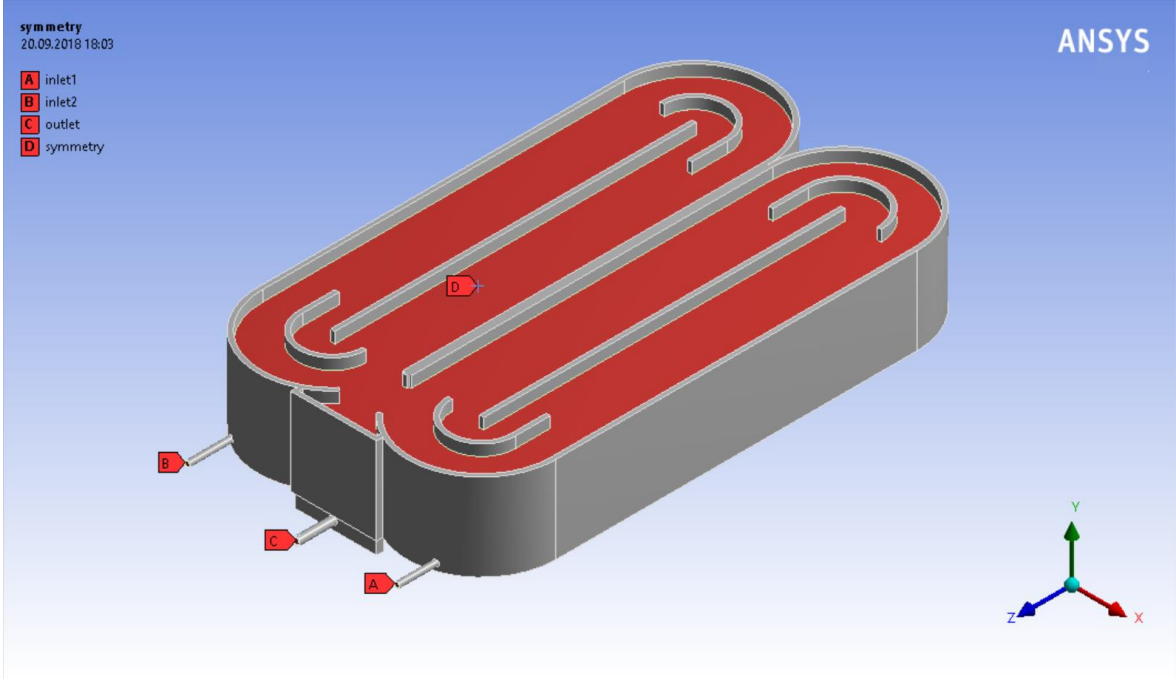
Sonlu elemanlar ağı ANSYS Workbench’de Ansys Meshing programı ile yapılmıştır. Sonlu eleman ağı için ortamdaki kaynaklı fiziki zorunluluklardan dolayı üçgen piramit (tetrahedrons) eleman yapısı kullanılmıştır. Sonlu eleman ağının oluşturulması sırasında Fluent yazılımında seçilen ayarlar Tablo 2.10’da verilmiştir.

Tablo 2.10. Model 1, sonlu eleman ağı program ayarları

Ayarlar (Defaults):	
Fizik özelliği (physics preference):	CFD
Çözücü özelliği (solver preference):	Fluent
İlişki (relevance):	0
Boyutlandırma (Sizing):	
Boyut parametreleri (size function):	eğrilik (curvature)
Uygunluk merkezi (relevance center):	sık (fine)
Eğrilik normal açısı:	18 ⁰
Minimum sonlu eleman yapısı boyutu:	0.05 m
Maksimum dörtyüzlü sonlu eleman yapısı boyutu:	0.20 m
Büyüme oranı varsayılan (default):	1.20
Minimum köşe uzunluğu (min. edge length):	1.59x10 ⁻³
Kalite (Quality):	
Mesh kalitesini kontrol et:	evet, hatalar
Yumuşatma (smoothing):	orta
Mesh ölçüsü (mesh metric):	yok
Şişirme (Inflation):	
Şişirme seçeneği:	yumuşak geçiş (smooth transition)
Geçiş oranı (transition ratio):	0.272
Maksimum tabaka (max. layer):	5
Gelişim hızı (growth rate):	1,2 olarak seçilmiştir
Sonlu eleman ağını birleştirme (Assembly Meshing):	
Metot:	Dörtyüzlü (tetrahedrons)
Özellik belirleme (feature caption):	Program kontrollü
Kesişim özelliği oluşturma (intersection feature creation):	Program kontrollü
Gelişmiş, (Advanced):	
Paralel sonlu eleman ağı bölümleri için CPUs sayısı:	program kontrollü
İstatistik (Statistics):	
Düğümmler (nodes):	747846
Elemanlar (elements):	3898191

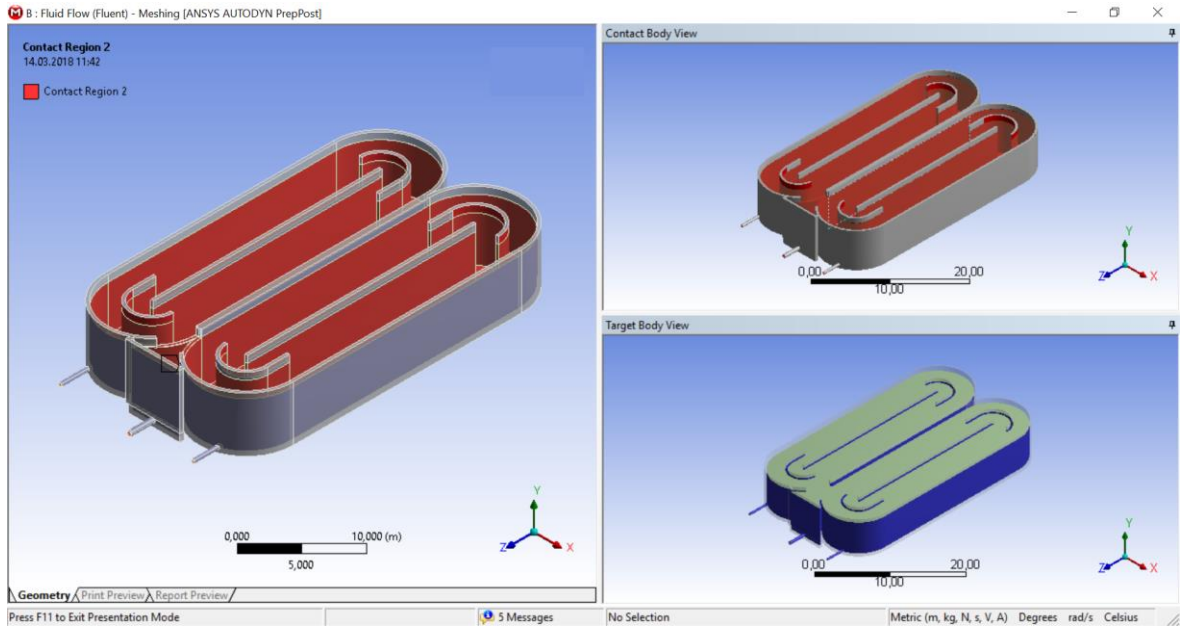
Modelin sonlu eleman ağı kısmında, daha sonra analizde kullanılacak olan isim atamaları (named selections) yapılmıştır (Şekil 2.18). Burada;

- A: 1 numaralı OH'ye su girişi (inlet1)
- B: 2 numaralı OH'ye su girişi (inlet2)
- C: Çıkış suyu olarak
- D: Su yüzeyi simetri (symmetry) olarak isim atamaları yapılmıştır.



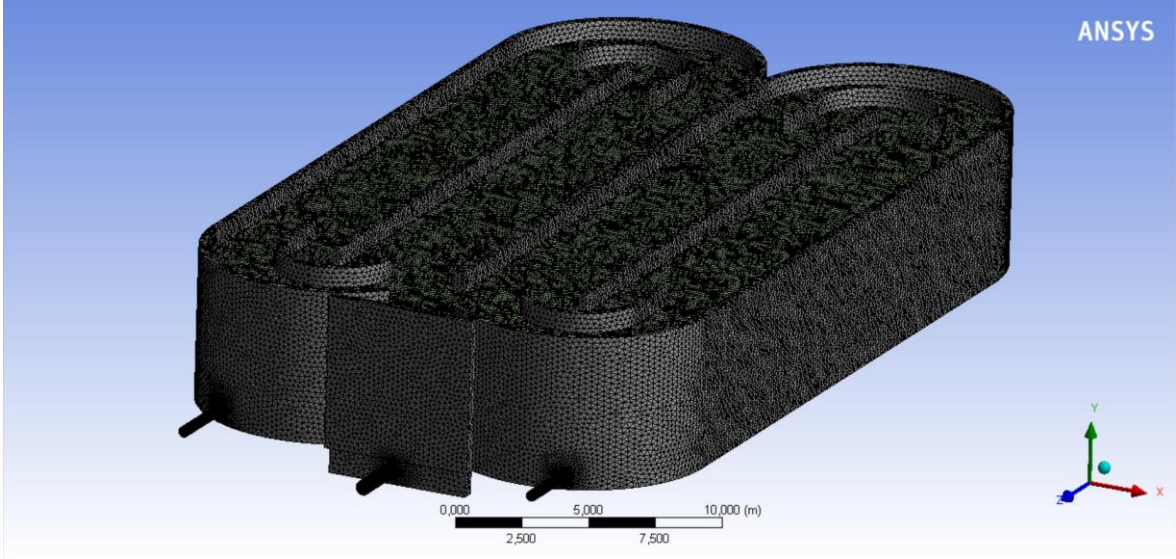
Şekil 2.18. Model 1, isim atamaları

Modelin katı-sıvı temas bölgeleri Şekil 2.19'daki gibidir. Burada duvarlarda kaymayan duvar (no slip) sınır şartı tanımlanmıştır. Dolayısıyla temas bölgelerine hız sıfır olacaktır.

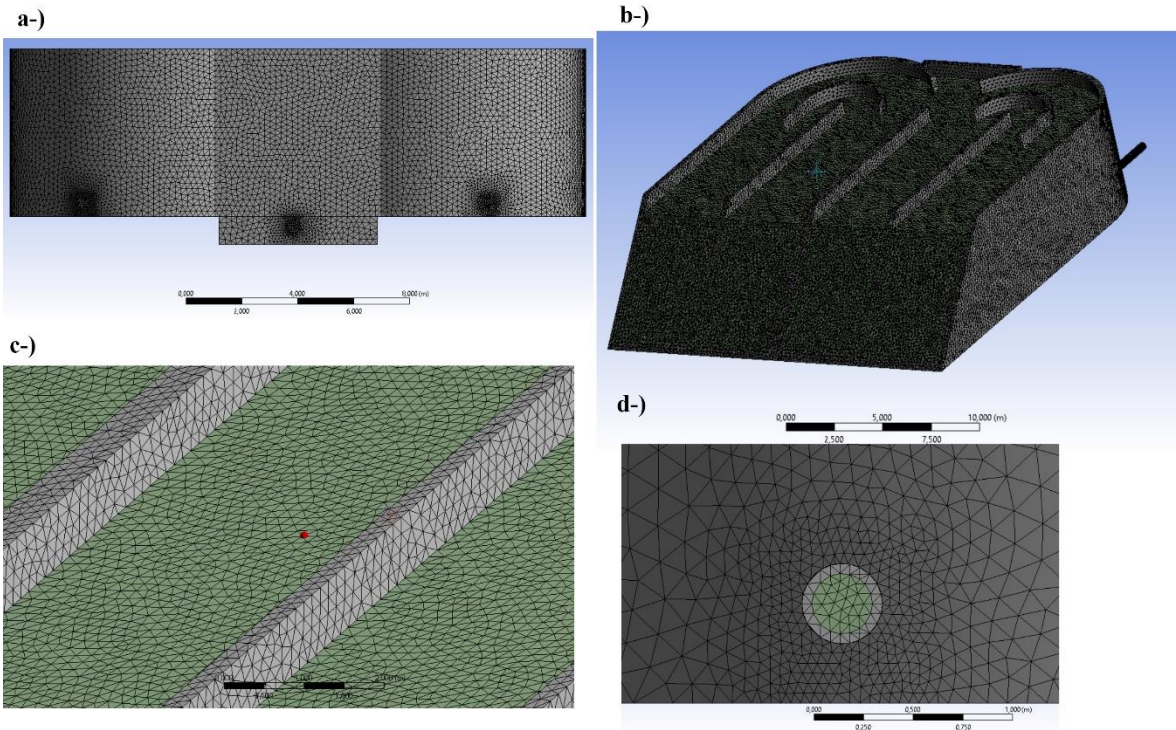


Şekil 2.19. Model 1, temas bölgeleri

Modelin sonlu eleman ağı 747.846 adet düğüm noktasından ve 3.898.191 adet elemandan oluşmaktadır (Şekil 2.20, Şekil 2.21).



Şekil 2.20. Model 1, sonlu eleman ağı



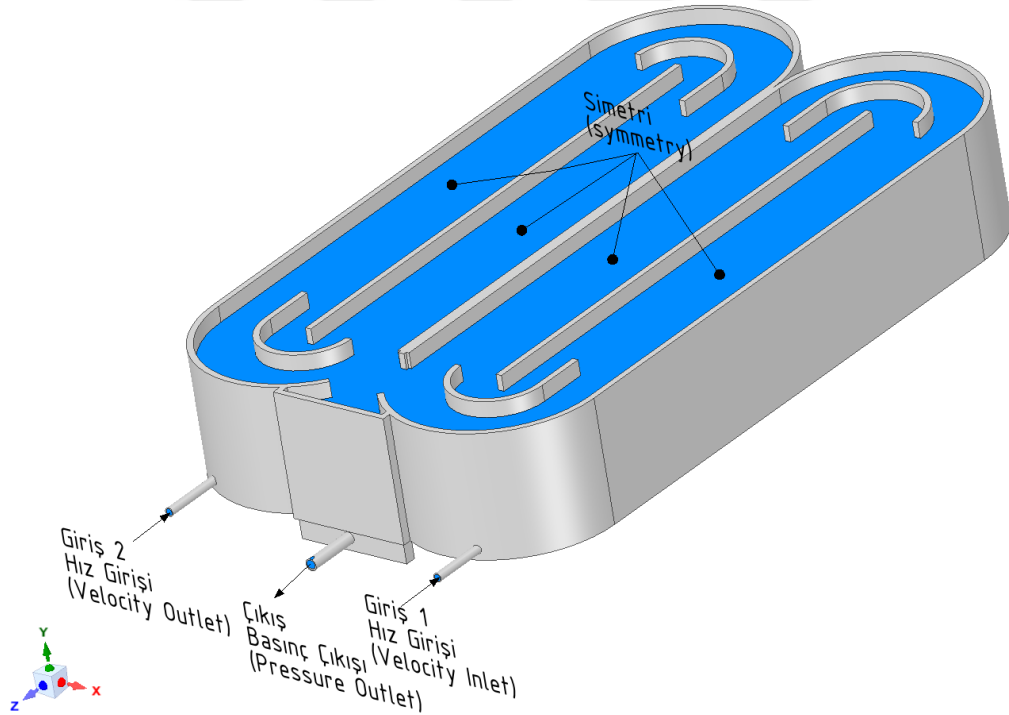
Şekil 2.21. Model 1, sonlu eleman ağının çeşitli kesitlerden görüntüleri a-) ön kesit, b-) orta kesit, c-)üst kesit, d-) boru kesiti

Şekil 2.20 ve Şekil 2.21’de görüldüğü üzere modelin özellikle boru-OH birleşim yerlerinde sonlu eleman ağı sıklaştırılması yapılmıştır. Üçgen piramit (Tetrahedron) eleman yapısı kullanılmış, minimum eleman boyutu 5 cm, maksimum eleman boyutu 20 cm olarak seçilmiştir.

2.3.2.4. Model 1’in ANSYS Fluent ile HAD Analizi

Modelin HAD Analizi için ANSYS Fluent yazılımı kullanılmıştır. Akışkan akımı için RONS denklemleri esas alınmış ve 3B, kararlı, sıkıştırılmayan akım kabulüyle, birleşik bir OH’de akış alanı hesaplamaları yapılmıştır. Türbülans modeli olarak model doğrulaması sırasında ske’ye yakın değerler veren RNG k-ε modeli kullanılmıştır.

Sınır şartları olarak, su giriş noktalarında hız girişi (velocity inlet), çıkış noktasında basınç çıkışı (pressure outlet) ve su yüzeyinde de simetri (symmetry) sınır şartları seçilmiştir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22. Model 1, sınır şartları

Analiz için akışkan türü, türbülans modeli, malzeme tipleri, sınır şartları, referans değerleri, yakınsama kontrolü değerleri ayrıntılı olarak Tablo 2.11’de verilmiştir. Analiz

Intel(R) Core™i7-7500U CPU @ 2.70 GHz 2.90 GHz işlemcili, 8,00 GB RAM ve 64 bit işletim sistemli bir bilgisayarda yaklaşık 2 günde tamamlanmıştır.

Tablo 2.11. HAD analizi için Fluent program girdileri

Ayarlar	Genel	Çözücü tipi (solver type)	Basınca dayalı (pressure-based)			
		Hız formülasyonu (velocity formulation)	Mutlak (absolute)			
		Akım (time)	Kararlı (steady)			
		Yerçekimi (gravity)	y: -9,81 m/sn ²			
		Modeller (Models)				
		Akışkan türü	Türbülanslı (k-epsilon) (2eqn)			
	k-epsilon model		RNG			
	Duvar kenarlarında davranış		Standart duvar fonksiyonu			
	Malzemeler (materials)	Sıvı (fluid)	Sıvı	Su-sıvı (water-liquid)		
		Katı (solid)	Katı	Yoğunluk kg/m ³ 998.2	Viskozite kg/m-s 0.001003	
	Sınır şartları (boundary condition)	Giriş 1 (inlet 1)	Hız girişi (velocity inlet) = 1 m/sn			
		Giriş 2 (inlet 2)	Hız girişi (velocity inlet) = 1 m/sn			
		İç yüzey-katı (interior-solid)	İç yüzey (interior)			
		Çıkış (outlet)	Basınç-çıkışı (pressure-outlet)			
		Simetri (su yüzeyi y yönünde)	Simetri (symmetry)			
		Duvar-katı (Wall-solid)	Duvar (Wall)			
		Duvar-katı-gölge (Wall-solid-shadow)	Duvar (Wall)			
			Duvar hareketi (Wall motion)	Sabit duvar		
			Kesme koşulu (shear condition)	Kaymaz (no slip)		
			Duvar pürüzlülüğü (Wall roughness)	Pürüzlülük yüksekliği 0		
Referans değerleri	Alan (m ²)	1				
	Yoğunluk (kg/m ³)	1.225				
	İçsel enerji (enthalpy) (j/kg ⁹)	0				
	Uzunluk (m)	1				
	Basınç (pa)	0				
	Sıcaklık (k)	288.16				
	Hız (m/sn)	1				
	viskozite	1.7894e-05				
Özgül ısı oranı	1.4					

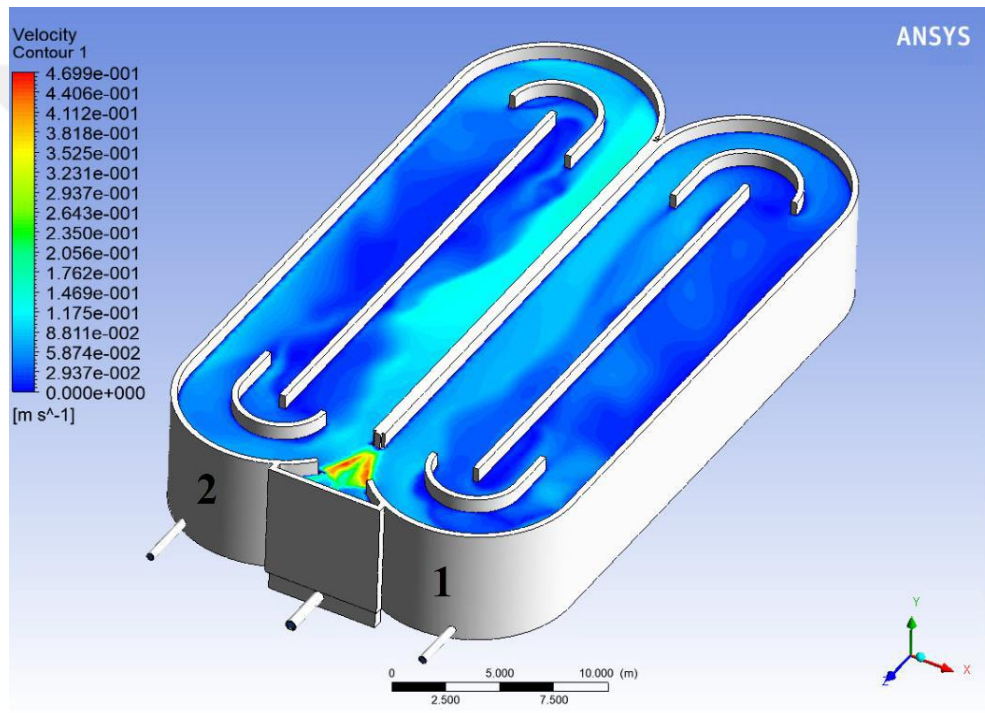
Tablo 2.11'in devamı

Çözüm	Metotlar	Çözüm metotları	Basınç – hız bağlantısı	Şema	Basit		
			Mekânsal ayrıştırma	Gradyan	Hücre temelli en küçük kareler		
				Basınç	İkinci derece		
				Momentum	İkinci derece SEY (second order upwind)		
				Türbülans kinetik enerjisi	Birinci derece SEY (first order upwind)		
	Türbülans dağılım oranı	Birinci derece SEY (first order upwind)					
	Kontroller	Çözüm kontrolleri	Dinlenme faktörleri altında	Basınç	0.1		
				Yoğunluk	1		
				Gövde kuvvetleri	1		
				Momentum	0.7		
				Türbülans kinetik enerjisi	0.8		
				Türbülans dağılım oranı			
	Ekranlar	Kalan (residual)	Mutlak kriterler	1e-06			
			Yakınsama kriteri	mutlak			
Başlatma (initialization)		Çözüm başlatma	Başlatma metodu	Hibrit başlatma			
Hesaplama faaliyetleri		Her Adımda otomatik kayıt etme	1000				
Hesaplamayı çalıştır	İterasyon sayısı	3000					

3000 ardışık yaklaşırma (iterasyon) sonucunda, yeterli yakınsama (3000'inci ve 2000'inci değerler arasında artık çok fazla bir değişim olmadı gözlemlenmiş) sağlanmış ve analiz sonlandırılmıştır. Daha sonra sonuçlar "CFD post processing" adımıında görselleştirilmiştir. Öncelikli olarak OH içerisinde çeşitli derinliklerde; su yüzeyinde, OH'nin orta derinliğinde, giriş noktaları ekseninde ve OH'nin tabanında ki hız alanları bulunmuştur.

Bu analiz sonucunda, Şekil 2.23'te, OH'de su yüzeyinde oluşan hız dağılımları alansal olarak gösterilmiştir. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, su yüzeyinde OH'nin çıkış noktası ve çıkış noktasının doğrusal uzantılarında hızın daha fazla olduğu görülmektedir. OH'de maksimum hız çıkış noktasının etrafında görülmektedir. Bunun nedeni, iki OH'nin sularının ortak bir noktadan çıkışı, bu kısımda kesitin daraltılmasıdır. OH içerisindeki hız değerleri ise 0 ile 0,4699 m/sn arasında değişmektedir. Böyle bir

biyolojik atık su arıtma tesisinde çökelmenin olmaması için, minimum hızın 0,2 m/sn.nin altına düşmemesi, biyolojik olarak arıtımının sağlanması için (atık suyun içerisindeki organik bileşiklerin O_2 ile parçalanması için) OH'de yeteri kadar süre tutulması (6-8 sa) gerekmektedir. Bunun için de maksimum bileşke hızın 0,8-1,5 m/sn aralığında olması istenmektedir. Şekil 2.23'te de görüleceği gibi hızlar OH'nin çoğu bölgesinde çok düşüktür. Ayrıca, homojen bir dağılım yoktur. Burada imalat hatasından dolayı OH'lerin tam simetrik olmayışı da her iki OH'de hız alanlarının dağılımının farklı olmasına sebep olmuştur.



Şekil 2.23. Model 1 için simülasyon sonucunda, oksidasyon hendeklerinde, su yüzeyinde oluşan hız çizgileri

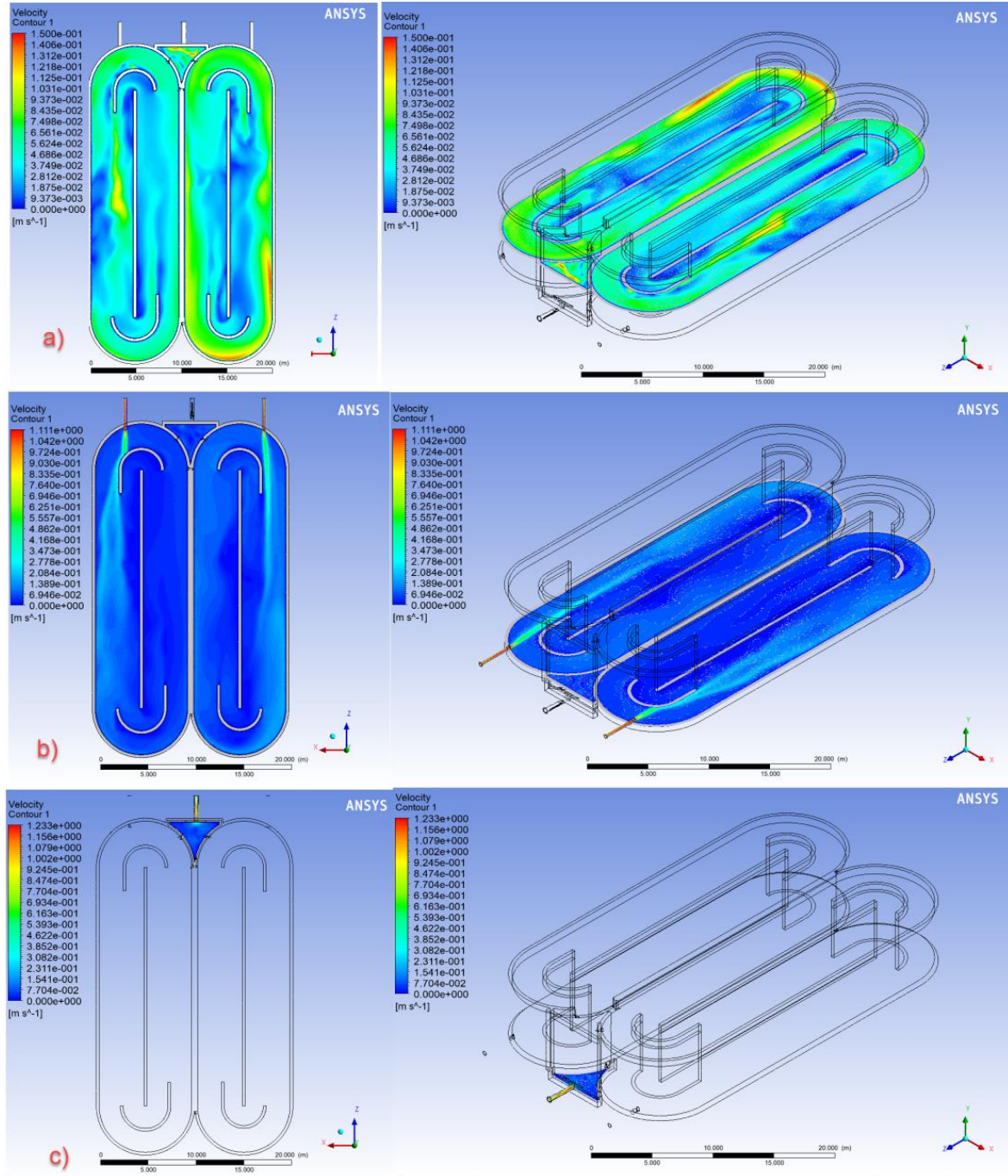
Şekil 2.24'de analiz sonucunda OH'lerin çeşitli derinliklerinde oluşan bölgesel (local) hız çizgileri verilmiştir.

Şekil 2.24 a)'da OH'lerdeki 5,25 m su yüksekliği dikkate alındığında, $y = 2,625$ m ile su dolu hacmin tam orta noktasında ki boykesit boyunca hız çizgileri gösterilmiştir. Bu derinlikteki hızlarda hız göstergesinde yeşil renkli alanların OH'lerde hakim olduğu görülmektedir. Yeşil alanlar için hız değerleri $7,49 \times 10^{-2}$ m/sn civarındadır. OH'leri

içerisinde $y = 2,625$ m su yüksekliğinde nispeten homojen bir hız dağılımı vardır. Orta bölmelerde ve 1 numaralı OH'de sol duvar etrafında su hızının düştüğü görülmektedir.

Şekil 2.24 b)'de OH'lerin giriş noktaları kotunda $y = 0,5$ m için boykesit boyunca hız çizgileri verilmiştir. Su giriş noktalarından OH'lere girdiği anda bir su jeti gibi davranmakta ve OH'ler içerisinde dağılmaktadır Suyun giriş noktalarından itibaren OH'ler içerisinde nasıl bir yol izlediği bu hız çizgilerinden de açıkça görülmektedir. 1 nolu OH'de imalat hatasından dolayı giriş noktasının hemen önündeki küçük dönemecin duvarına denk gelmesi, akımın burada kırılarak devam etmesine yol açmıştır. Şekilde de görüldüğü üzere giriş noktaları doğrultusunda su hızları giderek azalmaktadır.

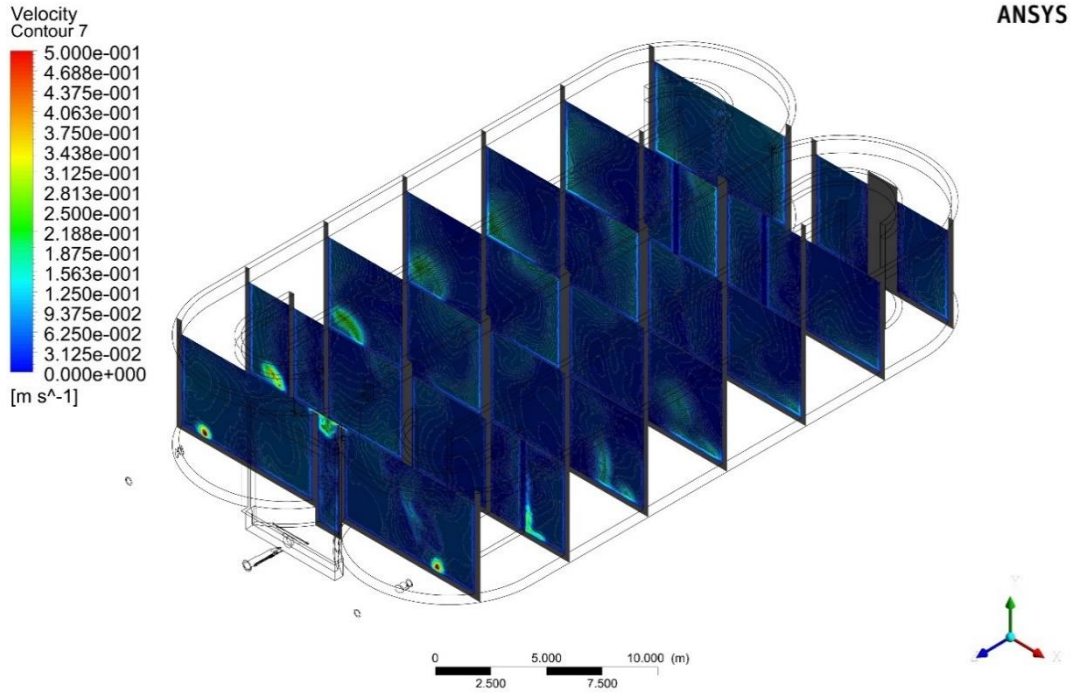
Şekil 2.24 c)'de çıkış bölmesi ve noktasında $y = -0,5$ m için hız çizgileri verilmiştir. Burada çıkış bölmesi OH'lerinin tabanından 1 m aşağıda, çıkış borusu ise tabandan 0,4 m aşağıdadır. Dolayısıyla $y = 0$ düzlemi OH'lerin taban kotu, $y = -0,5$ ise çıkış bölmesinde hız gösterimi için seçilen derinliği ifade etmektedir. Çıkış noktasında su hızı maksimumdur ($V = 1,288$ m/sn).



Şekil 2.24. Model 1 için simülasyon sonucunda, oksidasyon hendeğinde, a) $y = 2,625$ m b) $y = 0,5$ m c) $y = - 0,5$ m su yüksekliklerinde oluşan bölgesel (local) aralıkta hız çizgileri

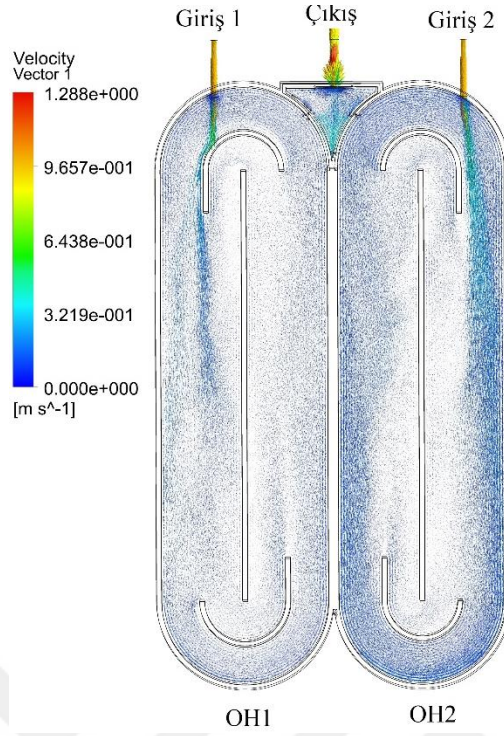
Model 1 için hızların derinlikle değişimi OH'lerin çeşitli noktalarından kesitler alınarak incelenmiştir. Şekil 2.25'te belirlenen kesitlerde derinlikle hız değişim profili OH'lerin tamamında belli bir hız aralığında (0-0,5 m/sn) verilmiştir. Şekil 2.25 incelendiğinde giriş borularının eksenine doğrultusunda hızların fazla, su yüzeyine doğru

çıkıldıkça ve giriş noktalarından uzaklaştıkça hızların azaldığı görülmektedir. Çıkış borusunun bulunduğu bölüme su, dipten değil de burada bulunan düşük kottaki duvarlar sebebiyle üstten, yani su yüzeyinden giriş yaptığı için, su hızları, su yüzeyinden aşağı doğru azalmaktadır.

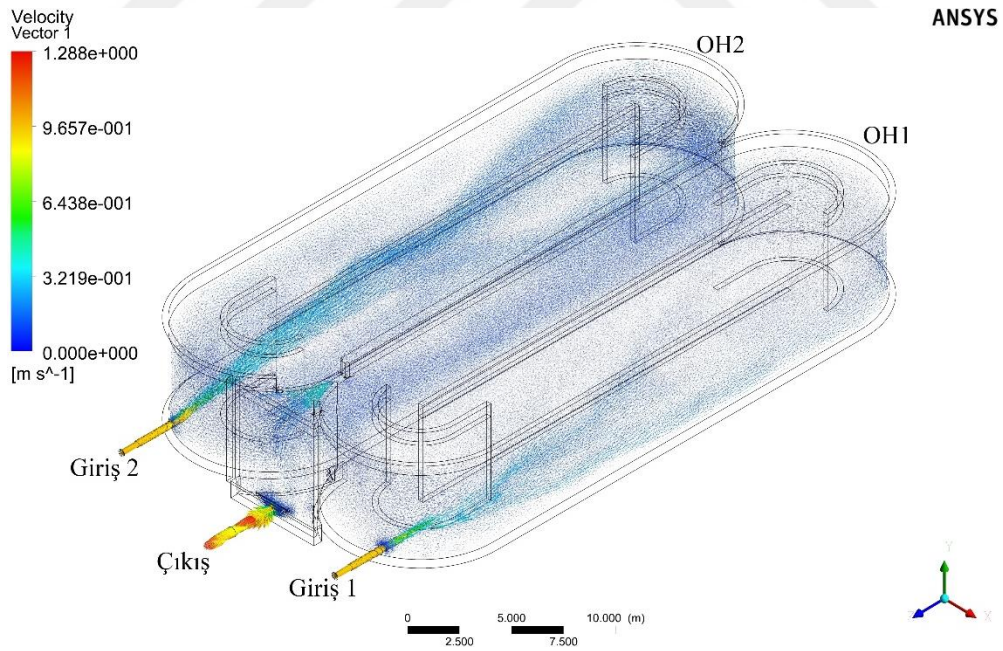


Şekil 2.25. Model 1, oksidasyon hendeğinde derinlik - hız değişiminin incelendiği noktalar

Şekil 2.26 ve Şekil 2.27’de giriş noktalarından itibaren su hızlarının OH’ler içerisinde ki dağılımının vektörel olarak gösterimi ve akım çizgilerinin yörüngeleri gösterilmiştir. Burada, giriş 1 ve giriş 2 için OH’leri içerisindeki giriş noktalarının simetrik olmayışı, akım çizgilerinin yörüngelerinin de simetrik olmayışına sebep olmuştur. Zira, giriş 1’deki su, OH içerisine girdikten sonra hemen önündeki küçük dönemecin bir ucuna çarpmakta ve kırılarak OH içerisinde yoluna devam etmektedir. Bu çarpma sonucu suyun momentumu ve hızı azalmaktadır. Giriş 2’de ise, giren suyun akım çizgilerinin izlediği yörüngeye bakıldığında, giriş 2’den giren su başlangıcındaki enerji ve impuls momentum kuvvetleriyle OH içerisinde küçük dönemece çarpmadan ve dolayısıyla giriş 1’deki gibi herhangi bir yersel yük kaybına uğramadan ve kırılmadan OH içerisinde yoluna devam etmektedir. Çıkış borusunda da hız en yüksek seviyeye ulaşmaktadır ($V=1,288$ m/s).



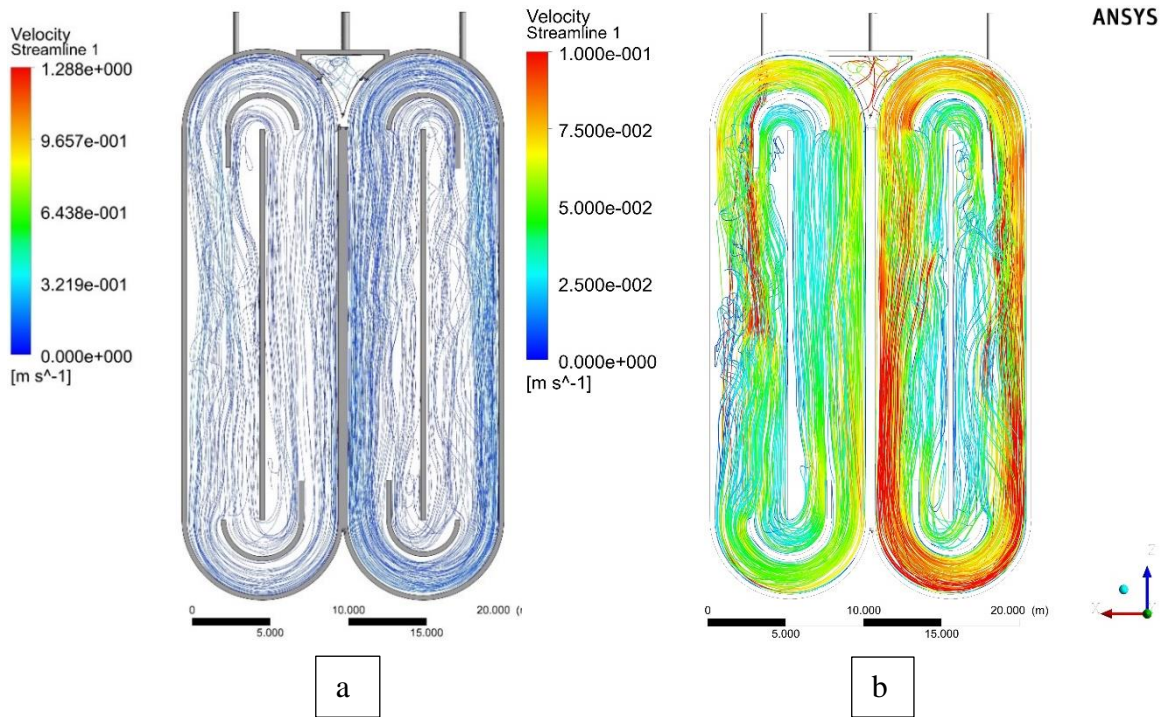
Şekil 2.26. Model 1, hız vektörleri, üstten görünüm



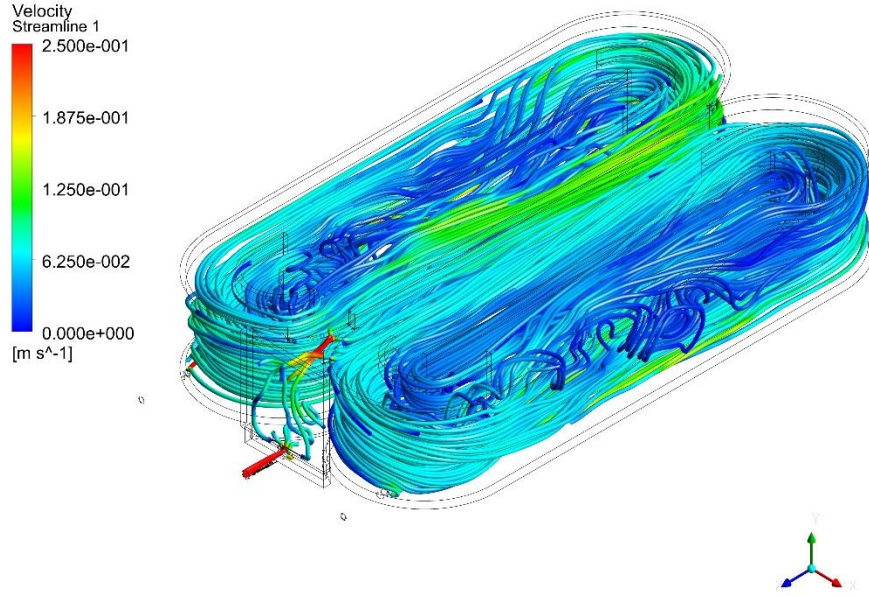
Şekil 2.27. Model 1 için simülasyon sonucunda oluşan hız vektörleri, 3B

Şekil 2.28 ve Şekil 2.29'da her iki giriş noktasında, giren suyun akım çizgileri, OH'ler içerisinde ki yörüngeleri ve izledikleri yol gösterilmiştir. Burada, giriş 1 ve giriş 2 noktalarının konumsal olarak simetrik olmayışı, Şekil 2.28'de ki akım çizgilerinin

oluşmasına sebep olmuştur. Şekil 2.28 incelendiğinde 2 nolu OH'de akım ve sirkülasyonun daha fazla olduğu, giriş 2 noktasının konumundan dolayı suyun genellikle duvar kenarlarında dolandığı ve orta bölmelere çok fazla girmediği görülmektedir. 1. OH'de ise giriş 1'den giren su hemen önündeki küçük yönlendirme duvarına çarparak başlangıç hızını ve enerjisini kaybettiği için, akım hızı ve dolayısıyla OH içerisindeki döngüsü daha az olmakta ve yığılarak orta bölmelere girmektedir. Dolayısıyla burada her iki OH'deki akım çizgilerinin sayısından da anlaşılacağı üzere ikinci OH (giriş 2) içerisinde daha fazla akım ve sirkülasyonun olduğunu görülmektedir.



Şekil 2.28. Model 1 için simülasyon sonucunda OH'de oluşan hızlar için akım çizgileri, üstten görünüm, a) maksimum ve minimum hız aralığında gösterim b) belli bir hız aralığında gösterim



Şekil 2.29. Model 1 için simülasyon sonucunda OH’de oluşan hızlar için akım çizgileri, 3 boyutlu görünüm.

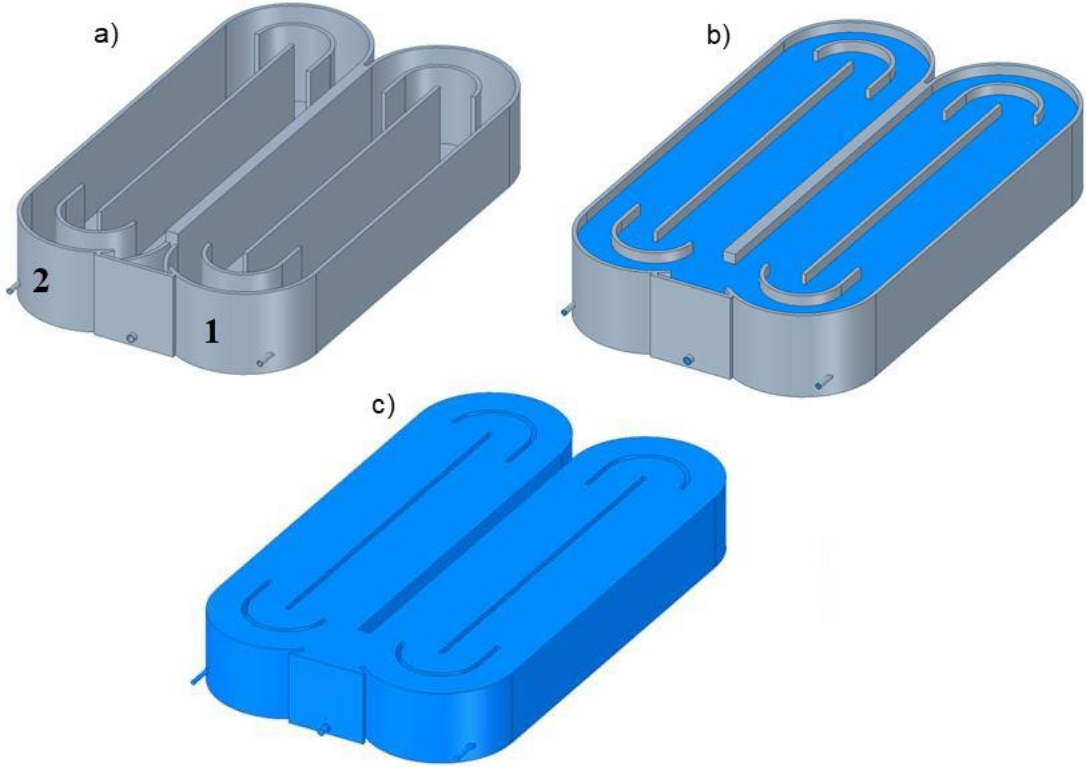
OH’ler için havalandırıcılar ve karıştırıcılar olmadan sadece giriş hızlarıyla hendek içerisinde istenen bileşke hızlara ($V=0,2-0,8$) ulaşmak zordur. Havalandırıcılar zaten bu tesislerin olmazsa olmazı durumundadır. Atık suların içerisindeki organik içeriğin parçalanması için oksijen gereklidir. Fazla oksijen köpük oluşumuna sebep olup atık su arıtım verimini düşüreceği gibi, az oksijen de organik içeriğin yeterli oksijeni alıp parçalanarak biyolojik arıtımının tam anlamıyla gerçekleşmesini önleyecektir. Karıştırıcılar ise hendek tabanında katı içeriğin çökmesini önlemek için yapılmaktadır. Buradan anlaşılacağı üzere havalandırıcılar ve karıştırıcıların birinci görevi hendek içerisinde istenen hız dağılımının sağlanması değildir. Dolayısıyla hendek içerisindeki istenen hız dağılımı sağlamak için tesislerin hidrolik analizinin yapılması gereklidir.

2.3.3. Model 2, Model 1’deki Oksidasyon Hendeklerinin Simetri Olması Durumu

Bir önceki analizde (Model 1) imalat hatalarından dolayı iki OH’nin geometrisi tam simetri değildir. Bu analiz de iki OH’nin tam simetri olması durumunda, OH’lerin içerisindeki hız dağılımlarının ve akım çizgilerinin nasıl değiştiği ve bunun yanında proje de istenen şartların sağlanıp sağlanmadığı ve diğer modele göre farklılıkları incelenmiştir.

2.3.3.1. Model 2 Geometrisinin Oluşturulması

Tam ölçekli tesisin geometrisi tesisin mimari projesine göre oluşturulmuştur. Herhangi bir küçültme oranı kullanılmamış, gerçek tesis boyutlarında çalışılmıştır. Şekil 2.30 a)'da modelin boş hali, b)'de su dolu hali ve c)'de sıvı hacmin katı hacimden çıkartılmış hali görülmektedir.

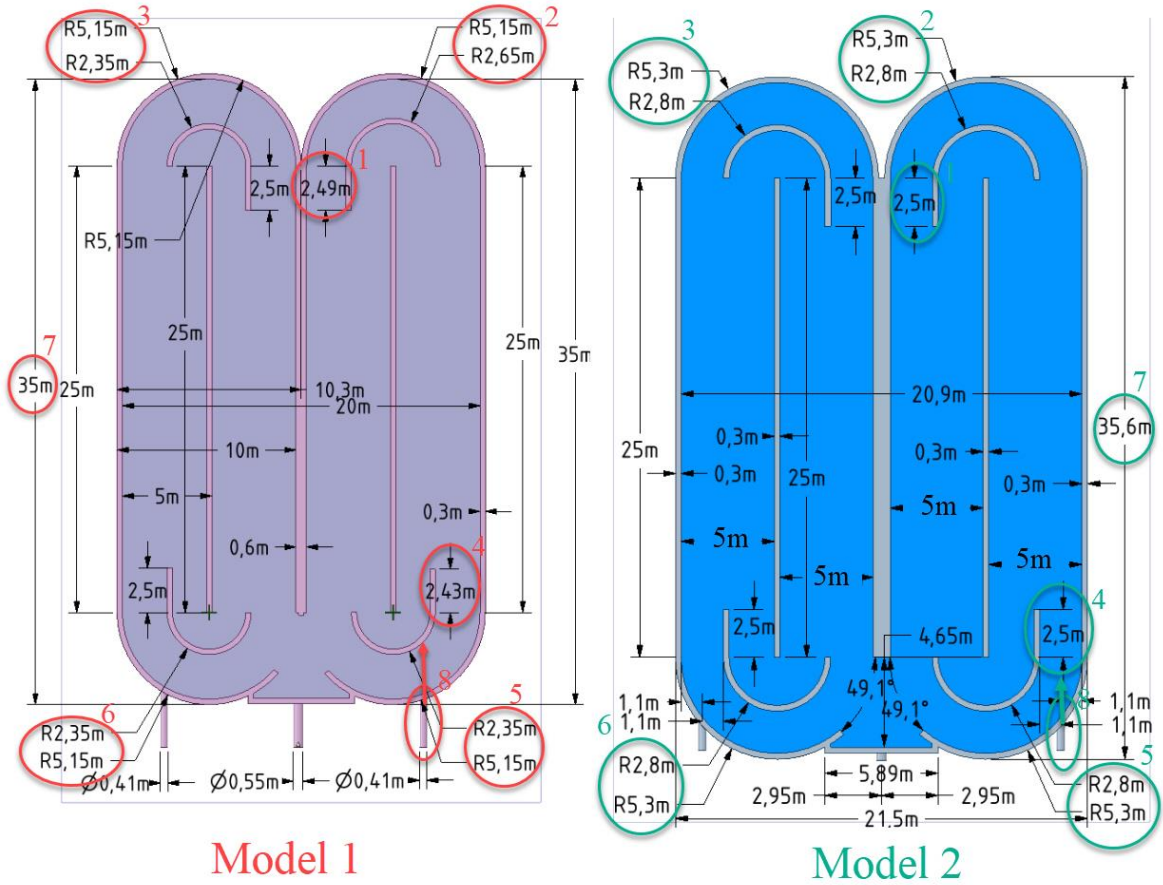


Şekil 2.30. Model 2, a) boş OH'ler, b) su dolu OH'ler, c) sıvı hacmin katı hacimden çıkartılmış hali

Model 1'in geometrisindeki değişiklikler Şekil 2.31'de ki numara sırasına göre aşağıda verilmiştir.

- 1 nolu değişiklikte; küçük dönemecin uzantısı 2,49 m'den 2,50 m'ye değiştirilmiştir.
- 2 nolu değişiklikte; büyük dönemecin yarıçapı 5,15 m'den 5,30 m'ye, küçük dönemecin yarıçapı da 2,65 m'den 2,80 m'ye değiştirilmiştir.
- 3 nolu değişiklikte; büyük dönemecin yarıçapı 5,15 m'den 5,30 m'ye, küçük dönemecin yarıçapı da 2,35 m'den 2,80 m'ye değiştirilmiştir.
- 4 nolu değişiklikte; küçük dönemecin uzantısı 2.49 m'den 2.50 m'ye değiştirilmiştir.

- 5 nolu değişiklikte; büyük dönemecin yarıçapı 5,15 m'den 5,30 m ye, küçük dönemecin yarıçapı da 2,35 m'den 2,80 m'ye değiştirilmiştir.
- 6 nolu değişiklikte; büyük dönemecin yarıçapı 5,15 m'den 5,30 m ye, küçük dönemecin yarıçapı da 2,35 m'den 2,80 m'ye değiştirilmiştir.
- 7 nolu değişiklikte; OH'nin boyu 35 m'den 35,6 m'ye değiştirilmiştir.
- 8 nolu değişiklikte; 1 nolu giriş borusunun yeri değiştirilmiştir.



Şekil 2.31. Model 1 ve Model 2 geometrisi arasındaki farklar

2.3.3.2. Model 2 Sonlu Eleman Ağının Oluşturulması

Model 2'nin sonlu eleman ağı Model 1 ile aynı ayarlar seçilerek oluşturulmuştur. Toplam eleman sayısı 3.946.469'dur (Şekil 2.32).



Şekil 2.32. Model 2, sonlu eleman ağı

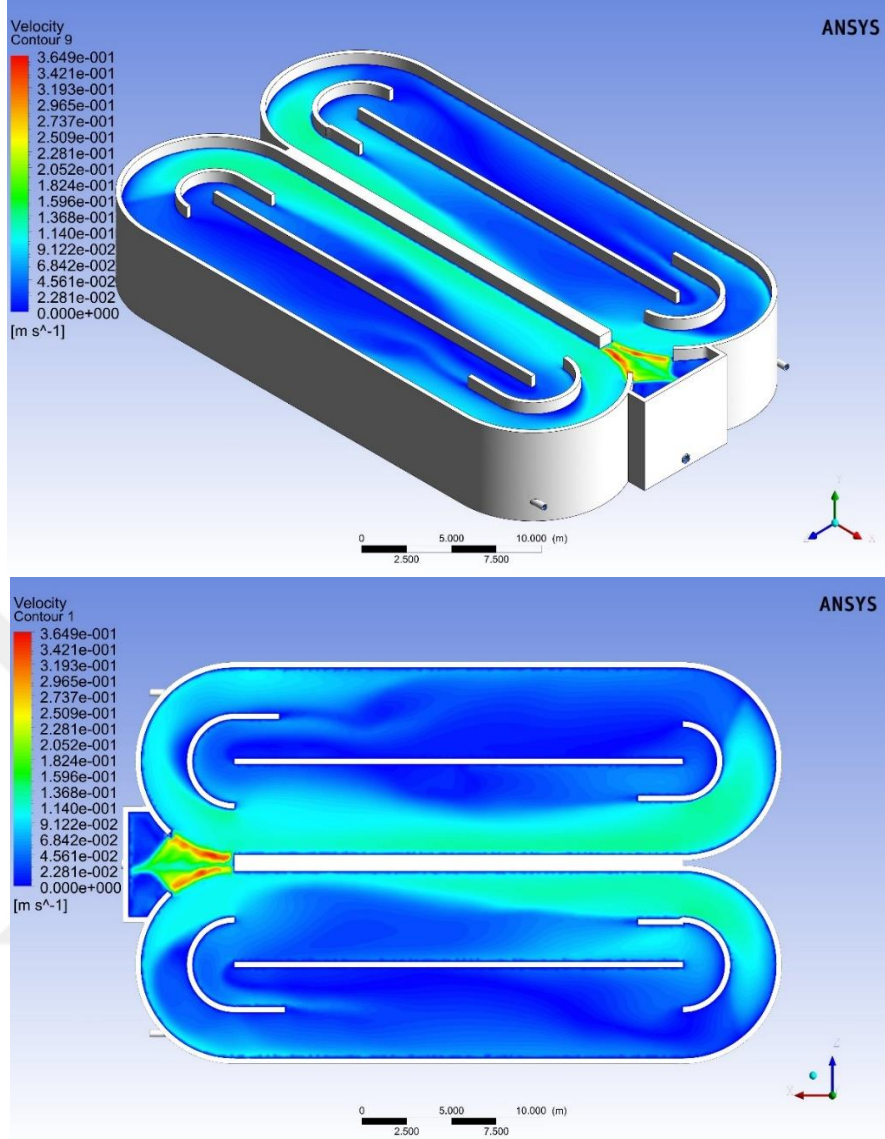
Modelin katı ve sıvı temas alanları ve isim atamaları Model 1 ile aynı şekildedir.

2.3.3.3. Model 2'nin HAD Analizi

Modelin HAD analizi, ANSYS Fluent programında Model 1'de ki akım ve analiz koşulları ile aynı ayarlar seçilerek yapılmıştır.

3000 ardışık yaklaştırma (iterasyon)sonucunda, yeterli yakınsama sağlanmış ve sonuçlar görselleştirilmiştir. Öncelikli olarak OH içerisindeki hız alanları bulunmuştur.

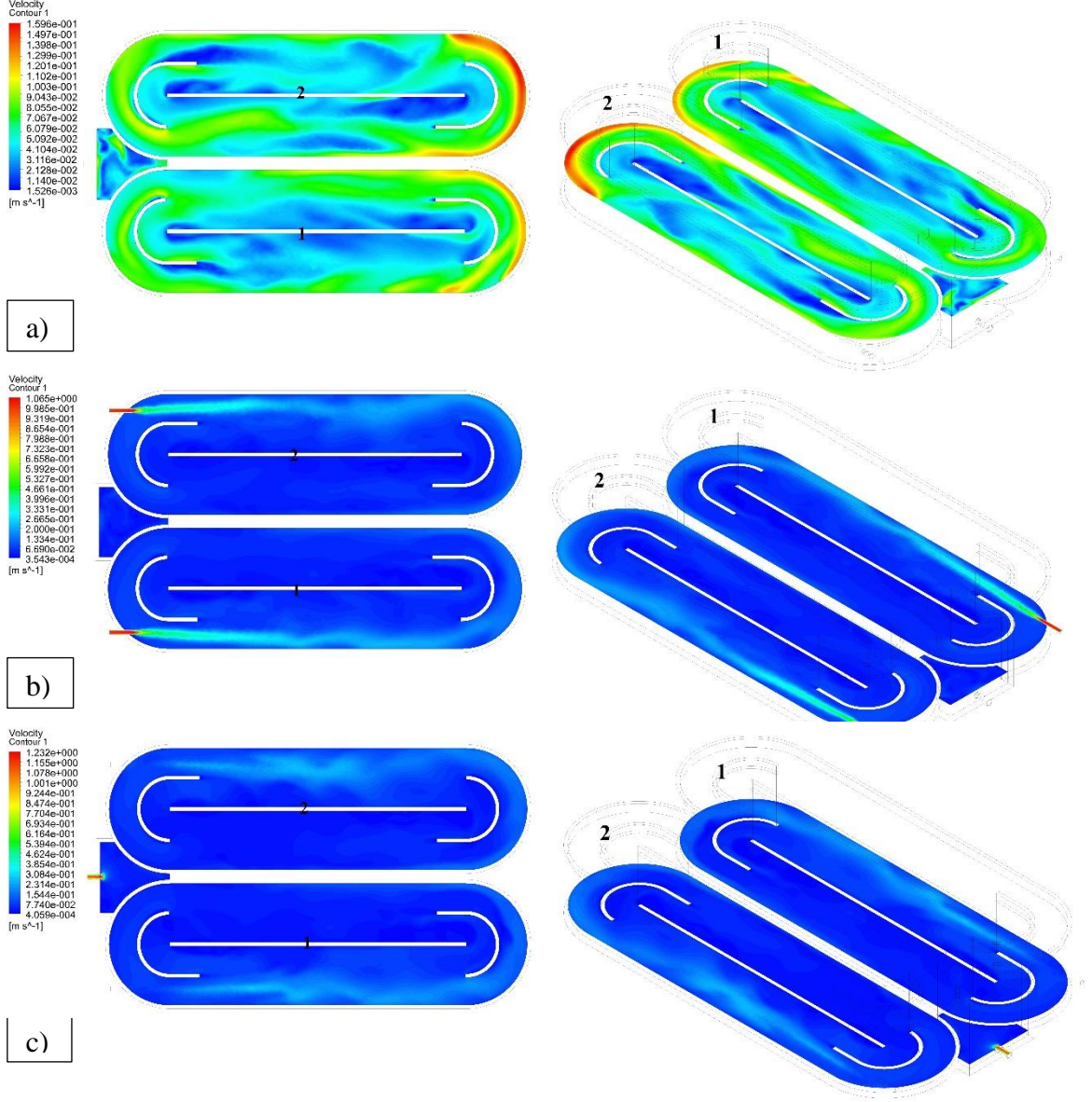
Şekil 2.33'da 5,25 m kotunda (su yüzeyinde) hız alanları verilmiştir. Analiz sonucu değerlendirildiğinde, OH'lerin su yüzeyindeki hızlarının, çıkış noktası ve çıkış noktasının doğrusal uzantılarında daha fazla olduğu görülmektedir. OH'lerde maksimum hız çıkış noktasının etrafında görülmektedir (0,3303 m/sn). Genel olarak OH'lerin yüzeyinde su hızları 0 ile 0,3303 m/sn arasında değişmektedir. Ancak OH'lerde mavi alanlar, dolayısıyla düşük hızlar oldukça fazladır.



Şekil 2.33. Model 2, hız çizgileri, su yüzeyi, bölgesel

Şekil 2.34'te analiz sonucunda OH'lerin çeşitli derinliklerinde oluşan hız çizgileri verilmiştir. Şekil 2.34 a) OH'lerde ki 5,25 m su yüksekliği dikkate alındığında, $y = 2,625$ m ile su dolu hacmin tam orta noktası olmaktadır. Hızlara bakıldığında yeşil alanların OH'lerde hakim olduğu görülmektedir. Yeşil alanlar için hız değerleri $8,485 \times 10^{-2}$ m/sn civarındadır. OH'ler içerisinde $y = 2,625$ m su yüksekliğinde nispeten homojen bir hız dağılımı vardır. Giriş noktaları doğrultusunda, OH kenarlarında hızların yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 2.34 b)'de OH'lerde giriş noktaları kotunda $y=1,3$ m için boykesit boyunca hız çizgileri verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere su giriş noktasından itibaren bir su jeti davranışı göstermektedir. Giriş noktaları doğrultusunda hızlar, doğal olarak

OH'ler içerisinde belirgin şekilde fazladır ve giriş noktalarından uzaklaştıkça giderek azalmaktadır. Şekil 2.34 c)'de çıkış bölgesi ve noktasında $y = 0,7$ m için hız çizgileri verilmiştir. Şekil incelendiğinde çıkış noktasında hız maksimumdur ($V = 1,266$ m/sn).

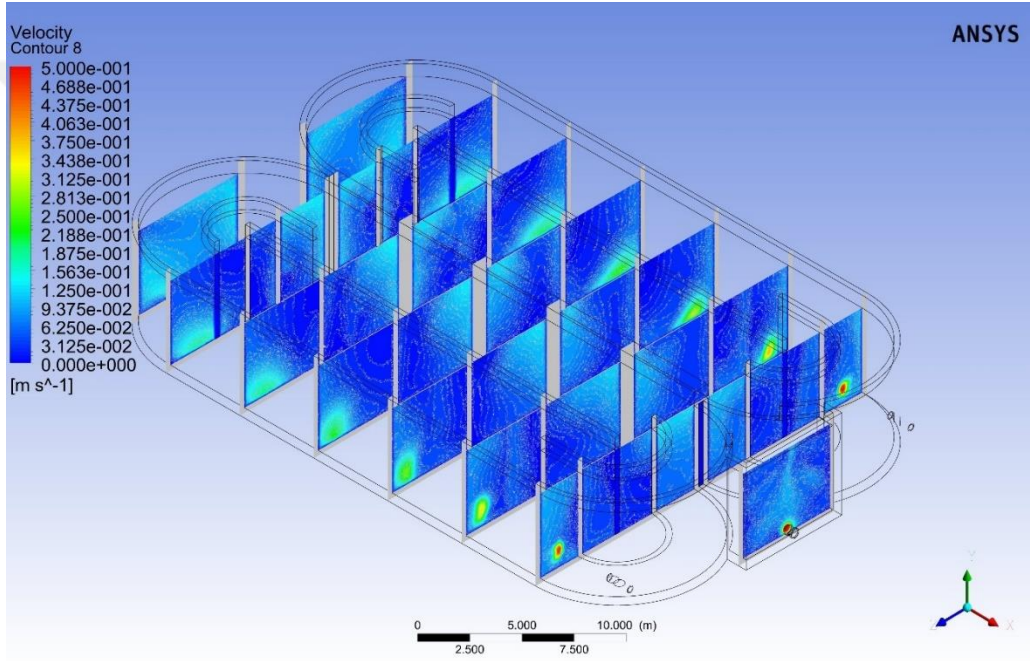


Şekil 2.34. Model 2 için simülasyon sonucunda, OH'de a) $y = 2,625$ m b) $y = 1,3$ m c) $y = 0,7$ m derinliklerde oluşan bölgesel (local) aralıkta hız çizgileri

Model 2 için hızların derinlikle değişimi OH'lerin çeşitli noktalarından kesitler alınarak incelenmiştir. Şekil 2.35'te belirlenen kesitlerde derinlikle hız değişim profili OH'lerin tamamında belli bir hız aralığında (0-0,5 m/sn) verilmiştir. Şekil 2.35

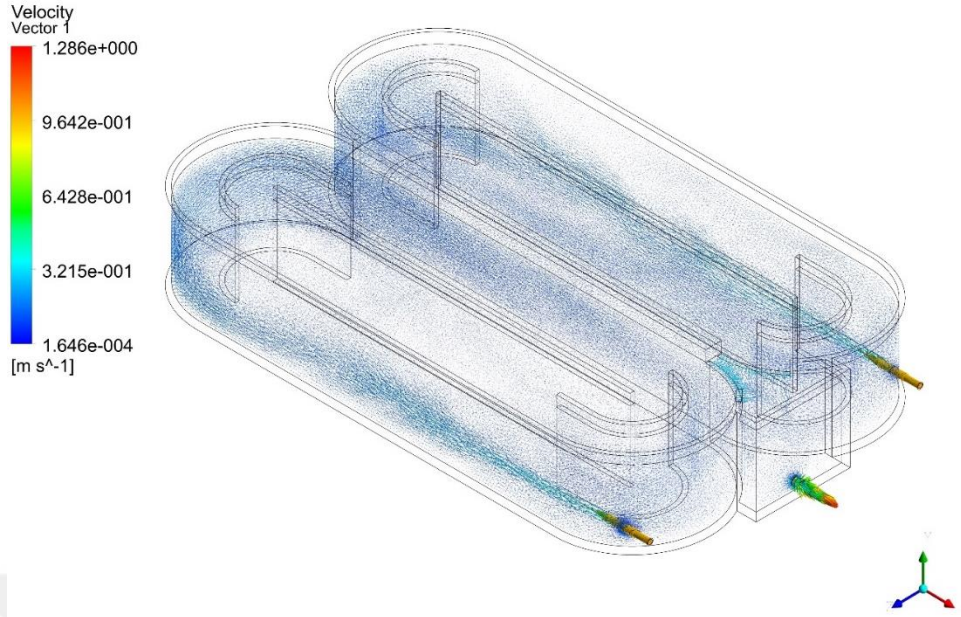
incelendiğinde yine Model 1'e benzer olarak hızların, OH'ler içerisinde giriş borularının eksenine doğrultusunda fazla olduğu ve bu hızların giriş noktalarından uzaklaştıkça ve su yüzeyine doğru çıkıldıkça azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan, çıkış bölmesine su, düşük duvarlar yardımıyla üstten alındığı için bu alanlarda hız fazladır.

Girişte hız 1 m/sn, çıkışta ise giriş ve çıkış noktalarındaki kot farkından dolayı hidrostatik basıncın etkisiyle biraz daha fazla olmuştur. Çıkış hızı 1,286 m/sn dir. Diğer bölgelerde hız, giriş ve çıkış hızlarından çok küçük olduğundan hız gradyanında mavi renk hakimdir.



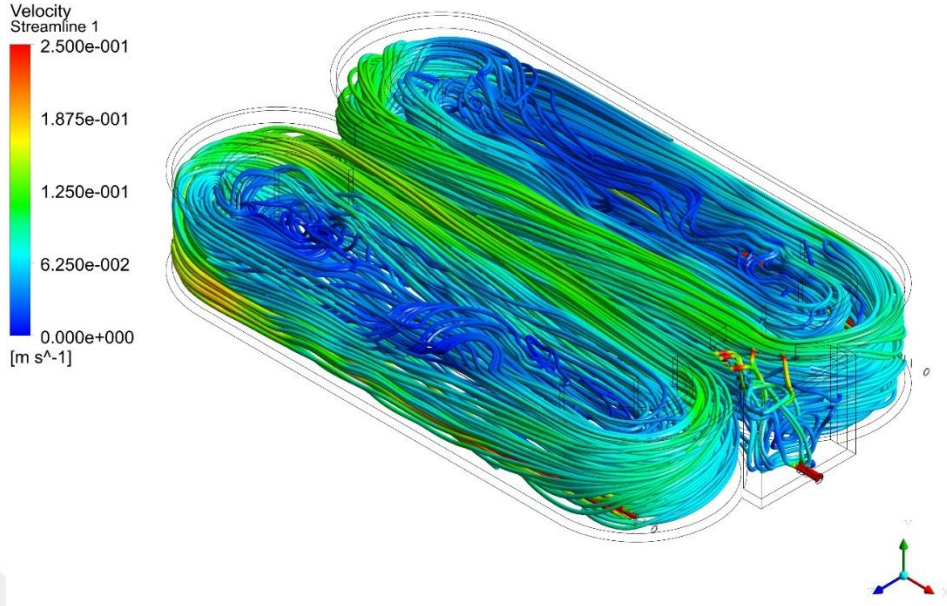
Şekil 2.35. Model 2, derinlik-hız değişiminin enkesitler boyunca gösterimi

Şekil 2.36'da giriş ve çıkış suyu hızlarının OH'ler içerisinde dağılımlarının vektörel olarak gösterimi ve akım çizgilerinin yörüngeleri gösterilmiştir. İki OH'de simetrik bir hız vektörü dağılımı görülmektedir. Hızlar giriş ve çıkış borularında ve boru eksenleri boyunca, dolayısıyla duvar kenarlarında fazla, diğer bölgelerde yani orta bölmelerde daha azdır. En yüksek hız 1,286 m/sn ile çıkış noktasındadır.



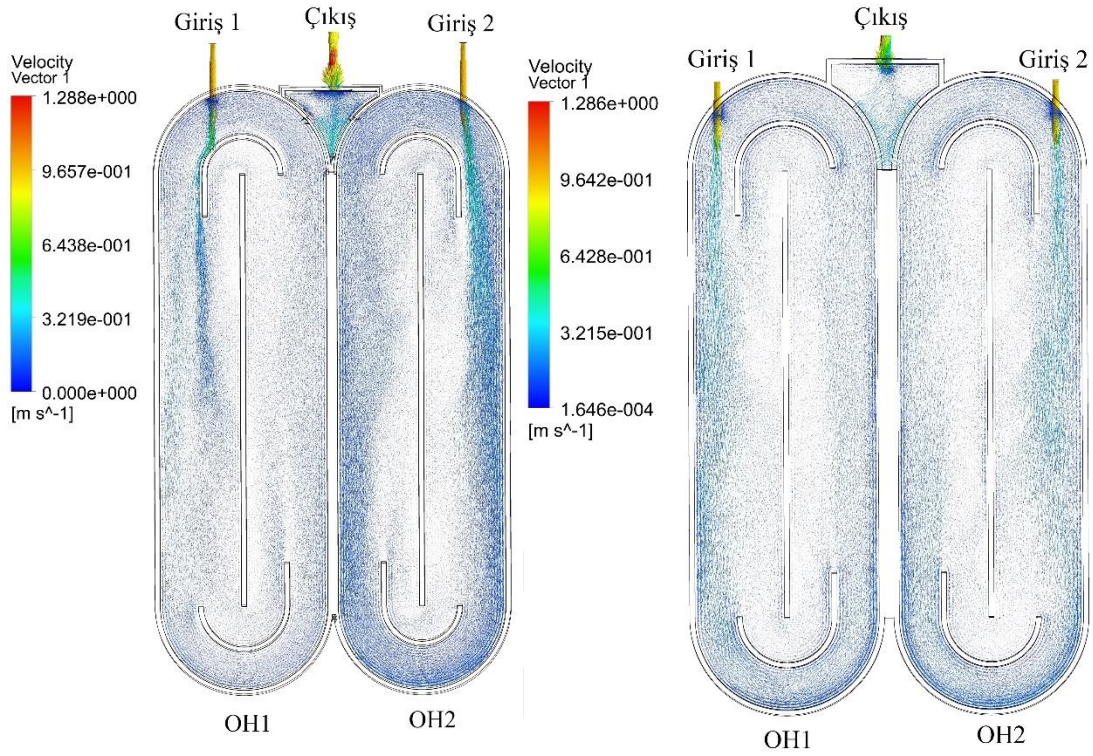
Şekil 2.36. Model 2, hız vektörleri

Şekil 2.37’de OH’ler içerisindeki akım çizgileri belli bir hız aralığında (0-0,25 m/sn) gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde OH’ler içerisinde homojen olmayan bir akım çizgileri dağılımı gözükmemektedir. Özellikle OH’lerin kenarlarında akım hızı fazla, orta bölmelerde azdır. Bu da su döngüsünün OH’lerin her tarafında eşit bir şekilde dağılmasına engeldir. Dolayısıyla OH’nin var oluş amaçlarından biri olan, atık suyun, homojen bir şekilde havalandırılması, OH’ler içerisinde eşit bir su döngüsünün sağlanarak yaklaşık 6 saat süreyle tutulması ve mümkün oldukça su hızının sıfıra düşmeyip çökelmelere engel olunması ilkelerine aykırı bir durum oluşturmaktadır. OH’ler bu şekliyle orta bölmelerde akım hızının düşmesi sonucu ek momentum kaynaklarına ihtiyaç duymakta, bu da genellikle karıştırıcı ve havalandırıcılar vasıtasıyla sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu da ek enerji ve maliyet gereksinimlerini doğurmaktadır.



Şekil 2.37. Model 2, akım çizgileri

Model 2 ve Model 1'in karşılaştırılması yapıldığında Model 1'de ortalama bileşke hızlar (x yönünde ağırlıklı olarak) 6,03 cm/sn iken Model 2'de 6,63 cm/sn olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla Model 2'de ortalama bileşke hızlar daha fazladır. Model 1'de hızların dağılımı imalat hatalarından dolayı Model 2'den farklılıklar göstermektedir. Giriş noktalarının imalat hatasından kaynaklı konumsal farklılıklarından dolayı Model 1'de 1 nolu girişte su hemen önündeki küçük dönemece çarpmakta ve başlangıçtaki enerjisini ve momentumunu kaybederek Şekil 2.38'te görülen hız vektörlerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Model 2'de ise simetrik olan giriş noktalarının konumları ve geometri OH'lerde simetrik hız vektörleri dağılımının oluşmasını sağlamıştır. Sonuç olarak Model 1 ve Model 2'nin karşılaştırılmasından, imalat hatalarının OH'lerde ki hız alanlarının dağılımına önemli etkileri olduğu sonucuna varılmaktadır.



Şekil 2.38. Model 1 ve Model 2'nin hız vektörleri dağılımı karşılaştırılması

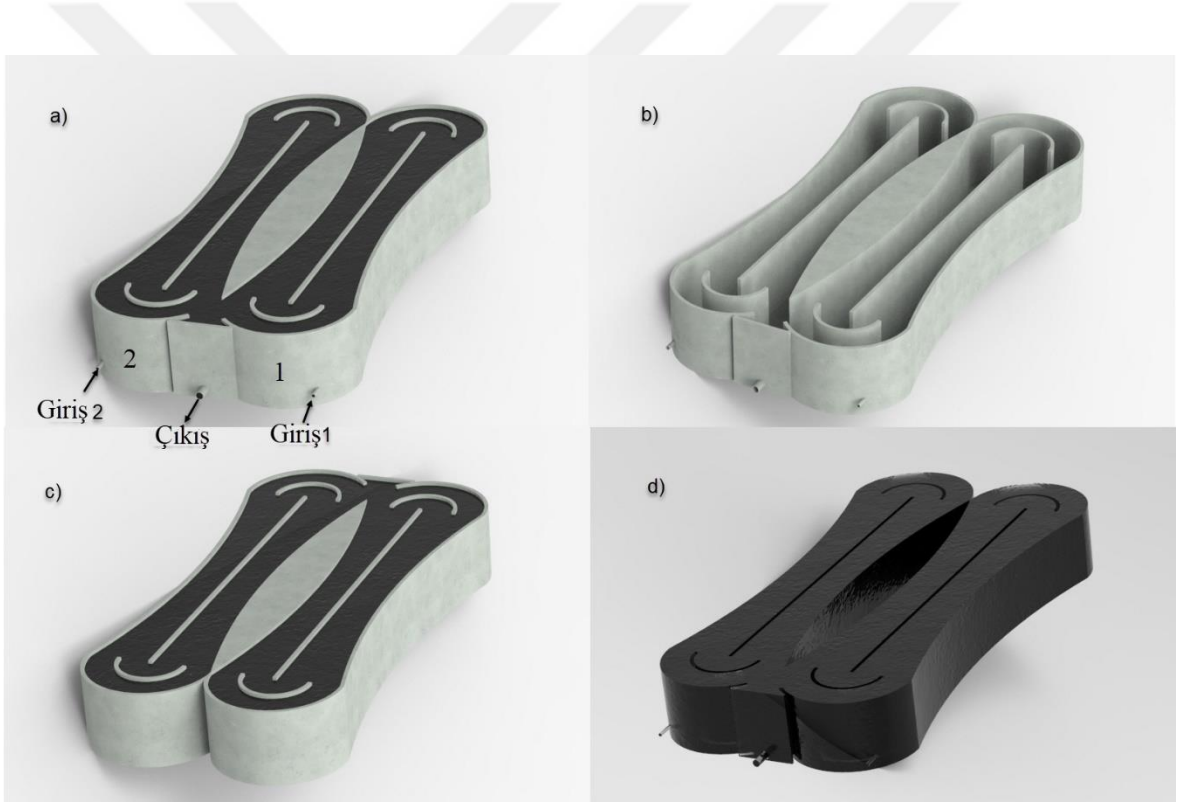
2.3.4. Model 3, Özgün Geometri 1

Mevcut tesisin yapılan HAD analizi ile hidrolik ve hidrodinamik açıdan değerlendirilmesi yapılmış ve hendek akımının azaldığı, ölü noktaların olduğu ve akımın durduğu bölgeler tespit edilerek hidrolik açıdan iyileştirilmesi için özgün geometriler üzerinde çalışılmıştır. İlk olarak sunulan özgün geometriye “özgün geometri 1” veya daha net anlaşılın diye “Model 3” adı verilmiştir.

2.3.4.1. Model 3 Geometrisinin Oluşturulması

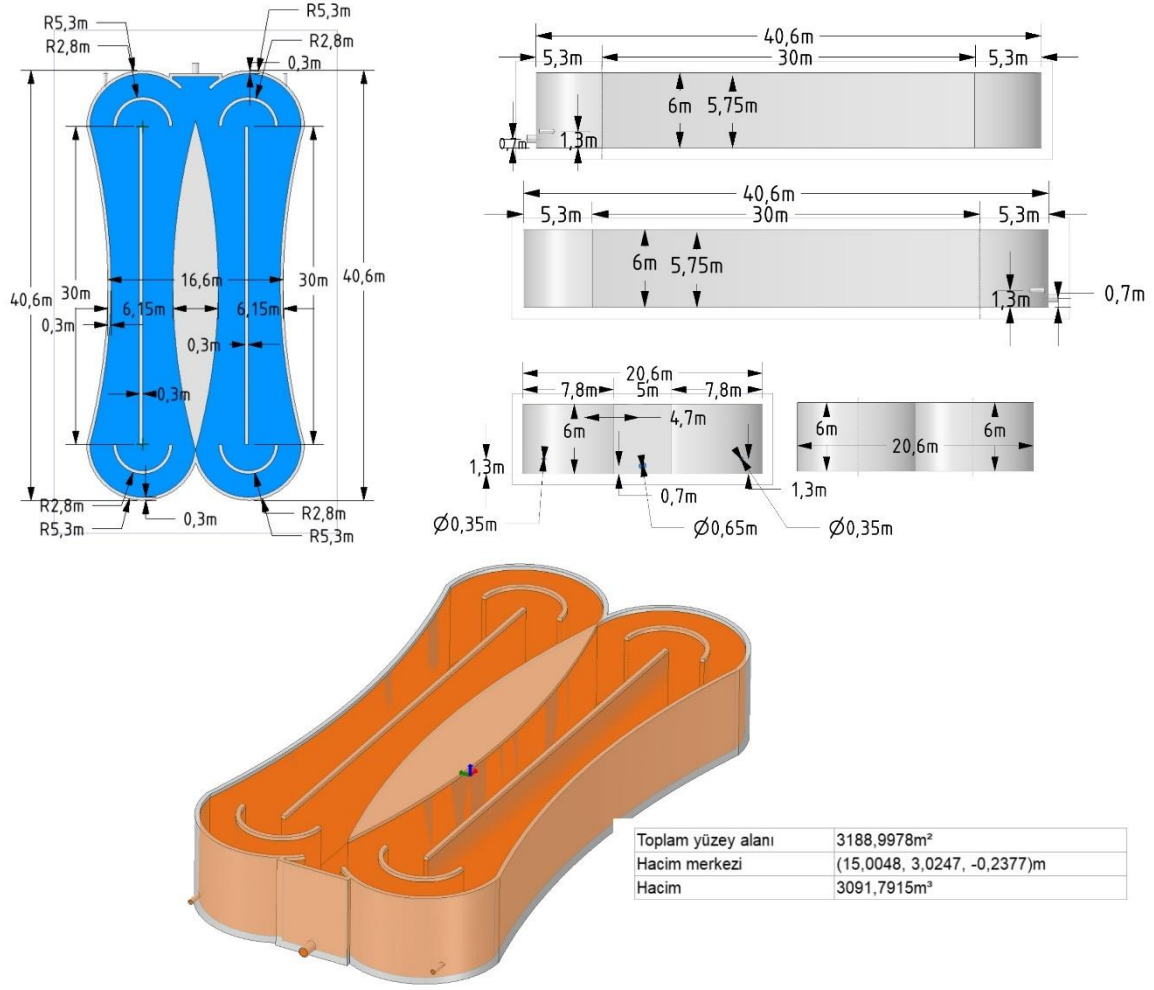
Model 3 geometrisi Model 2'nin HAD analizi sonuçlarına göre hazırlanmıştır. Model 2'de hendek içerisinde hız çizgilerinin dağılımından yola çıkılarak mavi bölgeleri, yani hızın az, hatta sıfır olduğu bölgeleri mümkün olduğunca yok etmek için bu bölgelerde kesit daraltılmış ve süreklilik denklemi sayesinde bu kesitlerde hızın artırılması sağlanmıştır. Bu geometri birçok farklı tasarım deneyerek oluşturulmuştur. Model 3 oluşturulurken atık su hacmi ve suyun havuz içerisinde kalma sürelerine dikkat edilmiştir ve model boyutları bu

duruma göre yeniden belirlenmiştir. Karıştırıcılar ve havalandırıcılar modele katılmamıştır. Daha öncede bahsedildiği üzere amaç burada OH'leri dış bir etki olmadan hidrolik olarak değerlendirmektir. Karıştırıcılar ve havalandırıcıların asli görevi akım için momentum sağlamak değildir. Ancak havuz içerisinde çalıştırıldıklarında akıma pozitif yönde etkileri vardır. Burada gerekli olduğunda bunların yerleştirilmesi için uygun alanlar bırakılmıştır. Model 3 için oluşturulan geometri ve çeşitli formasyonlarda görünümü Şekil 2.39'da gösterilmiştir. Şekil 2.39 a)'da modelin boş hali, ön yüzeylerde giriş ve çıkış noktaları görülmektedir. Şekil 2.39 b)'de; modelin su dolu hali görülmektedir. Şekil 2.39 c)'de; yine modelin boş halinin arka yüzeyden görünümü ve Şekil 2.39 d)'de ise modelde sıvı hacmin çıkartılmış hali görülmektedir.



Şekil 2.39. Model 3 de ki OH'lerin katı modeli, a) dolu önden görünüm, b) boş hali, c) dolu arkadan görünüm, d) sıvı hacmin çıkartılmış hali

Model 3 geometrisinin boyutları Şekil 2.40'ta verilmiştir.

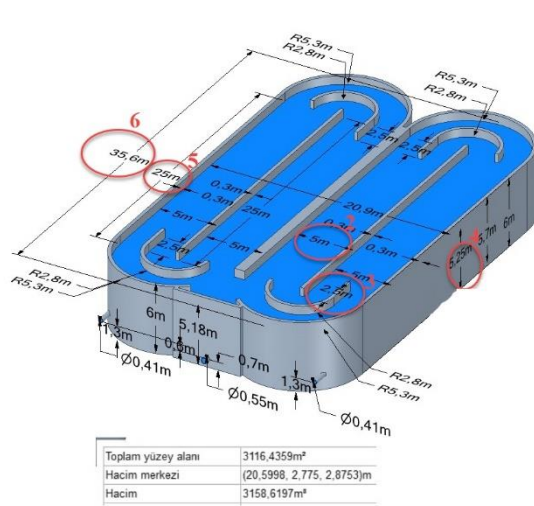
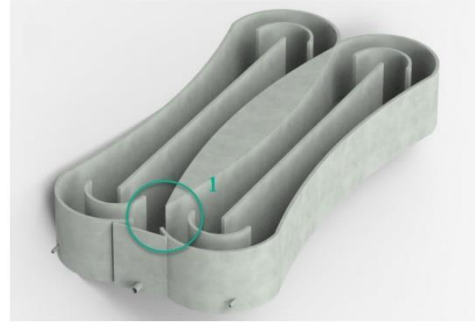
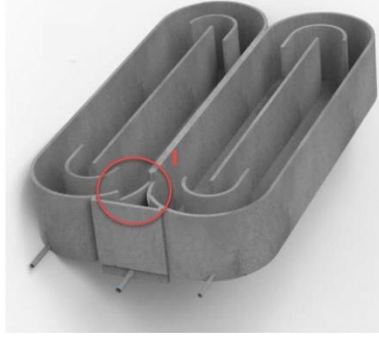
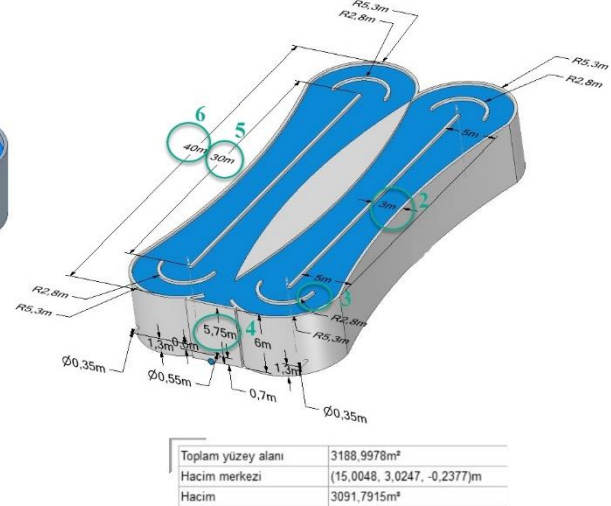


Şekil 2.40. Model 3 geometrisinin çeşitli açılardan görünümleri ve boyutları

Model 3 için oluşturulan geometrinin Model 2 geometrisinden farklı olan kısımları Şekil 2.41’de verilmiştir. Şekil 2.41’e bakıldığında iki geometri arasındaki farklar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- 1 nolu değişiklik: Model 2’nin çıkış bölümünde havuz birleşim duvarının yüksekliği 5,18 m iken Model 3’te bu duvar tamamen ortadan kaldırılmıştır.
- 2 nolu değişiklik: Model 2’nin 5 m genişliğindeki olan orta kısmı Model 3’te 3 m’ye düşürülmüştür.
- 3 nolu değişiklik: Model 2’de ki küçük dönemecin 2,5’lik uzantısı, Model 3’te kaldırılmıştır.
- 4 nolu değişiklik: Model 2’de 5,25 m olan su yüksekliği Model 3’te 5,75 m’ye çıkarılmıştır.

- 5 nolu değişiklik: Model 2’de 25 m olan orta bölmenin uzunluğu, Model 3’te 30 m’ye çıkarılmıştır.
- 6 nolu değişiklik: Model 2’de 35,6 m olan hendek uzunluğu, Model 3’te 40 m’ye çıkarılmıştır.

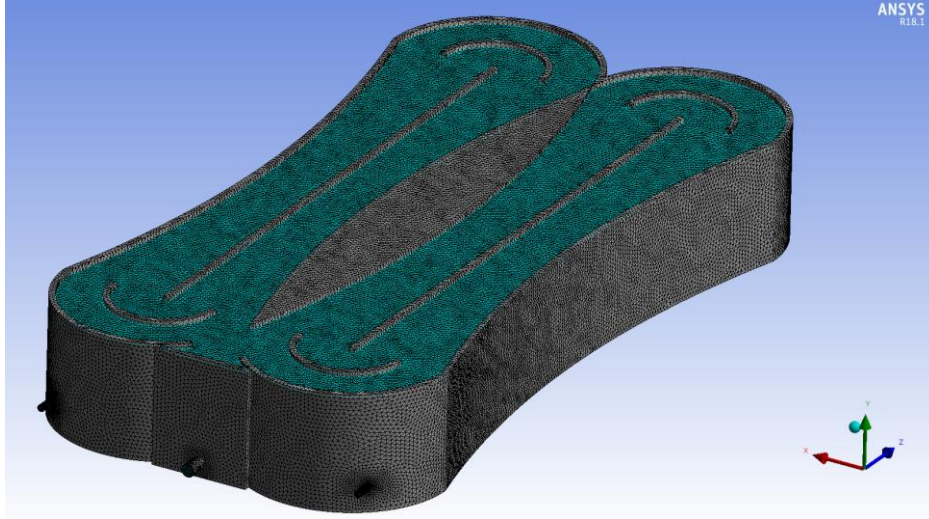
**Model 2****Model 3**

Şekil 2.41. Model 3’ün geometrisinin Model 2 geometrisinden farklı olan kısımları

2.3.4.2. Model 3 Sonlu Eleman Ağının Oluşturulması

Sonlu elemanlar ağı ANSYS Workbench Programı’nda Model 1’deki ayarlar seçilerek oluşturulmuştur. Toplam eleman sayısı 3.946.469’dur. Toplam düğüm sayısı (Nodes) ise 823.925’tir (Şekil 2.42).

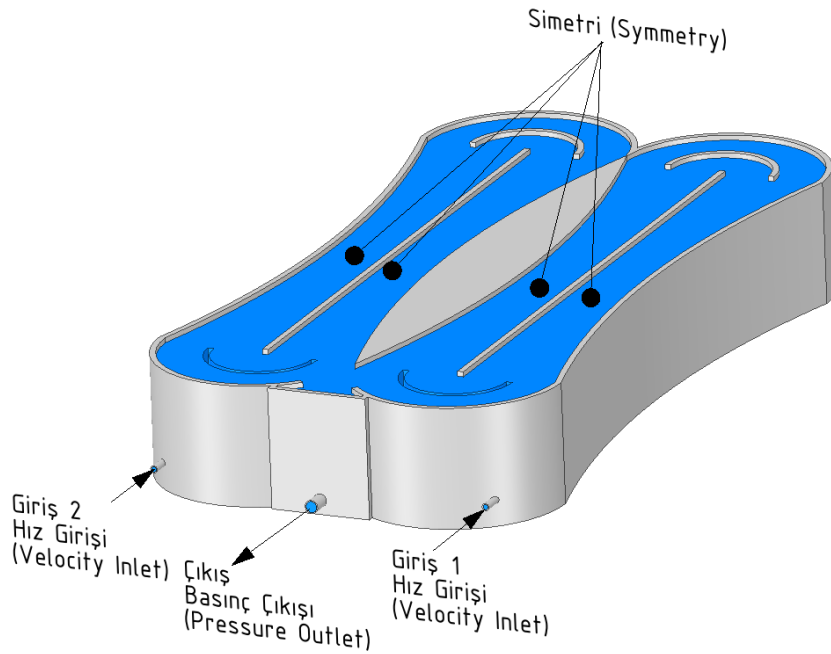
Model 3’ün isim atamaları ve katı sıvı temas bölgeleri Model 1 ile benzer şekildedir.



Şekil 2.42. Model 3'ün sonlu eleman ağı

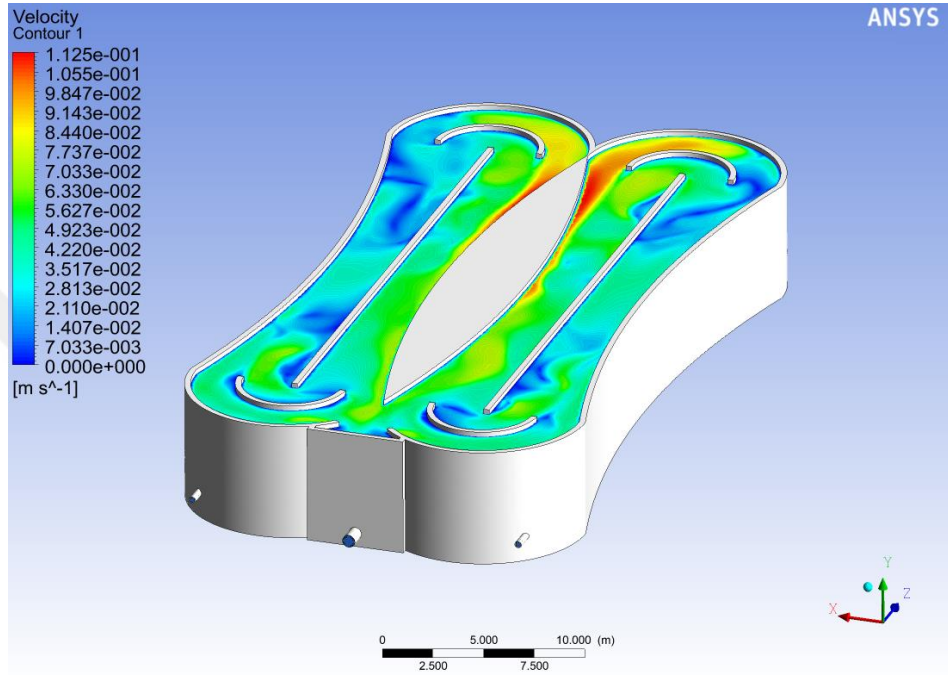
2.3.4.3. Model 3'ün HAD Analizi

Modelin HAD analizi ANSYS Fluent programında Model 1'de ki akım ve analiz koşulları seçilerek yapılmıştır (Şekil 2.43). 4.000 ardışık yakınsama (iterasyon) sonucunda, yeterli yakınsama sağlanmış ve sonuçlar görselleştirilmiştir. Öncelikli olarak OH'ler içerisindeki hız alanları bulunmuştur.



Şekil 2.43. Model 3, sınır şartları

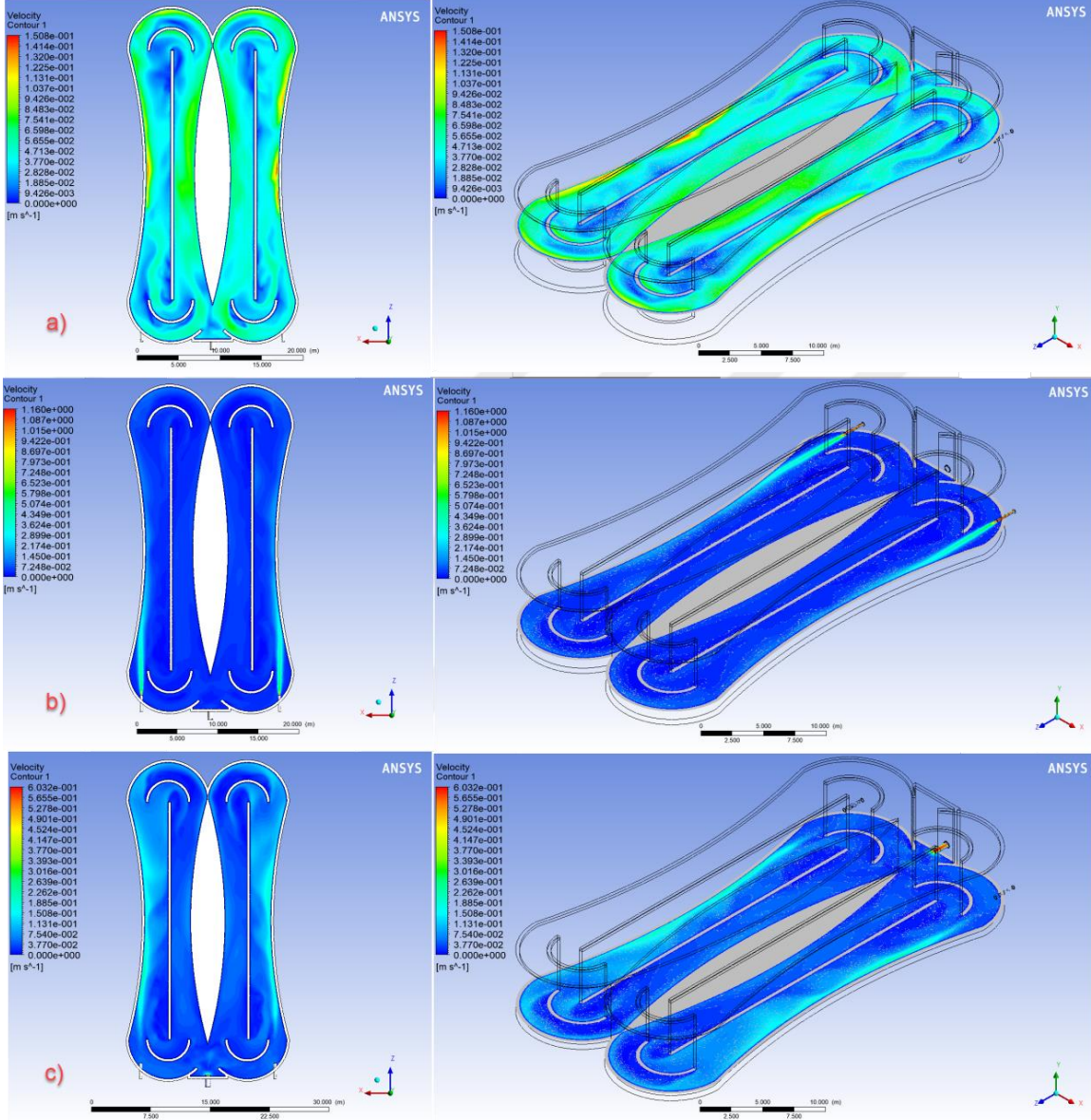
Şekil 2.44'te OH'ler dolu iken su yüzeyindeki hız çizgileri verilmiştir. Burada iki OH'nin de simetrik oluşu, iki OH'deki hız çizgilerinin dağılımının da simetrik olmasını sağlamıştır. OH'lerin içerisindeki hızların da homojen olarak dağıldığı ve ölü noktaların yani hızın sıfıra düştüğü alanların çok az olduğu görülmektedir.



Şekil 2.44. Model 3, hız çizgileri dağılımı, su yüzeyi

Şekil 2.45'te analiz sonucunda OH'lerin çeşitli derinliklerinde oluşan bölgesel hız çizgileri verilmiştir. Şekil 2.45 için bölgesel (local) hızlar değerlendirildiğinde a) OH'lerdeki 5,75 m su yüksekliği dikkate alındığında, $y=2,875$ m ile su dolu hacmin tam orta noktası olmaktadır. Hızlara bakıldığında yeşil alanların OH'lerde hakim olduğu görülmektedir. Yeşil alanlar için hız değerleri $5,655 \times 10^{-2}$ m/sn civarındadır. OH'ler içerisinde bu su yüksekliğinde nispeten homojen bir hız dağılımı vardır. Giriş noktaları doğrultusunda, OH'lerin kenalarında hızların yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 2.45 b)'de OH'lerde giriş noktaları kotunda $y=1,3$ m için hız çizgileri verilmiştir. $y=1,3$ m derinlikte su giriş noktasından itibaren Model 2'ye benzer şekilde bir su jeti davranışı ortaya çıkmaktadır. OH boyutuna göre küçük olan bir borudan belli bir hızla çıkan atık suyun bu etkiyi göstermesi beklenen bir durumdur. Yine model 2'ye benzer olarak giriş noktaları doğrultusunda hızlar OH'ler içerisinde belirgin şekilde fazladır, ve giriş noktalarından uzaklaştıkça giderek azalmaktadır ve çıkış noktasında hız maksimumdur ($V = 1,16$ m/sn).

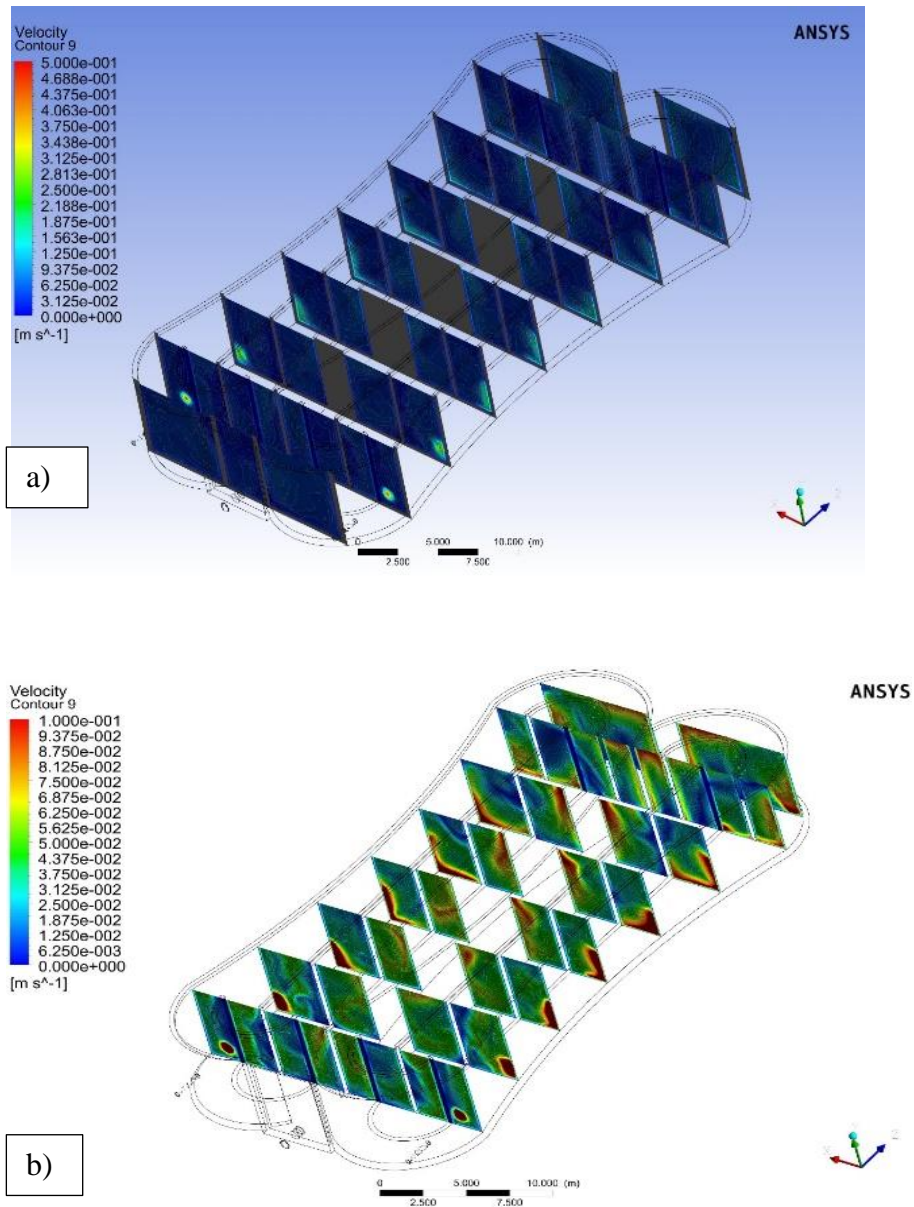
Bu nedenle bu yorumlar diğer modelde (Model 4) yapılmayacaktır. Şekil 2.45 c) de çıkış bölgesi ve noktasında $y = 0,7$ m için hız çizgileri verilmiştir.



Şekil 2.45. Model 3 için simülasyon sonucunda, oksidasyon hendeğinde çeşitli derinliklerde bölgesel (local) aralıkta hız çizgileri, a) $y=2,875$ m b) $y=1,3$ m c) $y=0,7$ m

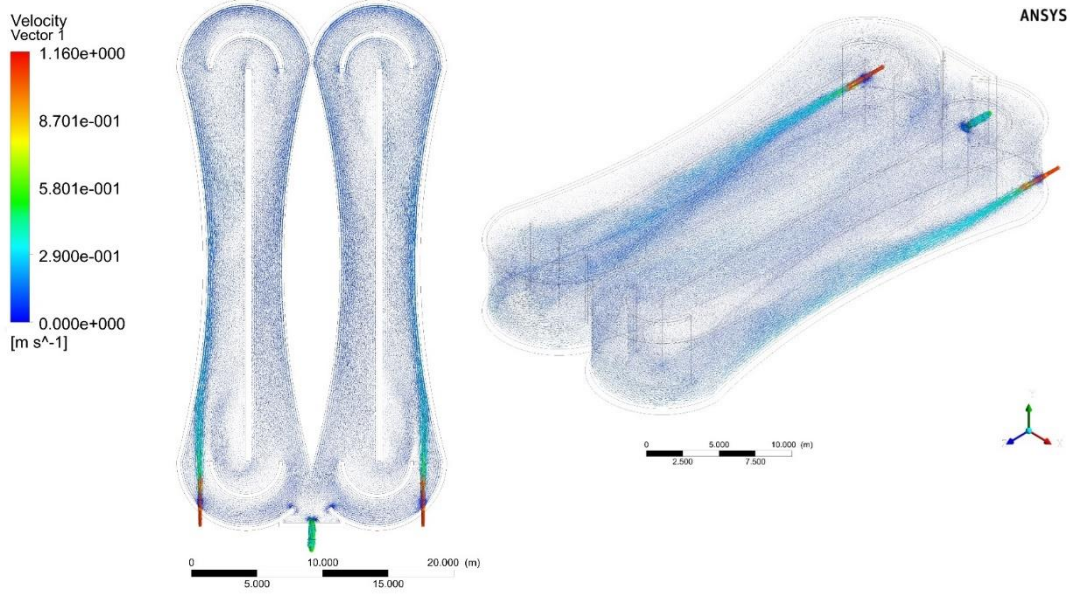
Model 3 için, hızların derinlikle değişimi, OH'lerin çeşitli noktalarından en kesitler alınarak belli bir hız aralığında (0-0,5 m/sn) incelenmiştir (Şekil 2.46). Şekil 2.46 incelendiğinde, giriş ve çıkış noktalarında doğal olarak hızların maksimum olduğu görülmektedir. Buralarda borulardan giren ve çıkan su, bir su jeti gibi davranmakta ve

OH'ler içersinde dağılmaktadır. Dolayısıyla giriş borularının ekseninde ve su yüzeyine çıkıldıkça OH'lerde hızlar giderek azalmaktadır fakat nispeten homojen bir dağılım gösterdikleri görülmektedir. Çıkış borusunun bulunduğu bölüm iki OH'nin birleşim yerinde ve su, her iki OH'den eşit miktarda giriş yaptığı için, su hızları burada çok fazla değişim göstermemektedir. Girişte hız 1 m/sn, çıkışta ise 1,29 m/sn'dir. Diğer bölgelerde hız, giriş ve çıkış hızlarından çok küçük olduğundan hız gradyanında mavi renk hakimdir.



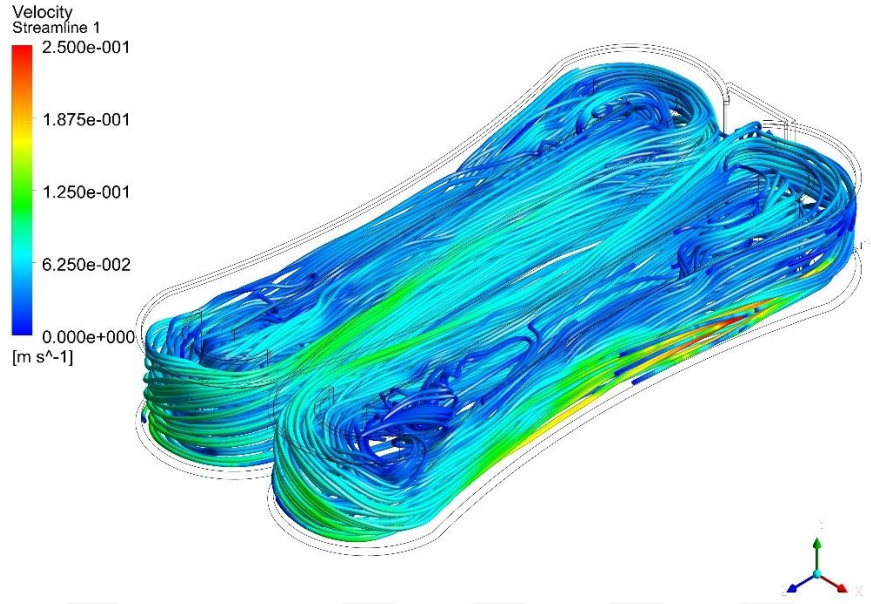
Şekil 2.46. Model 3, enkesit boyunca derinlik-hız profili; a) 0-0,5 m/sn aralığında b) 0-0,1 m/sn aralığında

Şekil 2.47’de giriş ve çıkış suyu hızlarının OH’ler içerisinde dağılımlarının vektörel olarak gösterimi ve akım çizgilerinin yörüngeleri verilmiştir. İki OH’de simetrik bir hız vektörü dağılımı görülmektedir.



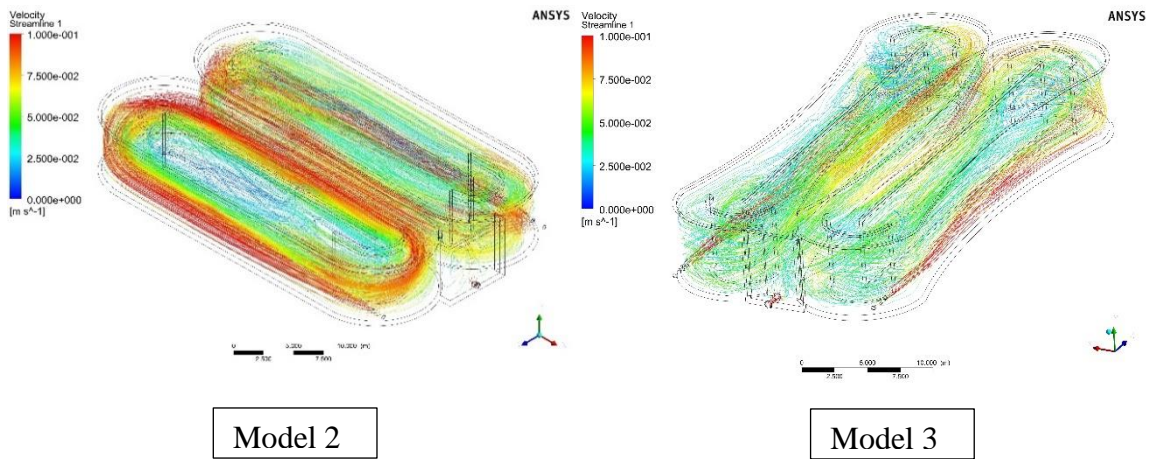
Şekil 2.47. Model 3, hız vektörleri dağılımı

Şekil 2.48’de OH’ler içerisindeki akım çizgileri belli bir hız aralığında (0-0,25 m/sn) gösterilmiştir. Bu akım çizgileri incelendiğinde OH’ler içerisinde akımın homojen olarak dağıldığı görülmektedir. OH’ler içerisinde su döngüsünün de gayet homojen bir şekilde olduğu görülmektedir.



Şekil 2.48. Model 3, akım çizgileri

Model 3, Model 2 ile kıyaslandığında, Model 3'ün akım çizgilerinin OH'ler içerisindeki dağılımı, Model 2'ye göre daha homojendir (Şekil 2.49). Genel olarak iki modeldeki hız değerleri karşılaştırıldığında Model 2'de 6,63 cm/sn olan ortalama hız, Model 3'te 4,95 cm/sn olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.49. Model 2 ve Model 3'ün karşılaştırılması (0-0,1 m/sn)

OH'lerde atık suyun içerisindeki organik maddeler oksijen verilerek yakılmakta ve böylece organik içerik parçalanarak, atık suyun biyolojik olarak arıtımı sağlanmaktadır. Parçalanmış bu organik içerik sonucunda karbondioksit ve su oluştuğu gibi, askıda katı

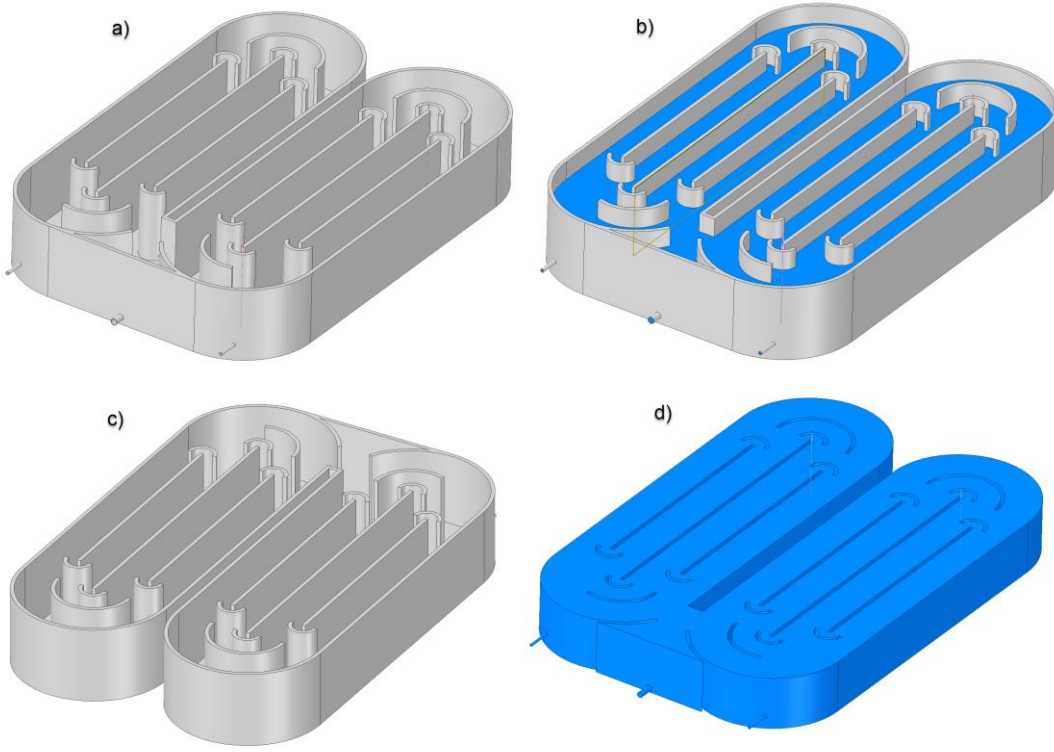
maddeler de oluşmakta ve zamanla bu askıda katı maddeler OH'lerin içerisinde ya yüzeye çıkıp birikerek organik içeriğin oksijen temas alanını azaltmakta ya da, yerçekimi etkisiyle OH'lerin tabanına çökerek difüzörlerin ağzını tıkayıp oksijen çıkışını engellemektedirler. Çöken ve biriken bu katı maddeler atık suyun biyolojik olarak arıtımında istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden OH'lerin içerisinde homojen bir akım ve su döngüsü sağlamak, bu askıda katı maddelerin OH'lerin tabanına çökmesini veya yüzeyde birikmesini önlemek için çok önemlidir. Model 3, bu açıdan değerlendirildiğinde Model 2'ye göre daha başarılıdır.

2.3.5. Model 4, Özgün Geometri 2

Bu model yine Model 2 üzerinden yola çıkılarak birçok deneme sonucu oluşturulan bir modeldir. "Model 4" (Özgün geometri 2) olarak adlandırılmıştır.

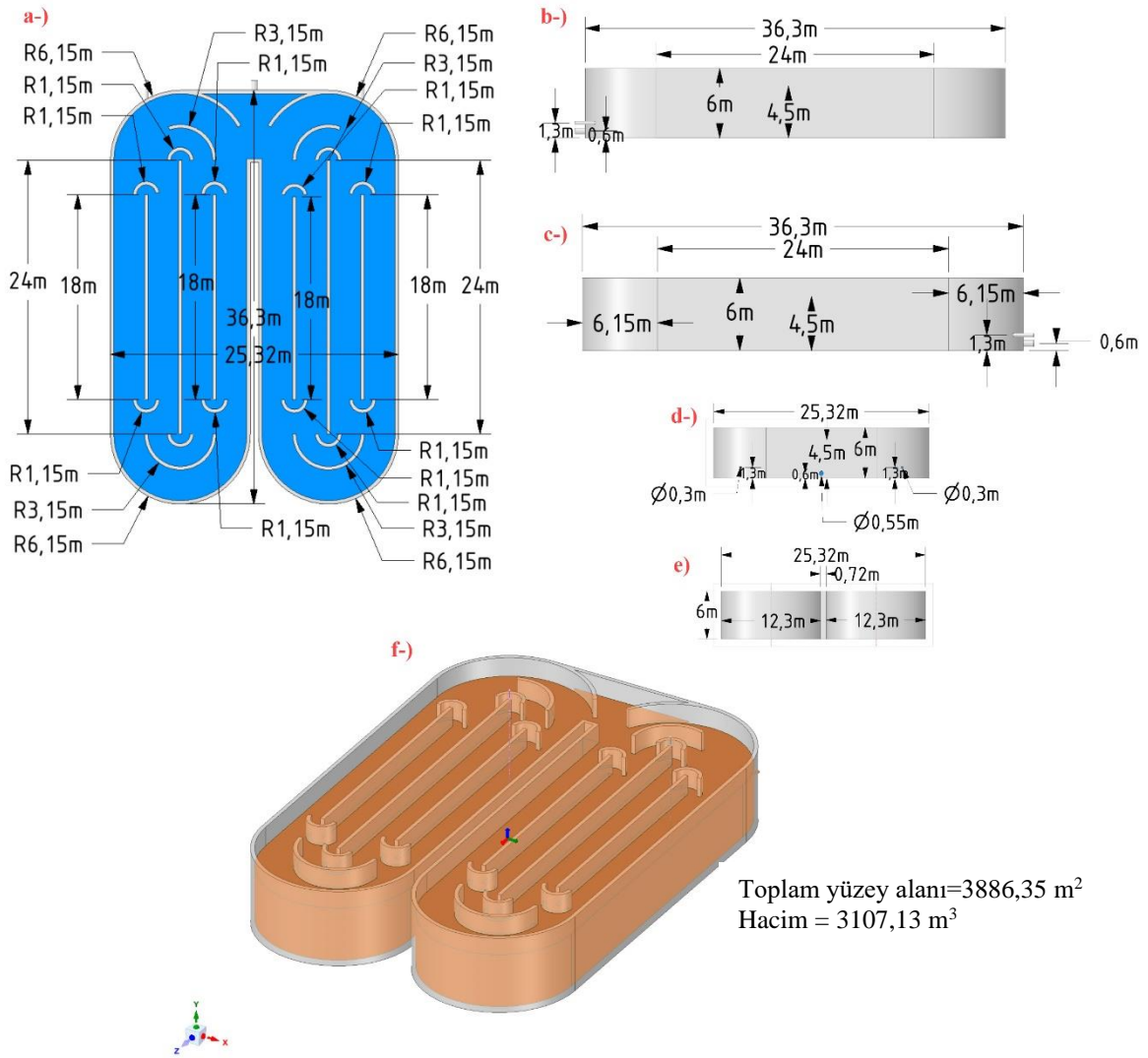
2.3.5.1. Model 4 Geometrisinin Oluşturulması

Model 4 geometrisi yine Model 2'nin HAD analizi sonuçlarına göre hazırlanmıştır. Model 2 incelendiğinde simetrik olan iki havuzun orta bölgesinde bulunan ve havuzların uzun kenarlarına paralel olan duvarlara yakın bölgelerde hızların diğer kısımlara göre oldukça düşük olduğu ve bu şekilde homojen bir hız dağılımı oluşmadığı görülmüştür. Bu etkiyi en aza indirmek ve duvar kenarlarındaki hızları arttırmak için Model 4'te yine simetrik olarak uzun kenarlara paralel her bir kısım için iki adet yeni dikey duvar ilave edilmiştir. Model 3'te bu etki kesit tamamen daraltılarak gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Bunun yanında suyun bu ilave bölmelere homojen bir biçimde girmesini ve dönmesini sağlamak için ilave dönemeçler teşkil edilmiştir. Tüm bu düzenlemeler ile hızın düşük olduğu bölgelerde kesit daraltılarak hız arttırılmaya çalışılmıştır. Tüm özgün modellerde olduğu gibi bu modelde de atık suyun hacmi ve OH içinde yeteri kadar kalmasına dikkat edilmiş ve boyutlar buna göre düzenlenmiştir. Model 4 için oluşturulan geometri ve çeşitli açılardan görünümü Şekil 2.50'de gösterilmiştir. Şekil 2.50 a)'da modelin boş hali ve ön yüzeylerde giriş ve çıkış noktaları görülmektedir. Şekil 2.50 b)'de modelin su dolu hali görülmektedir. Şekil 2.50 c)'de yine modelin boş halinin arka yüzeyden görünümü ve Şekil 2.50 d)'de ise modelde sıvı hacmin katı hacimden çıkartılmış hali görülmektedir.



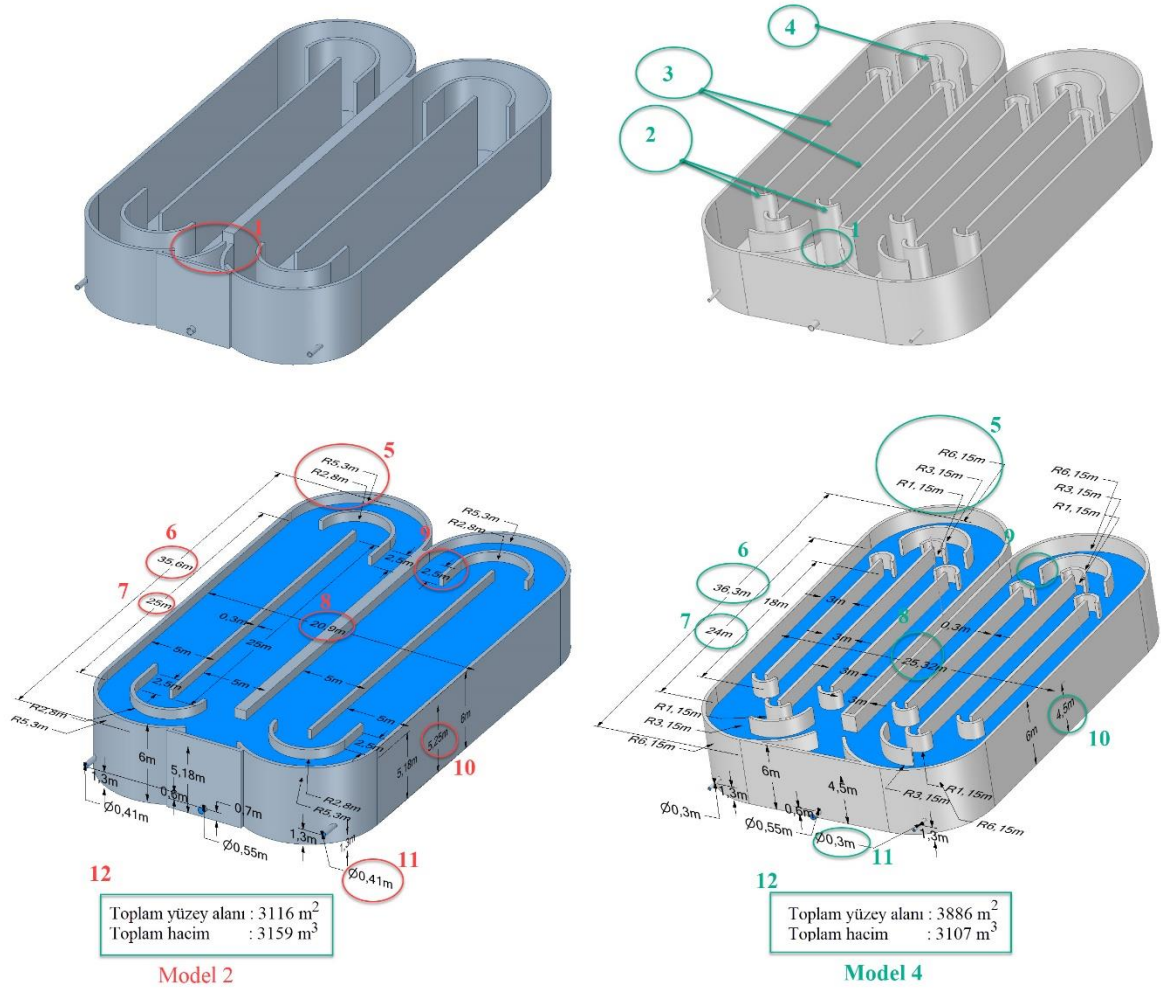
Şekil 2.50. Model 4, OH'lerin katı modeli, a) boş önden görünüm, b) su dolu hali, c) boş arkadan görünüm, d) sıvı hacmin katı hacimden çıkartılmış hali

Oluşturulan geometrinin boyutları ve çeşitli açılardan görünümleri Şekil 2.51'de verilmiştir.



Şekil 2.51. Model 4 için oluşturulan geometrinin çeşitli açılardan görünüşleri ve boyutları, a) üstten görünüş b) soldan görünüş, c) sağdan görünüş, d) önden görünüş e) arkadan görünüş f) toplam yüzey alanı ve hacmin gösterilmesi

Model 4 geometrisi yine Model 2'nin analiz sonuçları baz alınarak yapıldığı için geometriler arasındaki karşılaştırma Model 2 ile yapılmıştır. Model 4 geometrisinin Model 2 geometrisinden farklı olan kısımları Şekil 2.52'de verilmiştir.



Şekil 2.52. Model 2 ve Model 4 geometrisinin karşılaştırılması

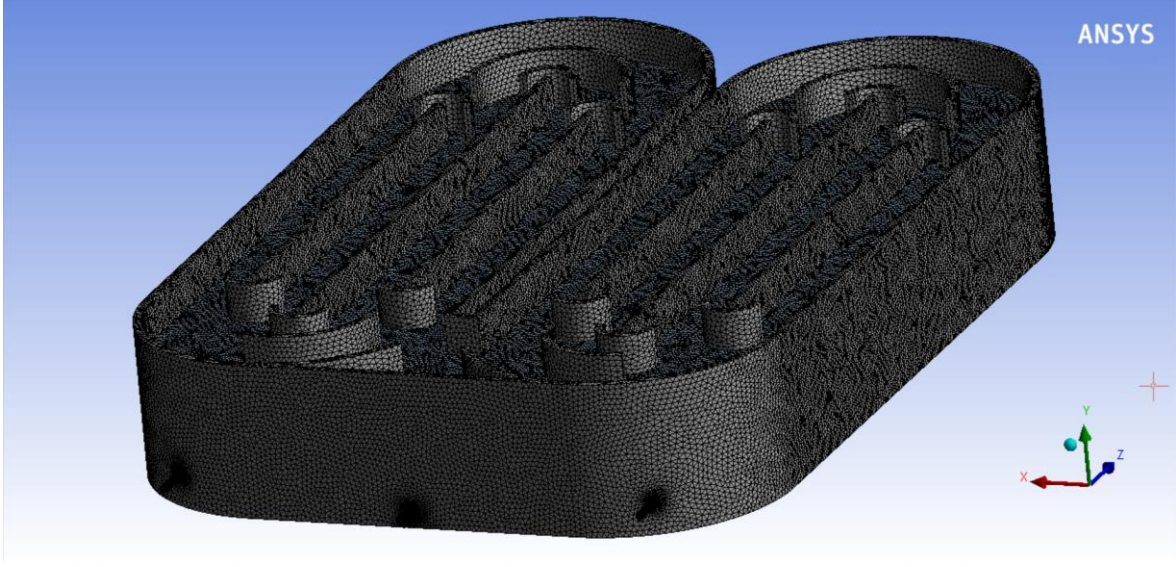
Şekil 2.52'ye bakıldığında iki geometri arasındaki farklar aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- 1 nolu değişiklik: Model 2'nin çıkış bölümünde havuz birleşim duvarının yüksekliği 5,18 m iken Model 4'te bu duvar tamamen ortadan kaldırılmıştır.
- 2, 3 ve 4 nolu değişiklikler: 3 nolu değişiklikte Model 2'te 5 m genişliğindeki orta kısmı Model 4'te 3 m'ye düşürülecek şekilde 18 m uzunluğunda birer tane daha orta bölme yapılmış ve 2 nolu değişiklikte görüldüğü üzere bu orta bölmelerin her iki ucunda 1,15 m çapında küçük dönemeçler yapılmıştır. Ayrıca 4 nolu değişiklikte orta bölmenin her iki ucunda yine çapı 1,15 m olacak ek dönemeçler yapılmıştır.

- 5 nolu değişiklik: Model 2’de ki sırasıyla 5,3 m ve 2,8 m olan büyük ve küçük dönemeçlerin çapları Model 4’te 6,15 m ve 3,15 m’ye çıkartılmış, ayrıca 1,15 m’lik ek bir dönemeç eklenmiştir.
- 6 nolu değişiklik: Model 2’de 35,6 m olan hendek uzunluğu, Model 3’te 36,3 m’ye çıkarılmıştır.
- 7 nolu değişiklik: Model 2’de 25 m olan orta duvarın uzunluğu, Model 4’te 24 m’ye düşürülmüştür.
- 8 nolu değişiklik: Model 2’de 20,9 m olan hendeklerin toplam genişliği Model 4’te 25,32 m’ye çıkarılmıştır.
- 9 nolu değişiklik: Model 2’de 2,5 m uzunluğundaki küçük dönemeçlerin uzantıları Model 4’te kaldırılmıştır.
- 10 nolu değişiklik: Model 2’de 5,25 m olan su yüksekliği Model 4’te 4,5 m’ye düşürülmüştür.
- 11 nolu değişiklik Model 2’de giriş boruları çapları 41 cm iken Model 4’te 30 cm’ye düşürülmüştür.
- 12 nolu değişiklik: Model 2’nin toplam yüzey alanı ve hacmi sırasıyla 3.116 m² ve 3.196 m³ iken Model 4’te bu değerler 3.886 m² ve 3.107 m³ olmuştur.

2.3.5.2. Model 4 Sonlu Eleman Ağının Oluşturulması

Sonlu elemanlar ağı ANSYS Workbench Programı’nda Model 1’deki ayarlar kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 2.53). Toplam eleman sayısı 4.089.656’dır. Toplam düğüm sayısı (Nodes) ise 809.202’dir.

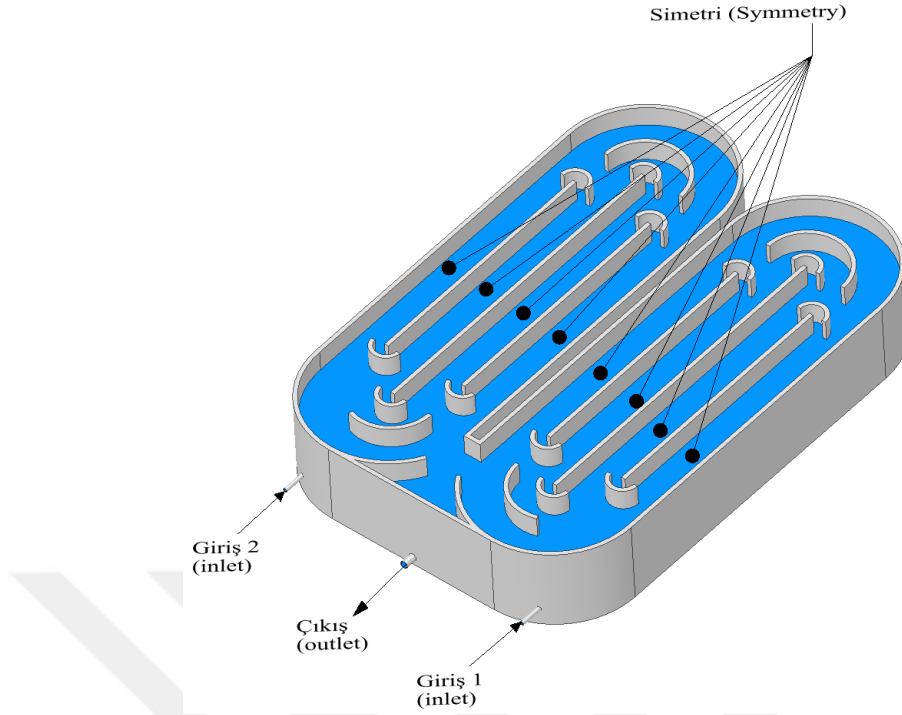


Şekil 2.53. Model 4 için sonlu eleman ağının gösterimi

Model 4'ün isim atamaları ve katı-sıvı temas bölgeleri Model 1 ile benzer şekildedir.

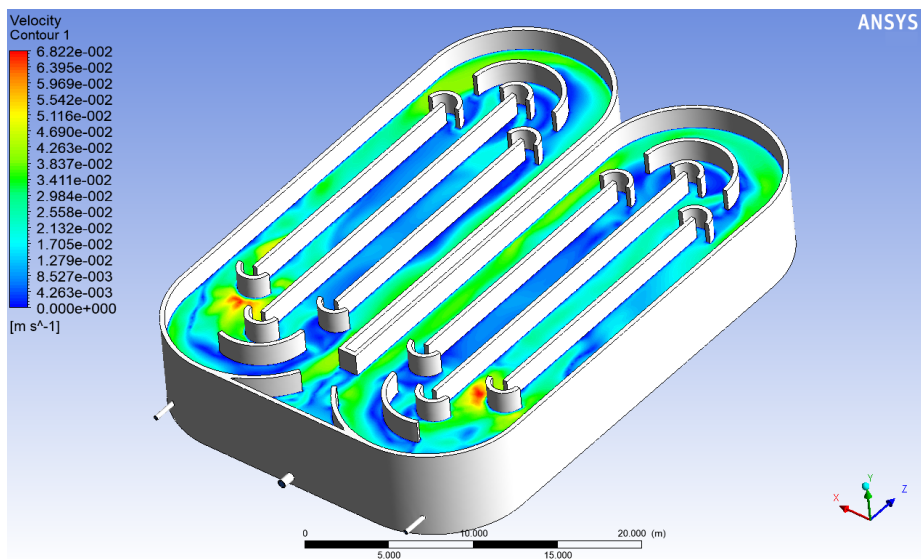
2.3.5.3. Model 4'ün HAD Analizi

Model 4'ün HAD analizi ANSYS Fluent programında Model 1'de ki akım ve analiz koşulları seçilerek yapılmıştır (Şekil 2.54). 2000 ardışık yaklaştırma sonucunda, yeterli yakınsama sağlanmış ve sonuçlar görselleştirilmiştir. Öncelikli olarak OH'ler içerisindeki hız alanları bulunmuştur.

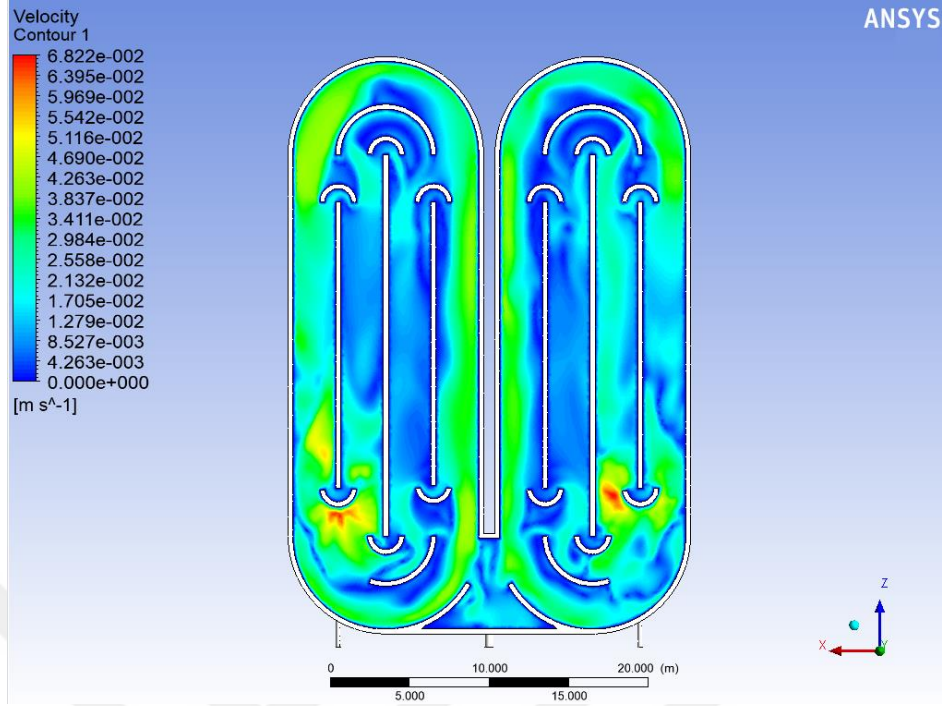


Şekil 2.54. Model 4 için sınır şartları

Şekil 2.55 ve Şekil 2.56’da Model 4 için su yüzeyinde hız çizgileri dağılımı verilmiştir. incelendiğinde model OH’lerin su yüzeyinde hız çizgilerinin dağılımı nispeten homojendir. Ancak, giriş noktaları doğrultusunda ve OH’lerin kenarlarında hızların, orta bölmelerdeki hızlardan daha fazla olduğu görülmektedir.

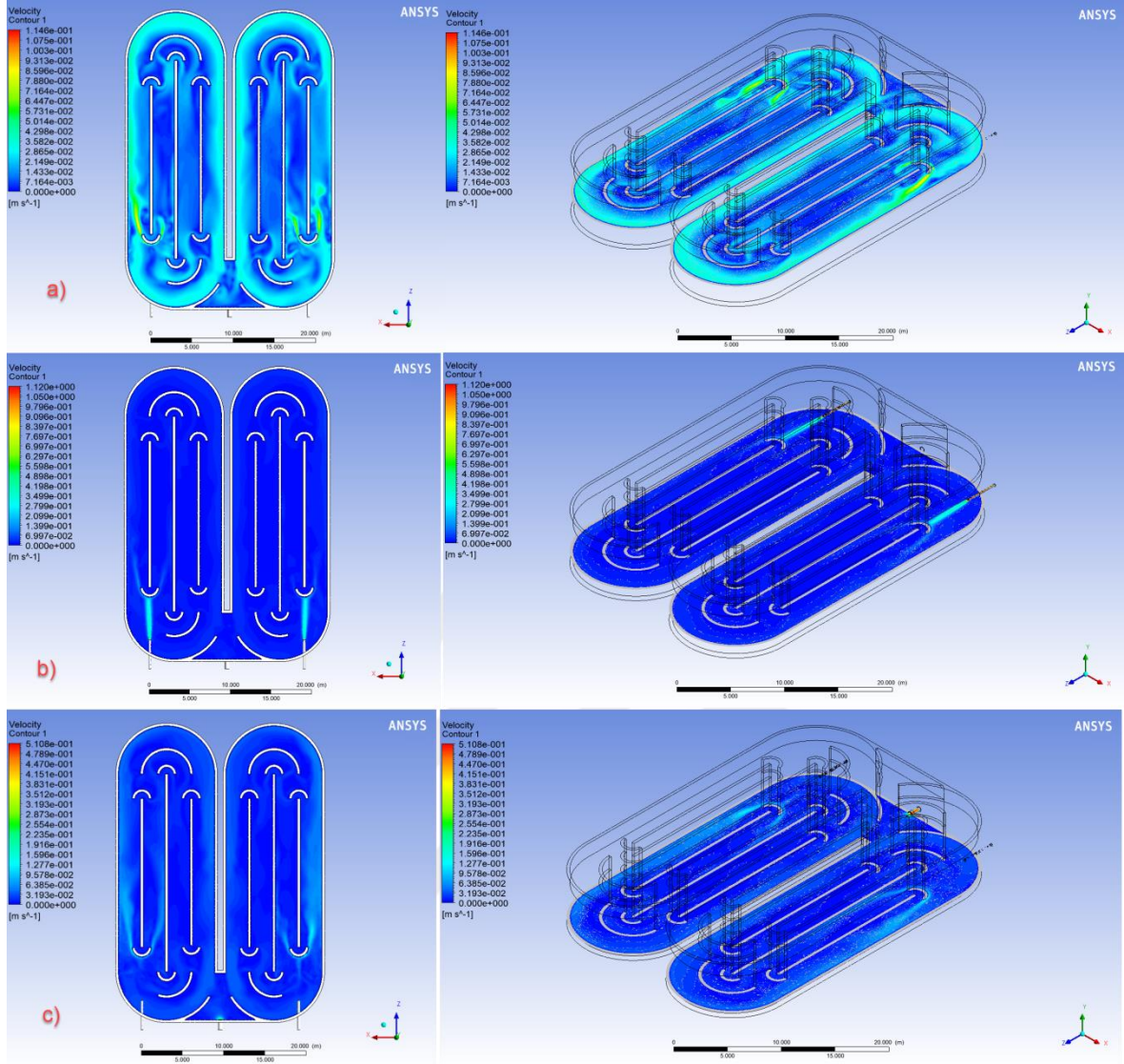


Şekil 2.55. Model 4, hız çizgileri, su yüzeyi



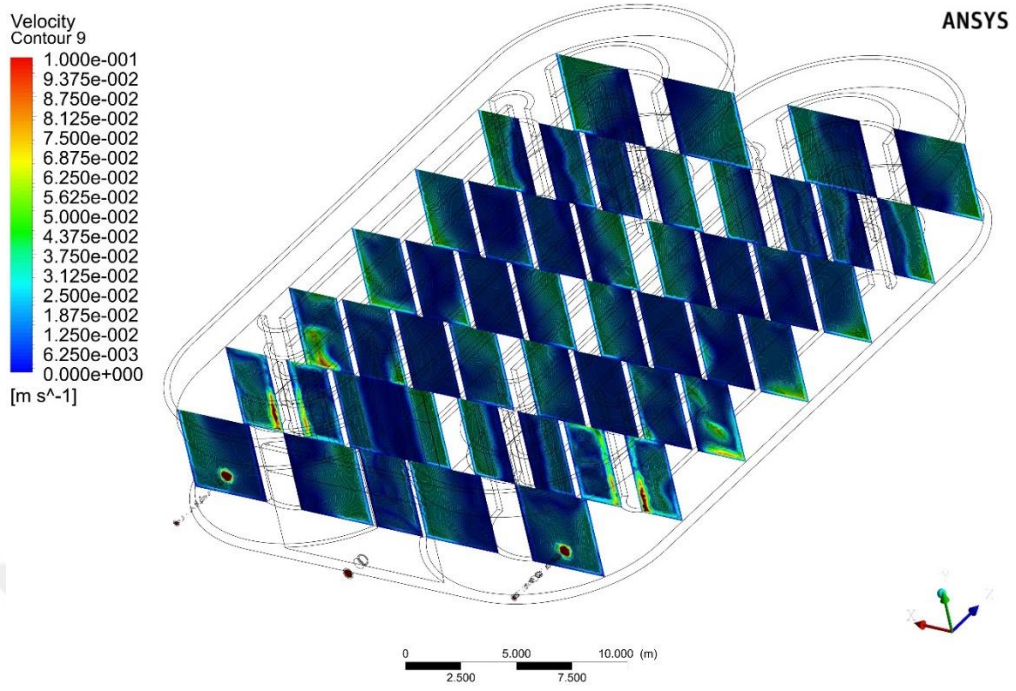
Şekil 2.56. Model 4, hız çizgileri, su yüzeyi, üstten görünüm

Şekil 2.57’de analiz sonucunda OH’lerin çeşitli derinliklerinde oluşan hız çizgileri verilmiştir. Şekil 2.57 a) OH’lerdeki 4,5 m su yüksekliği dikkate alındığında, $y = 2,25$ m ile su dolu hacmin tam orta noktası olmaktadır. Hızlara bakıldığında yeşil ve mavi alanların OH’ler de hakim olduğu görülmektedir. Yeşil alanlar için hız değerleri $3,582 \times 10^{-2}$ m/sn, mavi alanlar için ise $1,433 \times 10^{-2}$ m/sn civarındadır. OH’ler içerisinde bu su yüksekliğinde nispeten homojen bir hız dağılımı vardır. Giriş noktaları doğrultusunda, OH’leri kenalarında hızların yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 2.57 b)’de OH’lerin giriş noktaları kotunda $y=1,3$ m için hız çizgileri verilmiştir. Şekil 2.57 c)’de çıkış bölmesi ve çıkış noktasında $y = 0,6$ m için hız çizgileri verilmiştir. Şekil incelendiğinde çıkış noktasında hız maksimumdur (1,123 m/sn).



Şekil 2.57. Model 4 için simülasyon sonucunda, oksidasyon hendeğinde, a) $y = 2,25$ m b) $y = 1,3$ m c) $y = 0,6$ m derinliklerde oluşan bölgesel (local) aralıkta hız çizgileri

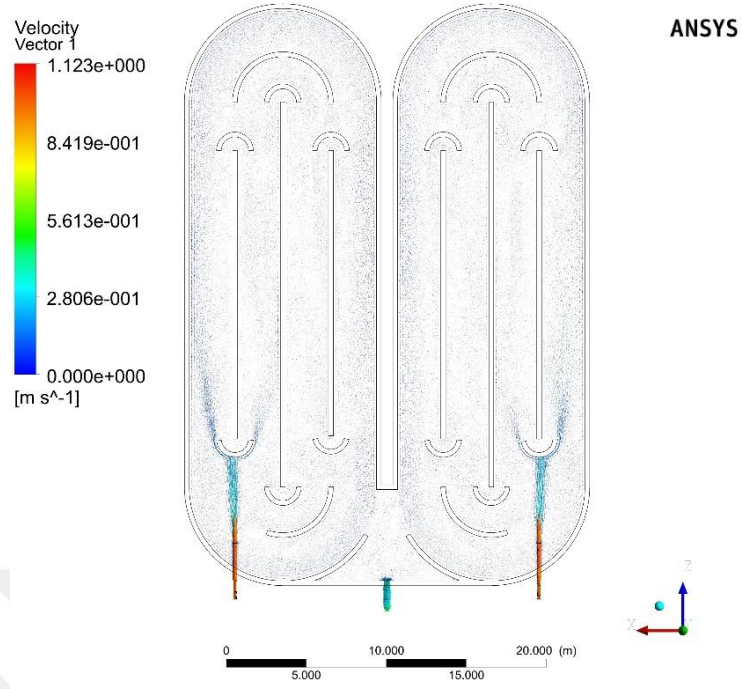
Model 4 için, hızların derinlikle değişimi, OH'lerin çeşitli noktalarından kesitler alınarak hız dağılımlarının daha belirgin görünmesi için belli bir hız aralığında (0-0,1 m/sn) incelenmiştir (Şekil 2.58).



Şekil 2.58. Model 4 için derinlikle-hız profilleri

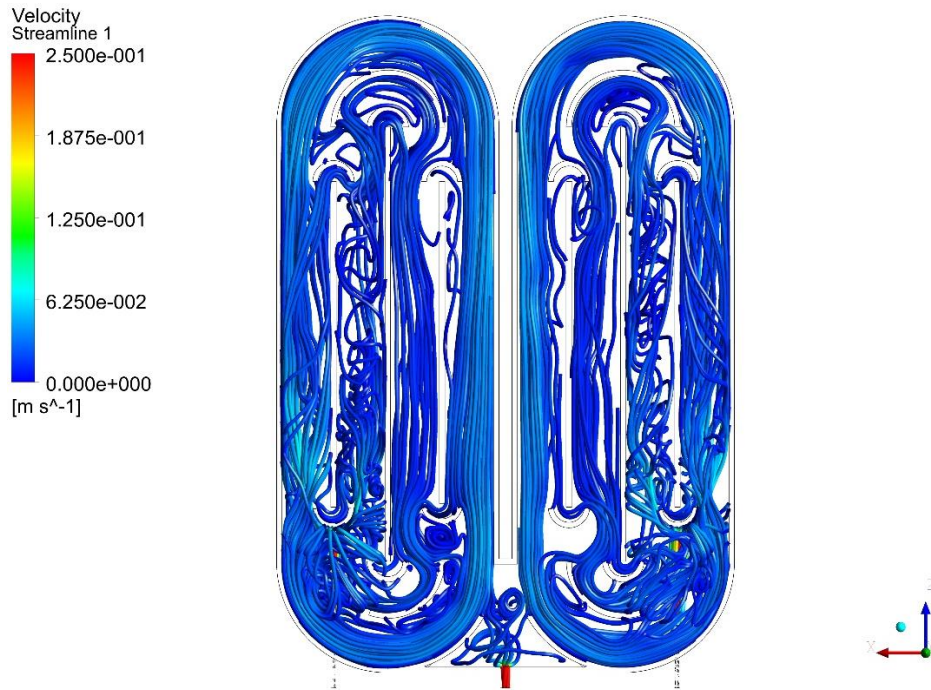
Şekil 2.58 incelendiğinde diğer modellerde de olduğu gibi, giriş borularının eksenine doğrultusunda hızların fazla, su yüzeyine doğru çıktıkça hızların azaldığı görülmektedir. Diğer bölgelerde ise hızlar derinlikle çok fazla değişmemektedir. Çıkış borusunun bulunduğu bölüm iki OH'nin birleşim yerinde ve su, her iki OH'den eşit miktarda giriş yaptığı için, su hızları burada çok fazla değişim göstermemektedir. Diğer bölgelerde hız, giriş ve çıkış hızlarından çok küçük olduğundan hız gradyanında mavi renk hakimdir.

Şekil 2.59'da Model 4'e ait OH'lerin içerisindeki hız vektörleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde OH'ler içerisinde homojen bir hız dağılımı vardır.



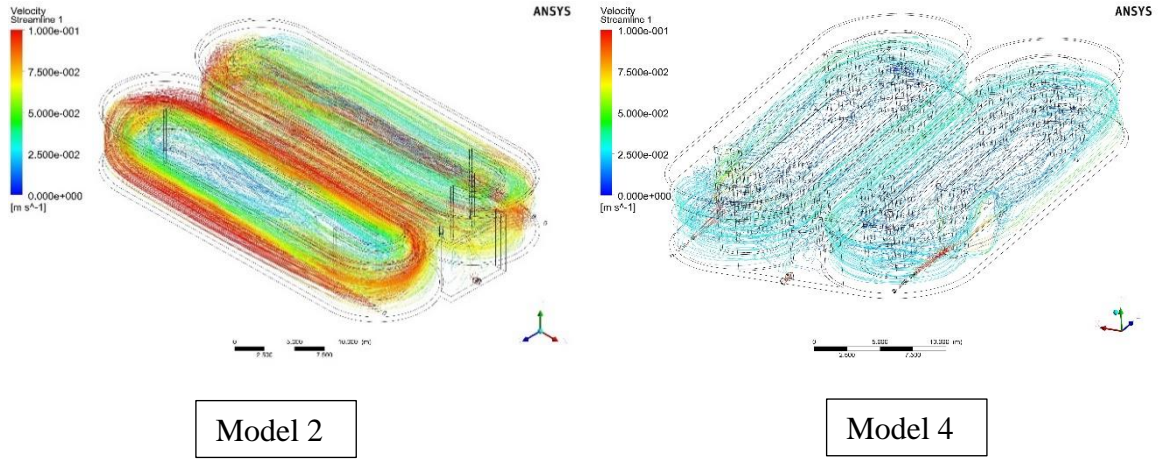
Şekil 2.59. Model 4, hız vektörleri

Şekil 2.60'ta Model 4'te OH'lerin içerisindeki belli bir hız aralığında (0-0.25 m/sn) akım çizgileri görülmektedir.



Şekil 2.60. Model 4, akım çizgileri, üstten görünüm

Model 4, Model 2 (mevcut geometri) ile kıyaslandığında, akım çizgilerinin OH'ler içerisindeki dağılımının homojenliği bakımından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 2.61). Genel olarak iki modeldeki hız değerleri karşılaştırıldığında Model 2'de 6,63 cm/sn olan ortalama hız, Model 4'te 2,65 cm/sn olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla Model 4 OH'lerde daha düşük hızlar vermiştir. Ayrıca Model 4'te ki hızlar, hendek içerisindeki ortalama hızı 4,95 cm/sn olan Model 3'ten de daha düşüktür.



Şekil 2.61. Model 2 ve Model 4'ün karşılaştırılması (0-0,1 m/sn)

2.3.6. Özgün Modellerin Genel Olarak Değerlendirilmesi

Bu çalışmada analizi yapılan mevcut model; Model 2 ve oluşturulan yeni modellerin; Model 3 ve Model 4'ün genel olarak değerlendirilmesi Tablo 2.12'de verilmiştir.

Tablo 2.12. Modellerin genel olarak değerlendirilmesi

Modeller	Sonlu elaman sayısı	Hız dağılımlarının homojenliği	Ortalama hız değeri cm/sn	Standart sapma
Model 2	3946469	kötü	6,63	0.045931
Model 3	3946469	iyi	4,95	0.036138
Model 4	4089656	çok iyi	2,65	0.038442

Tablo 2.12'ye bakıldığında homojenlik bakımından en iyi model Model 4'tür. Ortalama hızlar bakımından en iyi model Model 2 olmasına rağmen, homojenlik bakımından diğer modellerden daha kötüdür. Diğer taraftan havalandırıcılar ve karıştırıcıların da devreye

gireceđi dūřünūldūđünde Model 3 ve Model 4'te istenilen hızların sađlanacađı ōngōrūlmektedir. Bununla ilgili yapılması planlanan çalıřmalar ōneriler kısmında verilmiřtir. Genel olarak modeller deđerlendirildiđinde, Model 3, homojenlik ve ortalama akım hızları birlikte deđerlendirildiđinde diđer modeller içerisinde ōne çıkmaktadır.



3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma da tip proje olarak uygulanmakta olan OH'lerin hidrolik ve hidrodinamik açıdan değerlendirilmesi seçilen tam ölçekli bir atık su arıtma tesisinde HAD yardımıyla yapılmıştır. Tam ölçekli tesis olarak Gümüşhane Merkez ilçesi atık sularının arıtımını sağlayan GASAT'ın Biyolojik Atık Su Arıtma Ünitesi seçilmiştir. Bu ünite Atık Su Arıtma Mühendisliği'nde sıklıkla kullanılan, aktif çamur yönteminin bir varyasyonu olan OH geometrisinde iki OH'den oluşmaktadır. OH'nin HAD analizleri ANSYS Fluent programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Seçilen tam ölçekli tesisin HAD analizi için yapılan model doğrulamasında, gerçek tesiste alınan ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmış ve birbirleriyle tutarlı sonuçlar elde edilmiştir. Ölçüm değerleri ve analiz sonucu bulunan hız değerleri arasında ske türbülans modelinde %13 bağıl hata, RNG k-ε türbülans modelinde ise %17 bağıl hata çıkmıştır.
- Seçilen tam ölçekli tesisin HAD analizi sonucunda (Model 1) mevcut koşulların (işletme koşulları, imalat hataları vs.) büyük oranda analize yansıtıldığı ve elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, Model 1'deki imalat hatalarının hendek içerisindeki akım alanlarını doğrudan etkilediği görülmüştür. Öyle ki, iki hendekte homojen olması gereken akım alanları dağılımı farklı çıkmıştır. Model 2'de mevcut modelin tam simetri (imalat hatalarından kaynaklanan simetri sorunları olmaksızın) şekilde modellenmesi sonucu beklendiği üzere iki hendekte benzer akım koşulları oluşmuştur.
- Model 3 ve Model 4 mevcut durumun analizi sonucunda ortaya çıkan zayıf yönlerin iyileştirilmesi için oluşturulan özgün geometri ve modellerdir. Analizler sonucunda bu modellerde, OH'ler için gerekli durumlardan biri olan hendek içerisinde homojen hız dağılımının sağlanması amaçlanmıştır. Bunun için süreklilik denkleminde göre özellikle hızların düşük olduğu bölgelerde kesitler daraltılarak, hızların yüksek olduğu bölgelerde ise kesitler genişletilerek, yatay yöndeki hızların baskın olduğu bileşke hızlar artırılmıştır ve azaltılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde Model 2 en yüksek ortalama hız değerini verirken, ondan sonra sırasıyla Model 3 ve Model 4 gelmektedir. Diğer taraftan hendekler

içerisinde sağlanan akım alanlarının homojenliği bakımından bir karşılaştırma yapıldığında iyiden kötüye doğru sırasıyla Model 4, Model 3 ve Model 2 gelmektedir.

- Analizler sonucunda sunulan özgün modeller, OH'de homojen bir hız dağılımı sağlayarak atık suların biyolojik olarak arıtımında etkili bir rol oynayacaktır. Ayrıca hendek içerisinde mümkün oldukça sağlanacak homojen bir akım, ölü noktalarda alınacak ek önlemleri (karıştırıcılar, pervaneler, hava yayıcılar) azaltacak ve dolayısıyla enerji tasarrufu sağlayacaktır.
- OH'nin HAD analizlerinde, geçmişte yapılan çalışmalarda giriş ve çıkış noktalarının OH içerisindeki hız dağılımlarına etkisi yok sayılmaktadır. Çalışmadaki analizler sonuçları bu durumun aksine sonuçlar ortaya koymaktadır.

Bu doktora tezinin sonrasında aşağıdaki çalışmaların yapılması önerilmektedir.

- Farklı türbülans modellerinin çalışılması: Farklı türbülans modellerinin HAD analizlerinde etkilerini görmek için çalışmalar yapılması.
- Farklı duvar sınır şartlarının çalışılması: Duvar ile sıvı arasındaki sınır tabakada sürtünmeli, sürtünmesiz, kayan duvar, kaymayan duvar, genel duvar denklemi, sonlu elaman derinliği gibi durumların incelenmesi.
- OH'de havalandırıcıların modellenerek iki fazlı akış (su-hava) için HAD analizlerinin yapılması: OH'nin biyolojik arıtımı için havalandırıcıların sağladığı oksijen gaz fazında, atık su ise sıvı fazdadır. Atık suyun içerisindeki hava yayıcı difüzörlerin momentum kaynağı olarak suya yaptığı dinamik etkinin analizinin yapılması.
- OH'de karıştırıcıların modellenerek akım karakteristiklerine etkisinin HAD yardımıyla incelenmesi: Oksidasyon hendeğinde karıştırıcıların farklı pozisyonlarda yerleşiminin momentum kaynağı olarak hem akım alanlarına etkisini hem de hendekte atık suyun içerisindeki katı maddelerin tekrar harekete geçirip çökmesini önlemek için oluşturacağı bölgesel girdap ve çevrinti hareketinin modellenmesini yapmak. Dahası, bu analizlerin üç fazlı (katı-sıvı-gaz) olarak gerçekleştirilmesi.
- Farklı atık su arıtma tesis elamanlarında HAD uygulamaları: Atık su arıtma tesislerinde uygulanacak atık su arıtma yöntemine göre farklı elemanların (fiziksel arıtma; ızgara, kum tutucu, çökeltim havuzu, biyolojik arıtma; biyodiskler, damlatmalı filtreler gibi) HAD analizlerinin yapılması.

- Yapılan modellerin doğrulanmasının istenilen şartların rahatça sağlanabildiği bir ortamda deneysel olarak incelenerek yapılması.



4. KAYNAKLAR

- Alvarado, A., Vesvikar, M., Cisneros, J. F., Maere, T., Goethals, P. and Nopens, I., 2013. CFD Study to Determine the Optimal Configuration of Aerators in a Full-Scale Waste Stabilization Pond, Water Research, 47, 4528–4537.
- Amparo López-Jiménez, P., Escudero-González, J., Montoya Martínez, T., Fajardo, V., Nana, M. and Gualtieri, C., 2015. Application of CFD Methods to an Anaerobic Digester: The Case of Ontinyent WWTP, Valencia, Spain, Journal of Water Process Engineering, 7, 131–140.
- ANSYS Fluent 2013. Swanson Analysis System, Pennsylvania, USA.
- ANSYS HELP 2013. Swanson Analysis System, Pennsylvania, USA.
- ANSYS Workbench 2013. Swanson Analysis System, Pennsylvania, USA.
- Aydın, M. C., 2005. Altın Alışlı Dolusavak Havalandırıcıların CFD Analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Berkun, M., 2017. Atıksu Mühendisliği Toplama, Arıtma, Uzaklaştırma ve Denize Deşarj Yapıları. Literatür Yayıncılık.
- Bosma, A. J. and Reitsma, B. A., 2007. Hydraulic Design of Activated Sludge Tanks with CFD, in. Grenoble: Proceedings of the COMSOL Users Conference,.
- Bridgeman, J., Karpinska, A. M. and Bridgeman, J., 2017. Towards a Robust CFD Model for Aeration Tanks for Sewage Treatment – a Lab-Scale Study Towards a Robust CFD Model for Aeration Tanks for Sewage Treatment – a Lab-Scale Study, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 11(1), 371–395.
- Chen, W. and Xu, M., 2010. The Two-Dimensional Simulation Study of Flow Pattern near Guiding Wall of Oxidation Ditch, Journal of Water Resource and Protection, 2, 814–817.
- Chen, X. and Liu, Y., 2015. Finite Element Modeling and Simulation with Ansys Workbench. CR Press, Taylor&Francis Group.
- Climent, J., Basiero, L., Martínez-Cuenca, R., Berlanga, J. G., Julián-López, B. and Chiva, S., 2018. Biological Reactor Retrofitting Using CFD-ASM Modelling, Chemical Engineering Journal, 348 (June 2017), 1–14.
- Climent, J. et al., 2019. A Comprehensive Hydrodynamic Analysis of a Full-Scale Oxidation Ditch Using Population Balance Modelling in CFD Simulation, Chemical Engineering Journal, 374 (April), 760–775.
- Do-Quang, Z., Cockx, A., Liné, A. and Roustan, M., 1999. Computational Fluid Dynamics Applied to Water and Wastewater Treatment Facility Modeling, Environ Engg and Policy, 1, 137–147.
- Fan, L., Xu, N., Wang, Z. and Shi, H., 2010. PDA Experiments and CFD Simulation of a Lab-Scale Oxidation Ditch with Surface Aerators, Chemical Engineering Research and Design. doi: 10.1016/j.cherd.2009.07.013.
- Fan, W., Yuan, L. J. and Qu, X., 2018. CFD Simulation of Hydrodynamic Behaviors and

- Aerobic Sludge Granulation in a Stirred Tank with Lower Ratio of Height to Diameter, *Biochemical Engineering Journal*. Elsevier B.V., 137, pp. 78–94. doi: 10.1016/j.bej.2018.05.012.
- Fayolle, Y., Cockx, A., Gillot, S., Roustan, M. and Héduit, A., 2007. Oxygen Transfer Prediction in Aeration Tanks Using CFD, *Chemical Engineering Science*, 62, pp. 7163–7171. doi: 10.1016/j.ces.2007.08.082.
- Gao, H. and Stenstrom, M. K., 2018. Evaluation of Three Turbulence Models in Predicting the Steady State Hydrodynamics of a Secondary Sedimentation Tank, *Water Research*. Elsevier Ltd, 143, pp. 445–456. doi: 10.1016/j.watres.2018.06.067.
- Huang, W., Wu, C., Xiao, B. and Xia, W., 1987. Computational Fluid Dynamic Approach for Biological System Modeling, *AIChE Journal*, pp. 96–105.
- Huang, W., Li, K., Wang, G. and Wang, Y., 2013. Computational Fluid Dynamics Simulation of Flows in an Oxidation Ditch Driven by a New Surface Aerator, *ENVIRONMENTAL ENGINEERING SCIENCE*, 30(11), pp. 663–671. doi: 10.1089/ees.2012.0313.
- İller Bankası, 2009. *GASAT Kesin Proje*.
- Johnson, F. T., Tinoco, E. N., Yu, N. J. and Johnson, F. T., 2005. Thirty Years of Development and Application of CFD at Boeing Commercial Airplanes, Seattle, *Computers & Fluids*, 34(10), pp. 115–1151. doi: 10.1016/J.COMPFLUID.2004.06.005.
- Karpinska, A. M., Dias, M. M., Boaventura, R. A. R. and Santos, R. J., 2015. Modeling of the Hydrodynamics and Energy Expenditure of Oxidation Ditch Aerated with Hydrojets Using CFD Codes, *Water Quality Research Journal of Canada*, 50(1), pp. 83–94. doi: 10.2166/wqrjc.2014.036.
- Karpinska, A. M. and Bridgeman, J., 2016. CFD-Aided Modelling of Activated Sludge Systems - A Critical Review, *Water Research*. doi: 10.1016/j.watres.2015.11.008.
- Lauder B. E. and Spalding D. B., 1972. *Lectures in mathematical models of turbulence*. London ; New York : Academic Press, 1972.
- Lei, L. and Ni, J., 2014. ScienceDirect Three-Dimensional Three-Phase Model for Simulation of Hydrodynamics, Oxygen Mass Transfer, Carbon Oxidation, Nitrification and Denitrification in an Oxidation Ditch, *Water Research*. Elsevier Ltd, 53, pp. 200–214. doi: 10.1016/j.watres.2014.01.021.
- Lopes, R. and Quinta-ferreira, R. M., 2007. CFD Modelling of Trickle-Bed Reactors for Wastewater Treatment, in *ESCAPE17*, pp. 1–6.
- Luo, L., Li, W., Deng, Y. and Wang, T., 2005. Numerical Simulation of a Combined Oxidation Ditch Flow Using 3D K-ε Turbulence Model, *Journal of Environmental Sciences*, 17(5), pp. 808–812.
- M. L. Davis, 2010. *Water and Wastewater Engineering-Design Principles & Practice*. New York: The McGraw-Hill Companies.
- Madenci, E. and Guven, İ., 2015. *The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS*, Second Edi. Edited by S. I. Publishing.
- Meister, M., Winkler, D., Rezavand, M. and Rauch, W., 2017. Integrating Hydrodynamics

- and Biokinetics in Wastewater Treatment Modelling by Using Smoothed Particle Hydrodynamics, Computers and Chemical Engineering, 99, 1–12.
- Le Moullec, Y., Potier, O., Gentric, C. and Pierre Leclerc, J., 2008. Flow Field and Residence Time Distribution Simulation of a Cross-Flow Gas-Liquid Wastewater Treatment Reactor Using CFD, Chemical Engineering Science, 63, 2436–2449.
- Le Moullec, Y., Gentric, C., Potier, O. and Leclerc, J. P., 2010. CFD Simulation of the Hydrodynamics and Reactions in an Activated Sludge Channel Reactor of Wastewater Treatment, Chemical Engineering Science. 65, 492-498.
- Patziger, M., 2016. Computational Fluid Dynamics Investigation of Shallow Circular Secondary Settling Tanks: Inlet Geometry and Performance Indicators, Chemical Engineering Research and Designing, Institution of Chemical Engineers, 112, 122–131.
- Pougatch, K., Salcudean, M., Gartshore, I. and Pagoria, P., 2007. Computational Modelling of Large Aerated Lagoon Hydraulics, Water Research, 41, 2109–2116.
- Samsunlu, A., 2011. Atık Suların Arıtılması. Birsen Yayınevi.
- Sánchez, F., Rey, H., Viedma, A., Nicolás-Pérez, F., Kaiser, A. S. and Martínez, M., 2018. CFD Simulation of Fluid Dynamic and Biokinetic Processes within Activated Sludge Reactors under Intermittent Aeration Regime, Water Research, 139, 47–57.
- Şibil, R., 2008. Biyolojik Parametre Değişimlerine Bağlı Olarak Atık Su Arıtma Tesislerinin Bilgisayar Destekli Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sibil, R., Berkun, M. and Bekiroglu, S., 2014. The Comparison of Different Mathematical Methods to Determine the BOD Parameters, a New Developed Method and Impacts of These Parameters Variations on the Design of WWTPs, Applied Mathematical Modelling, 38(2), 641–658.
- Stamou, A. I., 1993. Prediction of Hydrodynamic Characteristic of Oxidation Ditches Using the K- ϵ Turbulence Model, in 2nd Int. Symposium on Eng. Turbulence Modelling and Measurements. Florence, Italy, 261–271.
- Stamou, A. I., 1994. Modeling Oxidation Ditches Using the IAWPRC Activated Sludge Model with Hydrodynamic Effects, Water Science and Technology, 30(2), 185–192.
- Stamou, A. I., 1997. Modelling of Oxidation Ditches Using an Open Channel Flow 1-D Advection-Dispersion Equation and ASM1 Process Description, Water Science and Technology, 36(5), 269–276.
- Stamou, A. I., Katsiri, A., Mantziaras, I., Boshnakov, K., Koumanova, B. and Stoyanov, S., 1999. Modelling of an Alternating Oxidation Ditch System, Water Science and Technology, 39(4), 169–176.
- Stamou, A. I., Georgios, T., Konstantinos, X. and Stamou, A. I., 2009. Design of Secondary Settling Tanks Using a CFD Model, Environmental Engineering, 135(7), 551–561.

- Takács, I., Patry, G. G. and Nolasco, D., 1991. A Dynamic Model of the Clarification-Thickening Process, Water Research, 25(10), 1263–1271.
- Terashima, M., So, M., Goel, R. and 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.
- Tüik, 2017. Nüfus İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara, Türkiye
- Turner, M. J., Clough, R. W., Martin, H. C. and Topp, L. J., 1956. Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures., Journal of the Aeronautical Sciences, 23, 805–823.
- Vadasarukkai, Y. S., 2010. Assessment of the Hydraulic Performance of Flocculation Processes using Computational Fluid Dynamics (CFD), Yüksek Lisans Tezi, Dalhousie University, Canada
- Wei*, W., Liu, Y. and Bin, L., 2016. Numerical Simulation of Optimal Submergence Depth of Impellers in an Oxidation Ditch, Desalination and Water Treatment, 57, 8228–8235.
- Wei, W., Zhang, Z., Zheng, Y. and Liu, Y., 2016. Numerical Simulation of Additional Guiding Baffles to Improve Velocity Distribution in an Oxidation Ditch, Desalination and Water Treatment, 57(51), 24257–24266.
- Wei, W., Bai, Y. and Liu, Y., 2016. Optimization of Submerged Depth of Surface Aerators for a Carrousel Oxidation Ditch Based on Large Eddy Simulation with Smagorinsky Model, Water Science and Technology, 73(7), 1608–1618.
- Xie, H. et al., 2014. Simulation of Flow Field and Sludge Settling in a Full-Scale Oxidation Ditch by Using a Two-Phase Flow CFD Model, Chemical Engineering Science, 109, 296–305.
- Yang, W. J., Wang, C. C., Hsu, R. Y. and Wu, R. M., 2008. Two-Phase Flow Simulation of Reactor Clarifiers, Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers, 39, 275–280.
- Yang, Y., Wu, Y., Yang, X., Zhang, K. and Yang, J., 2010. Flow Field Prediction In Full-Scale Carrousel Oxidation Ditch By Using Computational Fluid Dynamics, Water Science and Technology, 62(2), 256–265.
- Yang, Y. et al., 2011. Study on Two Operating Conditions of a Full-Scale Oxidation Ditch for Optimization of Energy Consumption and Effluent Quality by Using CFD Model, Water Research, 45, 3439–3452.
- Zhang, Y. et al., 2016. Optimization Design of Submerged Propeller in Oxidation Ditch by Computational Fluid Dynamics and Comparison with Experiments, Water Science and Technology, 74(3), 681–690.
- URL-1, <http://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/dunyada-ve-turkiyede-su-kaynaklari-azaliyor-40402562>, 10.08.2018.
- URL-2, <http://www.fwr.org/wrcsa/1075105.html>, 01.03.2018.
- URL-3, <http://www.waterworld.com/index/display/article-display/280813/articles/water-wastewater-international/volume-21/issue-6/editorial-focus/worldwide-report/computational-flow-modeling-applications-expand-into-the-water-industry.html>, 01.03.2018.

- URL-4. <http://www.flow3d.com/case-studies/cfd-case-study-wastewater-flow3d.html>,01.03.2018.
- URL-5, <http://www.blog.kubiak.co.uk/post/81>, 12.03.2018.
- URL-6, <http://www.figes.com.tr/ANSYS/cfx.php>, 12.03.2018.
- URL-7, http://www.uybhm.itu.edu.tr/eng/documents/fluent_.pdf, 12.03.2018.
- URL-8, <http://www.a-ztech.com.tr/starcd.html>, 13.03.2018.



ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Gümüşhane ili Torul İlçesi Yalınkavak köyünde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 2001 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü'nde başladığı lisans eğitimini 2005 yılında tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. İlk yıl İngilizce hazırlık programına katıldı ve yüksek lisans eğitimini 2008'de tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı'nda doktora programına kabul edildi ve bu programda eğitime başladı. Rahim ŞİBİL 2009 yılında Gümüşhane Üniversitesi Müh. ve Doğa Bil. Fak. İnşaat Müh. Bölümü'nde öğretim görevlisi olarak işe başladı ve halen bu kurumunda öğretim görevlisi olarak görevine devam etmekte ve Akışkanlar Mekaniği, Hidrolik, Su Kuvveti Tesisleri, Atık Su Arıtma Yapıları, Denize Deşarj Yapıları gibi dersleri yürütmektedir. Yazar evlidir ve İngilizce bilmektedir.

Çalışma alanları; Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, hidrodinamik, atık su arıtma mühendisliğinde tasarım, modelleme, simülasyon ve analiz, su yapılarının modellenmesi ve analizi.

Bildiği bilgisayar programları; Microsoft Office programları, ANSYS Workbench, DesignModeler, SpaceClaim, ANSYS Meshing, KeyShot, ANSYS Fluent.

Yazara ait akademik yayınlar aşağıda verilmiştir.

Eserler

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

1. **Şibil, R.**, Bekiroğlu, S., Berkün, M., (2014). The Comparison of Different Mathematical Methods to Determine the BOD Parameters, A New Developed Method and Impacts Of These Parameters Variations on The Design of WWTPs. Applied Mathematical Modelling, 38(2), 641-658.

B. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler:

1. **Şibil, R.**, Aras, E., (2019). Analysis of the Hydrodynamic Behaviours of Gümüşhane Oxidation Ditch by Computational Fluid Dynamics, ICEARC'XX19, 17-20 April, Trabzon, Turkey.

2. **Şibil, R.**, Aras, E., (2016). Municipal Wastewater Treatment Plants Effluent as a Source of Small Hydropower: Case Study of Gümüşhane Wwtp, 1st International Black Sea Congress on Environmental Sciences, 31 August-03 September, Giresun, Turkey.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

1. **Şibil, R.**, Aras, E., (2015). Gümüşhane Atık Su Arıtma Tesisi, Biyolojik Arıtma ve Alternatif Yöntemlerin Uygulanabilirliğinin Tartışılması, 7. Kentsel Altyapı Sempozyumu, 13-14 Kasım, Trabzon, Turkey.
2. Akpınar, A., **Şibil R.**, Kankal, M., Kömürcü, M. İ., (2011). Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Pazarının Altyapısı. 6. kentsel altyapı sempozyumu, 14-15 Ekim 2011, Antalya.

